



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

N O G A L E S

S O N O R A

INFORME ESPECIAL

Agosto, 2021





COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

CONTENIDO

Resumen	5
1 Diagnóstico de los sistemas de saneamiento de la región	9
1.1 Recopilación y análisis de la información.....	10
1.1.1 Sistema principal de alcantarillado	12
1.1.2 Sistema de tratamiento de aguas residuales	17
1.1.3 Sistema de reúso de agua tratada.....	23
1.1.4 Generalidades	24
1.2 Diagnóstico de la infraestructura de los sistemas de saneamiento.....	29
1.2.1 Estado actual de la infraestructura de saneamiento (utilizando semáforo).....	30
1.2.2 Pertinencia de los manuales y políticas de operación	33
1.2.3 Situación sobre derechos de vía y tenencia de la tierra	35
1.2.4 Condiciones de los sitios de descarga y disposición final	36
1.2.5 Costos actuales de operación y mantenimiento	36
1.2.6 Capacidades financieras de los organismos.....	37
2 El déficit de saneamiento en Nogales, SO.....	38
2.1 Comparación de la capacidad de diseño contra la demanda actual y futura	38
2.1.1 Demanda actual de saneamiento de aguas residuales	41
2.1.2 Determinación de la demanda futura de saneamiento de aguas residuales	41
2.1.3 Comparación demanda actual y futura de colectores principales.....	42
2.1.4 Comparación demanda actual y futura de estaciones de bombeo principales.....	45
2.1.5 Comparación demanda actual y futura de plantas de tratamiento.....	46
2.1.6 Comparación demanda actual y futura de agua de reúso	47
2.2 Determinación de las necesidades de infraestructura, operación y mantenimiento.....	48
2.2.1 Reemplazo de la infraestructura que ha rebasado su vida útil.....	49
2.2.2 Rehabilitación de la infraestructura deteriorada.....	49
2.2.3 Incremento de la capacidad de las plantas de bombeo y PTAR.....	51
2.2.4 Reforzamiento del sistema de saneamiento en general.....	52
2.2.5 Mejora en la calidad del efluente para cumplir con la normatividad aplicable (y su manejo y disposición de lodos)	52
2.2.6 Cambios en los programas de operación y mantenimiento de los sistemas de saneamiento.....	53
3 Alternativas para atender la demanda futura de saneamiento en la región	55
3.1 Planteamiento de alternativas	57
3.1.1 Planteamiento de alternativas para colectores principales y obras de captación y conducción	57



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

3.1.2	Planteamiento de alternativas para plantas de bombeo principales	61
3.1.3	Planteamiento de alternativas para plantas de tratamiento.....	64
3.1.4	Planteamiento de alternativas para infraestructura para el reúso de agua	66
3.1.5	Planteamiento de alternativas para infraestructura complementaria e instrumentación	68
3.2	Dimensionamiento de alternativas usando criterios de resiliencia	69
3.2.1	Dimensionamiento de alternativas para colectores principales y obras de captación y conducción	71
3.2.2	Dimensionamiento de alternativas para plantas de bombeo principales	82
3.2.3	Dimensionamiento de alternativas para plantas de tratamiento.....	88
3.2.4	Dimensionamiento de alternativas para infraestructura para el reúso de agua	95
3.2.5	Dimensionamiento de alternativas para infraestructura complementaria e instrumentación	97
3.3	Evaluación comparativa de costos de inversión, operación y mantenimiento de alternativas.....	98
3.3.1	Evaluación comparativa de alternativas para colectores principales y obras de captación y conducción.....	99
3.3.2	Evaluación comparativa de alternativas para plantas de bombeo principales.....	106
3.3.3	Evaluación comparativa de alternativas para plantas de tratamiento	111
3.3.4	Evaluación de alternativas para infraestructura para el reúso de agua	115
3.3.5	Alternativas para infraestructura complementaria e instrumentación	117
3.4	Selección de las alternativas más convenientes	117
3.4.1	Selección de alternativas para colectores principales y obras de captación y conducción	118
3.4.2	Selección de alternativas para plantas de bombeo principales	119
3.4.3	Selección de alternativas para plantas de tratamiento	120
3.4.4	Selección de alternativas para infraestructura para el reúso de agua.....	120
3.4.5	Alternativas para infraestructura complementaria e instrumentación	121
3.5	Integración de la cartera de acciones y proyectos.....	122
3.5.1	Acciones y proyectos para colectores principales y obras de captación y conducción 124	
3.5.2	Acciones y proyectos para plantas de bombeo principales.....	127
3.5.3	Acciones y proyectos para plantas de tratamiento.....	127
3.5.4	Acciones y proyectos para infraestructura para el reúso de agua.....	128
3.5.5	Acciones y proyectos para infraestructura complementaria e instrumentación ...	128
4	Organización y alternativas de financiamiento.....	128
4.1	Análisis de opciones de organización y modalidades de financiamiento	128



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

4.1.1	Planteamiento de opciones de organización para la realización de estudios y proyectos.....	131
4.1.2	Planteamiento de opciones de organización para la ejecución.....	132
4.1.3	Planteamiento de opciones de organización para la operación y mantenimiento	135
4.2	Análisis de riesgos y formas de absorberlos o mitigarlos	136
4.2.1	Identificación de riesgos (construcción de matriz)	137
4.2.1	Evaluación de riesgos:	141
4.2.2	Propuesta de mecanismos de mitigación	144
	Bibliografía.....	146
	Acrónimos.....	148
	Glosario de términos	149
	Índice de tablas.....	151
	Índice de ilustraciones.....	155



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Resumen

El origen de la ciudad de Nogales, Sonora, se remonta a los años de 1880 a 1884, después de que fuera establecida la aduana Los Nogales. La ciudad de Nogales forma parte de la región Sonora-Arizona, que es una región económica transfronteriza de Norteamérica, la cual fue formalizada en el Tratado de Libre Comercio de América del Norte, (TLCAN), puesto en marcha en el año de 1994 y reafirmado en el 2020 como Tratado México, Estados Unidos y Canadá (TMEC).

La integración que refleja esta región se manifiesta por la articulación de sectores económicos en ambos lados de la frontera, y por el considerable crecimiento que ha tenido desde la puesta en marcha del Tratado. Los estados de Sonora y Arizona comparten una frontera de aproximadamente 390 millas, la cual está compuesta por seis puertos de entrada y salida de mercancías; el puerto de Nogales es el más importante.

La región Arizona-Sonora es una zona que se ha caracterizado por tener una relación comercial establecida y basada en el flujo fronterizo comercial de productos, manufactura avanzada y turismo. Los Gobiernos locales fronterizos en Arizona y Sonora, buscan desarrollar la región mediante relaciones entre las zonas urbanas y sus subregiones; y desarrollar acuerdos y programas que enfatizan la cooperación.

La ciudad de Nogales, Sonora, tiene actualmente una población de 261,080 habitantes, que cuentan con una cobertura de servicios de 86.9 % en agua potable, mediante un sistema que opera con una eficiencia física del 51.5 %, comercial del 63.9 %, y global del 32.9 %, como se expone en la tabla 0.1.

Tabla 1. Cobertura de servicios y eficiencias del sistema, Nogales, SO

Coberturas de servicios		Eficiencia del sistema	
Agua Potable	87 %	Física	56.2 %
Alcantarillado	86.9 %	Comercial	50.2 %
Saneamiento	93.3 %	Global	28.2 %

Fuente: Organismo Operador Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Nogales, SO, año 2019

El saneamiento de las aguas residuales de Nogales, SO, forma un sistema transfronterizo intrínsecamente interconectado con Nogales, AZ, debido a las condiciones topográficas del área de estudio, ya que la pendiente general del terreno baja de sur a norte, es decir del territorio mexicano hacia Estados Unidos de América.

La mayor parte de las aguas residuales de Nogales, SO, fluyen por gravedad hacia Nogales, AZ, por lo cual ha sido históricamente más factible, en términos económicos, tratar las aguas residuales en el lado estadounidense, ya que no se contaba con un espacio adecuado en el lado mexicano.

Este sistema de saneamiento binacional ha obligado a las autoridades y actores principales de ambos países a colaborar estrechamente para manejar de forma adecuada las aguas residuales vertidas por ambos Nogales.

Mediante las Actas 206, 227 y 276 de la CILA, los Gobiernos de México y de Estados Unidos convinieron en que el tratamiento de las aguas residuales de ambos Nogales se realizaría en una planta internacional en Nogales, AZ.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

El gobierno de México debe cubrir a Estados Unidos los costos de tratamiento, con base en los costos en que hubiera incurrido nuestro país si se llevaran a cabo tales acciones en su territorio. La diferencia entre los costos cubiertos por México y los costos reales se paga por parte de Estados Unidos.

Con los acuerdos citados, y la infraestructura desarrollada por el organismo operador de la ciudad de Nogales, SO, se presenta en la siguiente tabla la información de las plantas de tratamiento de las aguas residuales:

Tabla 2. Situación del sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Nogales, SO

NOMBRE DE LA PLANTA	Capacidad disponible (l/s)	CAUDAL MEDIO DE TRATAMIENTO EN (litros/segundo)				Observaciones
		Operando Aguas de Nogales, SO	Caudal Ampliación (proyecto)	Total a futuro	Disp. adicional Corto plazo	
PITAR, Río Rico, Arizona (acta 276)	434.00	573.00		434.00	-139.00	Frecuentemente el caudal de tratamiento asignado se rebasa
PTAR Los Alisos	220.00	171.29	110.00	330.00	158.71	OMAPAS propone que esta planta tenga 4 módulos de 110 l/s
PTAR Lomas del Sol	30.00	30.00		30.00	0.00	
PTAR Puerta de Anza	45.00	9.66	15.00	60.00	50.34	
PTAR la Mesa	0.0	0.00	70.00	70.00	70.00	
TOTAL	729.00	783.95	195.00	924.00	210.05	

Fuente: Organismo Operador Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Nogales, SO, año 2018, y Acuerdo de la CILA, establecido en el Acta 276, el 26 de julio de 1988

Descripción de la red de alcantarillado y propuestas

El sistema de alcantarillado en la ciudad de Nogales, SO, en algunos tramos está operando prácticamente a su máxima capacidad, y existe una insuficiente cobertura en el saneamiento de las aguas descargadas por las viviendas, específicamente en el sector sur poniente, donde el servicio se caracteriza por el uso de fosas sépticas y letrinas; asimismo, hay sectores de la ciudad en que las tuberías tienen entre 30 y 50 años de antigüedad, por lo que requieren de atención para mejorar de manera notable el servicio, además de que es preciso mantener una buena conducción de las descargas enviadas a la PITAR en Río Rico, Arizona.

Ante esta situación, se requieren proyectos de inversión que permitan solucionar la problemática actual, la cual necesita atención urgente, tanto en la red de alcantarillado, como en el sistema de tratamiento.

Bajo estas circunstancias, el Organismo Operador Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Nogales, SO (OOMAPAS NOGALES) construyó, en el año 2020, obras del Proyecto de **Ampliación de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado a las Colonias Suroeste de la Ciudad de Nogales, SO**, que generarán un nuevo volumen de 40.66 l/s de descargas de aguas residuales, los cuales serán conducidos hacia la PTAR Los Alisos, que apenas cuenta con capacidad suficiente para recibir estos volúmenes adicionales.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Por otra parte, algunos de los **subcolectores requieren ser renovados**, ya que están trabajando a su máxima capacidad y en temporada de lluvias presentan derrames superficiales que aumentan las infiltraciones a la red.

Además de las demandas descritas, se requiere con urgencia la **rehabilitación de la red de alcantarillado sanitario** en los sectores más antiguos de la ciudad, donde se presentan colapsos de tuberías que han cumplido su vida útil (hasta 50 años de uso), así como en las zonas donde existe conexión de drenajes pluviales internos de las viviendas en lo que se arrojan residuos y materiales inapropiados a la red de alcantarillado, y donde en ocasiones generan daños, obstrucción y colapsos en los sistemas de la misma red.

Se requiere incrementar la capacidad de tratamiento del lado mexicano, por lo que es necesario el equipamiento de la ampliación de 110 l/s en la PTAR Los Alisos, actualmente con una capacidad de 220 l/s. Asimismo, es indispensable la rehabilitación y relocalización de un tramo del emisor actual, para trasladar a esa misma planta parte del flujo de agua que hoy se envía para tratamiento hacia Estados Unidos.

Además, para desahogar un poco la carga de la PTAR Los Alisos, es necesaria la rehabilitación y ampliación de la PTAR La Mesa, a 70 l/s, pues actualmente su capacidad es de 30 l/s.

La población estimada, conforme a proyecciones realizadas, a partir de los datos censales del INEGI y las tasas promedio de crecimiento de la CONAPO, al año 2050, es de 542,280 habitantes, por lo que Nogales, SO, necesitará ampliar su capacidad de tratamiento de aguas residuales con una nueva PTAR de más de 700 l/s.

Por otra parte, se requiere la reposición o rehabilitación de sectores de la red de alcantarillado deteriorada por antigüedad, así como llevar el servicio a zonas que aún no cuentan con este, y que, sumadas a las obras que permitirán atender necesidades causadas por el crecimiento de la población, necesitarán un monto de inversión superior a 1,740 mdp, como se muestra en el siguiente resumen:



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 3 Resumen problemática, solución e inversión, Nogales, SO.

Problemática	<p>El deterioro de la infraestructura de drenaje en la ciudad de Nogales puede manifestarse principalmente en roturas en la tubería, fugas y colapsos derivados de un deterioro físico vinculado generalmente al envejecimiento y tipo de materiales de las tuberías, 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 y corrosión o las fugas. Asimismo, otro tipo de deterioro se manifiesta por el incremento de caudales y es provocado por las infiltraciones de sustancias o algún material en las tuberías.</p> <p>Las plantas de tratamiento de aguas residuales y la infraestructura para conducir el agua hasta ellas operan al límite de sus capacidades o no se cuenta con las obras para la distribución óptima de los caudales a tratar y aprovechar la capacidad total de tratamiento en el lado mexicano, sobrepasando el caudal asignado a Nogales en la planta internacional lo cual genera costos adicionales para su tratamiento.</p> <p>En Nogales algunos de estos daños se manifiestan y se reflejan en derrames de aguas residuales, por una parte, se traducen en escurrimientos superficiales de aguas crudas que cruzan la frontera y se convierten en un problema. También se requiere infraestructura de alcantarillado en colonias dentro de la mancha urbana que aún no se han conectado a una red de alcantarillado y la correspondiente planta de tratamiento, como es el caso de Colinas del Sol.</p> <p>Otra problemática que presenta la red de alcantarillado y saneamiento se refiere a la entrada de aguas pluviales, azolve y basura a los conductos de la red, lo cual se traduce en diversos problemas como derrames y taponamientos que producen escurrimientos superficiales de aguas negras que incluso escurren al otro lado de la línea fronteriza.</p> <p>Así mismo el deterioro de la infraestructura como los pozos de visita que con el tiempo se van haciendo porosos por falta de mantenimiento permitiendo la entrada de agua de lluvia y azolve que provocan daños y desgaste en los equipos de la Estación de Bombeo Estadio, provocando en ocasiones el paro de bombas y por tanto evitando que se envíen las aguas residuales a tratamiento a la planta de los Alisos, derivando esto en que estas aguas escurran hacia el emisor principal Nogales que las conduce hacia la PITAR.</p>
Solución	<p>Se requiere la sustitución de aproximadamente 5.8 km de atarjeas deterioradas que ya cumplieron su vida útil en la zona centro de la ciudad, así como la rehabilitación en varias colonias.</p> <p>Sustitución de colectores deteriorados que han cumplido su vida útil como es el caso del colector Ruiz Cortines.</p> <p>Rehabilitación de los pozos de visita del emisor los Alisos en tramo de aproximadamente 3 km que se encuentran deteriorados ya que fueron construidos con tabique, pero han sufrido desgaste y han dejado de ser impermeables y existe el y el agua que se permea por sus paredes incrementa el flujo en la línea cuando llueve. Se necesitan adecuaciones del sistema de la red primaria y las ampliaciones a las plantas de tratamiento existentes que incluyen el equipamiento del tercer módulo de la planta los Alisos para disponer de una capacidad de tratamiento de 330 l/s; la rehabilitación y ampliación de 30 a 70 l/s de la planta de la Mesa con lo que se podrían disminuir los caudales que se envían a la PITAR de Río Rico Arizona y adicionalmente realizar la ampliación de la planta de tratamiento Puerta de Anza de 45 a 60 l/s para mejorar la capacidad de tratamiento en la zona poniente de la ciudad de Nogales.</p>
Inversión	<p>Se presenta una cartera de acciones y proyectos para atender la demanda de saneamiento en Nogales, SO. al 2050 por un total de 1,740 mdp para llevar a cabo 54 acciones de los cuales 40 atenderán la problemática de colectores y emisores con una inversión de 1,140 mdp, 2 acciones requeridas para plantas de bombeo y rebombeo con una inversión de 28 mdp, 9 para plantas de tratamiento de aguas residuales con una inversión de 485 mdp, 1 acción para atender sistemas de reúso con una inversión de 72 mdp y 2 acciones para infraestructura complementaria con una inversión de 15 mdp.</p>

Elaboración propia.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

1 Diagnóstico de los sistemas de saneamiento de la región

El centro de población Nogales, SO, se ubica en la parte norte del estado de Sonora, y su cabecera municipal es la ciudad del mismo nombre, localizada entre las coordenadas 31°24', y 31°59' de latitud norte, y entre los 110°37' y 111°21' de longitud oeste.

Ilustración 1. Localización de la ciudad de Nogales, SO



Fuente: Localización de Nogales, SO.

Nogales, SO, tiene actualmente una población de 245,363 habitantes, y el comportamiento del crecimiento poblacional en el municipio, según los censos de población y vivienda del INEGI 1990, 2000, 2010, y conteo 2015, se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 4. Población en el municipio de Nogales, SO

AÑO	POBLACIÓN
1990	107,936
2000	159,987
2010	212,533
2015	233,952
2019	245,363

Fuente: INEGI (1990, 1995, 2000, 2005, 2010 y 2015)

El clima en Nogales, SO, es semiseco, subhúmedo con lluvias en verano, con nevadas en invierno. La ciudad se caracteriza por su complicada topografía, predominando las pendientes que bajan de sur a norte para drenar hacia Estados Unidos. El patrón de drenaje natural es dendrítico, con una corriente principal al centro que concentra los caudales.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

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 Nogales, SO, comprende información de diversas instancias, que incluyen principalmente la Comisión Estatal del Agua de Sonora, el Organismo Operador de los Servicios de Agua y Saneamiento de Nogales, SO (OOMAPAS, Nogales, Sonora), la representación de la CILA en Nogales, la Comisión Nacional del Agua, a través del Organismo de Cuenca Noroeste, el INEGI, la CONAPO, e instancias municipales como el IMIP, con el objetivo de establecer la situación actual y las 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.

Tabla 5. Información recopilada

DESCRIPCIÓN DE LA TEMÁTICA	NOMBRE	FUENTE
RELACIÓN DE OBRAS PRIORITARIAS PARA LA CIUDAD DE NOGALES, SONORA, PARA ATENDER LA PROBLEMÁTICA URGENTE DE SANEAMIENTO	OBRAS PRIORITARIAS NOGALES SONORA-2021	OOMAPAS NOGALES
ANUARIO ESTADÍSTICO Y GEOGRÁFICO DE SONORA 2017	INEGI-GOBIERNO DEL ESTADO DE SONORA	INEGI
SITUACIÓN ACTUAL, PROBLEMÁTICA Y PROPUESTAS DE SOLUCIÓN A LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO, SANEAMIENTO, Y LO ADMINISTRATIVO, FINANCIERO Y COMERCIAL, DE CIUDAD NOGALES. (A DICIEMBRE DEL 2017).	AGUA POTABLE, DRENAJE Y SANEAMIENTO	CONAGUA-OOMAPAS NOGALES
INFORME DE LOS RESULTADOS Y LAS RECOMENDACIONES DEL ESTUDIO FINANCIADO POR EL BANCO DE DESARROLLO DE AMÉRICA DEL NORTE (BDAN), PARA EVALUAR LOS PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA DE SANEAMIENTO INVOLUCRADOS; ESTUDIO REALIZADO POR EL COLEGIO DE LA FRONTERA NORTE, LA UNIVERSIDAD DE ARIZONA Y EL COLEGIO DE CHIHUAHUA. NOVIEMBRE DEL 2019.	EVALUACIÓN DEL IMPACTO TRANSFRONTERIZO DE PROYECTOS DE SANEAMIENTO DE LOS DOS NOGALES.	BDAN-CFN
DOCUMENTO DE CERTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE TRATAMIENTO Y CONDUCCIÓN DE AGUAS RESIDUALES "LOS ALISOS", EN NOGALES, SONORA, 26 DE JULIO DE 2010.	PROYECTO DE TRATAMIENTO Y CONDUCCIÓN DE AGUAS RESIDUALES "LOS ALISOS", EN NOGALES, SONORA.	COCEF
OBRAS NECESARIAS ACTUALES Y PROGRAMADAS, PARA RECUPERAR LOS NIVELES FREÁTICOS DE LA CUENCA LOS ALISOS, DAR APERTURA AL CRECIMIENTO DE LOS NUEVOS DESARROLLOS AL SUR DE LA CIUDAD, BENEFICIAR LAS CONDICIONES DE SALUD PÚBLICA Y MEDIO AMBIENTE EN AMBOS LADOS DE LA FRONTERA Y MANTENER LA INFRAESTRUCTURA EN ÓPTIMAS CONDICIONES DE OPERACIÓN.	MANEJO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE NOGALES, SONORA. NOVIEMBRE DEL 2019.	OOMAPAS NOGALES
RED DE ALCANTARILLADO Y CONEXIONES INTRADOMICILIARIAS, ETAPA 4. CONSISTE EN LA INTRODUCCIÓN DE 37,745.00 ML DE TUBERÍA.	PROYECTO DE AMPLIACIÓN RED ALCANTARILLADO, ETAPA 4, EN COLONIAS AL SUROESTE DE NOGALES SONORA, NOVIEMBRE DEL 2019.	OOMAPAS NOGALES
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO COMÚN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO INTERNACIONAL DE NOGALES.	ACTA 206 DE LA CILA, DE FECHA 13 DE ENERO DE 1987.	CILA
AMPLIACIÓN DE LAS INSTALACIONES INTERNACIONALES PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS NEGRAS DE NOGALES, SONORA, Y NOGALES, ARIZONA.	ACTA 227 DE LA CILA DEL 5 DE SEPTIEMBRE DE 1967.	CILA



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

DESCRIPCIÓN DE LA TEMÁTICA	NOMBRE	FUENTE
CONDUCCIÓN, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE NOGALES, SONORA Y NOGALES, ARIZONA, EN EXCESO DE LAS CAPACIDADES ASIGNADAS A MÉXICO Y A LOS ESTADOS UNIDOS EN LA PITAR DE NOGALES ARIZONA, SEGÚN EL ACTA 227.	ACTA 276 DE LA CILA, DE FECHA 26 DE JULIO DE 1988.	CILA
PROGRAMA DE CONSOLIDACIÓN DE PROYECTOS PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS FRONTERIZOS DE SANEAMIENTO.	ACTA 294 DE LA CILA, DE FECHA 24 DE NOVIEMBRE DE 1995.	CILA
PROGRAMA DE SEGUIMIENTO DE INDICADORES DE GESTIÓN PARA CUMPLIMIENTO DE LA META DE EFICIENCIA GLOBAL DE ENERO A DICIEMBRE DEL 2018.	INDICADORES DE GESTIÓN, DE ENERO A DICIEMBRE DEL 2018.	CONAGUA-OOMAPAS NOGALES
ACUERDOS TRANSFRONTERIZOS DEL AGUA DE MÉXICO: (TRATADOS MÉXICO-ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA Y TRATADOS MÉXICO-GUATEMALA-BELICE).	ACUERDOS TRANSFRONTERIZOS DEL AGUA DE MÉXICO, AGOSTO DEL 2015.	CEDRSSA-LXII LEGISLATURA EDO SONORA
ANTECEDENTES Y ASPECTOS RELEVANTES PTAR LOS ALISOS, (NOVIEMBRE 2012).	ASPECTOS RELEVANTES PTAR LOS ALISOS.	CNA-AMH - XXII CONGRESO NACIONAL DE HIDRÁULICA
PLANES MUNICIPALES DE DESARROLLO 2019-2021, DEL ESTADO DE SONORA.	PLANES MUNICIPALES DE DESARROLLO 2019-2021.	BOLETÍN OFICIAL GOB. EDO SONORA
DOCUMENTO DE DIAGNÓSTICO Y PLANEACIÓN DEL CENTRO DE POBLACIÓN DE NOGALES, SONORA [VERSIÓN 2017]	PROGRAMA MUNICIPAL DE DESARROLLO URBANO DEL CENTRO DE POBLACIÓN DE NOGALES, SONORA [VERSIÓN 2017].	BOLETÍN OFICIAL GOB. EDO SONORA
PLANO EN AUTOCAD, DE LA CIUDAD NOGALES, SONORA, 10-11-2005.	PLANO CIUDAD NOGALES, SONORA	DIR. DE PLAN. DEL DES. URB. DE NOGALES.
PROYECTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES LOS ALISOS, JUNIO DEL 2012.	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES LOS ALISOS.	OOMAPAS NOGALES
ACUERDO DE LA INSTALACIÓN DEL OOMAPAS NOGALES, 2 DE DICIEMBRE DEL 2004.	ACUERDO DE LA INSTALACIÓN DEL OOMAPAS NOGALES.	BOLETÍN OFICIAL ESTADO DE SONORA
REGLAMENTO INTERNO OOMAPAS NOGALES, 7 DE NOVIEMBRE DEL 2005.	REGLAMENTO INTERNO OOMAPAS NOGALES.	BOLETÍN OFICIAL ESTADO DE SONORA
REGLAMENTO DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE PARA EL MUNICIPIO DE NOGALES SONORA, 31 AGOSTO 1998.	REGLAMENTO DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE.	BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO DE SONORA
RESEÑA DE LA VISITA A LA PTAR LOS ALISOS, NOGALES, SONORA, 21 DE SEPTIEMBRE DEL 2016.	VISITA A LA PLANTA DE TRATAMIENTO LOS ALISOS.	ESTUDIOS DE GESTIÓN HÍDRICA
AUTORIZACIÓN PARA LA GESTIÓN DE CRÉDITO POR 40 MDP AL OOMAPAS NOGALES, PARA CUMPLIR CON LA APORTACIÓN AL FINANCIAMIENTO DE ESTACIONES DE BOMBEO, LÍNEAS EMISORAS (20 KM), Y LA PLANTA DE TRATAMIENTO QUE SE REQUIERE. PARA ESTA PRIMERA ETAPA SE ESTIMA EN \$220 MILLONES DE PESOS, PÁGINAS 30 A 44. (10 DE JUNIO DE 2009).	SANEAMIENTO DE AGUAS DE NOGALES, SONORA.	GACETA PARLAMENTARIA NO. 197, 58 LEGISLATURA ESTADO SONORA
PROPUESTA DE CERTIFICACIÓN: AMPLIACIÓN SISTEMA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO SANITARIO A LAS COLONIAS SUROESTE DE NOGALES, SON, 14 DE NOVIEMBRE DE 2016.	PROPUESTA DE CERTIFICACIÓN.	COCEF-BDAN
REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN MÉXICO: CASO NOGALES, DICIEMBRE DEL 2015.	REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.	CONAGUA



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

DESCRIPCIÓN DE LA TEMÁTICA	NOMBRE	FUENTE
ESTE ESTUDIO ES UN TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE NOGALES, TERMINADO EL 18 DE AGOSTO DEL 2017, PARA DETERMINAR EL IMPACTO DE LAS DESCARGAS DE LA PTAR LOS ALISOS A LA CUENCA DEL ARROYO LOS NOGALES.	IMPACTO DE LA DESCARGA DE AGUA TRATADA EN LA CUENCA LOS ALISOS, SEPTIEMBRE DEL 2017.	REVISTA DE CIENCIAS AMBIENTALES Y RECURSOS NATURALES
GESTIÓN EFICIENTE DEL AGUA: EXTRACCIÓN, DISTRIBUCIÓN, USO, TRATAMIENTO Y REÚSO, AGUAS LOS ALISOS, 15 DE JULIO DE 2016.	GESTIÓN EFICIENTE DEL AGUA.	OOMAPAS NOGALES
FICHA TÉCNICA DE CIERRE DEL PROYECTO PTAR LOS ALISOS, QUE INCLUYE LAS OBRAS: ESTACIÓN DE BOMBEO ESTADIO, EMISOR A PRESIÓN Y COLECTOR A GRAVEDAD, PARA AMPLIAR LA CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN Y SANEAMIENTO A ZONAS SIN SERVICIO, ASÍ COMO REDUCIR LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y EL RIESGO DE ENFERMEDADES DE TRANSMISIÓN HÍDRICA, 14 DE SEPTIEMBRE DEL 2014.	FICHA TÉCNICA DE CIERRE DEL PROYECTO TRATAMIENTO Y CONDUCCIÓN DE AGUAS RESIDUALES “LOS ALISOS”	BDAN
REPORTE DE LOS INDICADORES DE MÉXICO Y DE ESTADOS UNIDOS EN LOS CENSOS DEL 2010, CONSIDERADOS EN LA GENERACIÓN DE LA BASE DE DATOS PARA LA PÁGINA WEB DE LA UNIDAD DE SERVICIOS ESTADÍSTICOS Y GEOMÁTICA, USEG.	BASE ESTADÍSTICA POR AGEB Y CENSUS TRACT, FEBRERO DEL 2017.	UNIDAD DE SERVICIOS ESTADÍSTICOS Y GEOMÁTICA, USEG
PLANO EN AUTOCAD DE LÍMITES DE COLONIAS EN LA CIUDAD DE NOGALES, SONORA.	PLANO DE LÍMITES DE COLONIAS.	INEGI
SISTEMA URBANO NACIONAL 2018.	SISTEMA URBANO NACIONAL 2018	SEDATU/CONAPO
MAPA DIGITAL DE MÉXICO V6.3.0, COLONIA BELTRONES.	MAPA DIGITAL DE MÉXICO V6.3.0, COLONIA BELTRONES.	INEGI
MAPA DIGITAL DE MÉXICO V6.3.0, COLONIA COLINAS DEL SOL.	MAPA DIGITAL DE MÉXICO V6.3.0, COLONIA COLINAS DEL SOL.	INEGI
LEY DE INGRESOS DE NOGALES, SONORA, TARIFAS DE SERVICIOS 2020, PUBLICADA EL 27 DE DICIEMBRE DEL 2019.	LEY DE INGRESOS DE NOGALES, SONORA.	BOLETÍN OFICIAL ESTADO DE SONORA
POBLACIÓN TOTAL, INDICADORES, ÍNDICE Y GRADO DE REZAGO SOCIAL, SEGÚN MUNICIPIO, 2000, 2005, 2010 Y 2015.	ÍNDICE DE REZAGO SOCIA, POR MUNICIPIO, 2000_2015,	CONEVAL
TARIFAS DE SERVICIO 2020, -TARIFAS ACTUALES, AGUA-SANEAMIENTO, NOGALES	TARIFAS DE SERVICIO 2020	OOMAPAS-NOGALES

Fuente: Elaboración propia con información recopilada al 28 de agosto del 2020

1.1.1 Sistema principal de alcantarillado

El sistema de drenaje de Nogales, SO, tiene la forma de un espinazo o peine formado por dos grandes colectores: Obregón y Ruíz Cortines, localizados en la parte más baja de la cuenca, y siguiendo casi en su totalidad el cauce del arroyo Los Nogales, que escurre de sur a norte por la mancha urbana, mientras que los subcolectores fluyen de las partes altas de este y oeste, y viceversa, para conectarse a los colectores citados.

Con excepción de la colonia Buenos Aires (9 l/s), los demás flujos de Nogales, SO, convergen en la línea internacional hacia el emisor Internacional; del lado de México se unen los colectores Obregón, de 76 cm (30”), y Ruíz Cortines, de 91 cm (36”) a uno solo de 91 cm (36”), para conectarse con el emisor Internacional, todos ellos de concreto reforzado para conducir los 434 l/s asignados a nuestro país en la PITAR de Nogales, AZ.

En algunas zonas del centro de la ciudad la red de alcantarillado tiene una antigüedad cercana a los 50 años; consta de 22.5 km de un emisor que conduce 171.29 l/s de aguas residuales desde la estación de bombeo Estadio, para su tratamiento en la PTAR Los Alisos, 45 subcolectores y



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

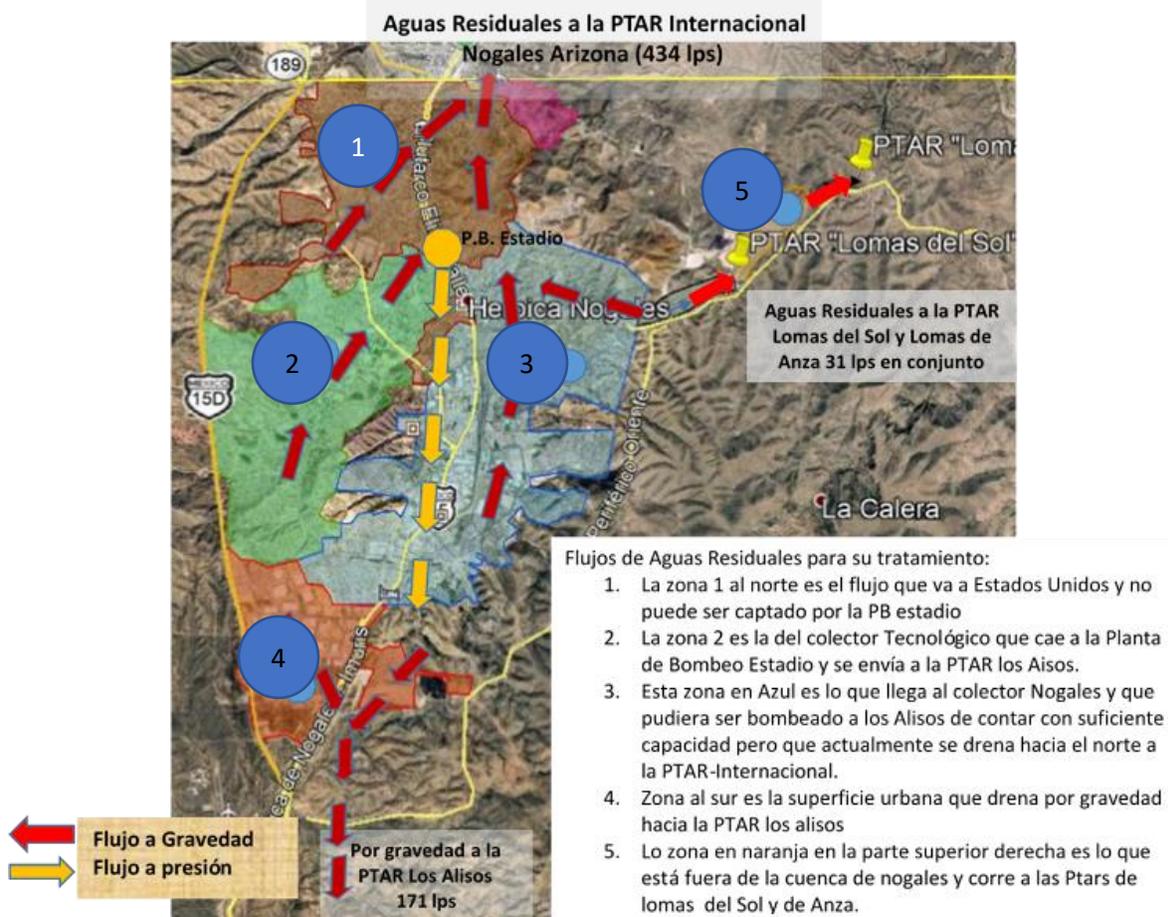
colectores con diámetros de 8", 12", 15", 18" y 24" que, en conjunto, suman una longitud de 69.6 km y una red de atarjeas de 371.16 km.

1.1.1.1 Cobertura de drenaje sanitario

En Nogales, SO, se tuvieron registradas 54,700 descargas domiciliarias activas a diciembre del 2019, las cuales equivalen a una cobertura del servicio de alcantarillado del 86.89 %. La cobertura actual de servicios se atiende considerando la distribución de descargas domiciliarias en cinco redes de alcantarillado, distribuidas en función del destino de las aguas residuales para su tratamiento, sea en Estados Unidos, o bien que sea factible, actualmente o en un futuro cercano, en el lado mexicano.

La red de alcantarillado cuenta con una longitud de 371.16 km; en algunas zonas del centro de la ciudad tiene una antigüedad de casi 50 años y se encuentra al límite de su capacidad para conducir los picos en la descarga de aguas residuales. Se presentan continuamente colapsos en las zonas más antiguas de la ciudad y derrames de aguas negras; se tienen, sobre todo en el sector sur-poniente, zonas sin servicio de drenaje, provocando filtraciones y escurrimientos superficiales de aguas negras, lo que incrementa el riesgo potencial de daños a la salud.

Ilustración 2. Zonas de captación y flujo de las aguas residuales



Fuente: elaboración propia con base en el diagrama original de la representación CILA-Nogales sobre imagen Google Earth



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

El alcantarillado de la zona 1, que colinda con el límite fronterizo de Nogales, AZ, se localiza al norte de la ciudad, y junto con el de la zona 3, que se ubica al centro-oriente de la ciudad, conducen sus aguas residuales a la planta internacional de tratamiento, localizada en Nogales AZ.

El alcantarillado de la zona 2 está al centro-poniente de la ciudad y sus aguas residuales, por condición natural, fluyen hacia el norte y al final de la red llegan a una planta de bombeo (estación Estadio), desde donde son conducidas por tubería a presión hacia el sur de la ciudad, hasta una caja de descarga, para interconectarlas al alcantarillado de la zona 4, donde se juntan las aguas de ambas zonas y son conducidas por gravedad a la planta de tratamiento Los Alisos, como puede verse en la ilustración 1.2.

Finalmente, el alcantarillado de la zona 5 se localiza al noreste de la ciudad, quedando fuera de la cuenca de Nogales, y conduce sus aguas residuales por gravedad a las plantas de tratamiento llamadas Lomas del Sol y De Anza.

La red sanitaria consta de 22.93 km de emisores y 69.61 km de colectores y subcolectores, cuyos nombres se muestran en la tabla 1.3:

Tabla 6. Caudales estimados por colector

CONDUCCIÓN	Longitud (m)	Caudal medio (l/s)
CUENCA ARROYO LOS NOGALES		
Descargas directas al emisor Internacional	1,747.28	14.97
Colector Álvaro Obregón	10,955.94	90.52
Colector Adolfo Ruíz Cortines	14,225.77	143.11
Subcolector arroyo Los Nogales, conecta al Ruíz Cortines	5,297.22	92.41
Subcolector Nuevo Nogales, conecta al subcolector A. Nogales	8,021.98	103.30
Aportación en exceso del colector Tecnológico que no se va a la PTAR Los Alisos	12,408.22	128.69
SUBTOTALES A EMISOR INTERNACIONAL	52,656.41	573.00
COLECTORES QUE DESCARGAN A LA PTAR LOS ALISOS (salen de la cuenca Los Nogales)		
Subcolectores que descargan a la planta de bombeo Estadio, y se conducen a caja rompedora de presión mediante el emisor Los Alisos (22.93 Km)	16,306.06	120.00
Subcolector Tecnológico		120.00
Subcolectores que descargan al emisor a gravedad Los Alisos	18,027.00	30.00
SUBTOTALES A LA PTAR LOS ALISOS (Salen de la Cuenca los Nogales)	34,333.06	150.00
Aportaciones a la PTAR La Mesa	500.00	21.29
Subcolector Atarjeas La Mesa	500.00	21.29
COLECTORES QUE DESCARGAN A OTRAS PTAR		
Aportaciones a la PTAR Lomas del Sol y Lomas de Anza	1,076.00	38.17
Subcolector Lomas del Sol	1,076.00	38.17
Aportaciones a la PTAR Lomas de Anza	3,983.00	5.84
Colector El Oso	3,983.00	5.84
TOTALES (incluye los 22, 934 m del emisor Los Alisos (presión y gravedad)	92,548.47	788.30

Fuente: elaboración propia con información del OOMAPAS Nogales, SO

1.1.1.2 Sitios de descarga y disposición final

La planta internacional de Nogales, AZ se ubica cerca de la comunidad Río Rico y en ella se tiene asignado un caudal de 434 l/s de aguas residuales de la ciudad de Nogales, SO, que, una vez tratadas, se descargan al río Santa Cruz; sin embargo, este caudal es frecuentemente rebasado cuando existe algún problema en la red o en la planta de bombeo, para que los volúmenes que deben ser tratados



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

en la PTAR Los Alisos sean enviados a la PITAR, por lo que estos caudales terminan en el emisor Los Nogales y cruzan la frontera para ser tratados en Estados Unidos.

En la PTAR Los Alisos, ubicada al sur de la ciudad de Nogales, SO, se trata un caudal de 170 l/s, que se reciben desde la estación de bombeo Estadio y del fraccionamiento La Mesa, mediante un emisor a presión y por gravedad. Su ubicación, en una zona al sur de la ciudad, permite que el efluente se descargue en el río Bambuto, afluente del río Magdalena.

Las PTAR Lomas del Sol y Puerta de Anza, localizadas en el nororiente de la ciudad de Nogales, SO, descargan aproximadamente 31 l/s de agua residual tratada en un arroyo transfronterizo, denominado El Oso, ubicado al oriente de la ciudad, y que cruza a territorio estadounidense y eventualmente llega al río Santa Cruz.

1.1.1.3 *Sistemas de bombeo principales*

La estación de bombeo Estadio es el principal sistema de bombeo (ilustración 1.3); por medio de su infraestructura se bombea agua a la planta de tratamiento Los Alisos, y se disminuye el caudal que se trata en Nogales, AZ.

Ilustración 3. Estación de bombeo Estadio, desde donde se bombea agua a la PTAR Los Alisos



Fuente: OOMAPAS, Nogales, SO

La planta de bombeo se encuentra sobre la avenida Tecnológico, a un costado del parque de béisbol, en un predio que tiene una superficie de 674.34m².

La conducción de las aguas concentradas en la PB Estadio se realiza mediante una línea a presión que conecta a dicha estación hasta una caja de descarga, mediante una tubería de 76 cm de diámetro y una longitud de 7.22 km. La línea fue diseñada para un gasto medio de 390 l/s y una capacidad de gasto máximo de 750 l/s. La caja de descarga tiene la función de recibir el agua bombeada de la estación de bombeo, transfiriendo la condición de línea presurizada a línea a



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

gravedad hasta la planta de tratamiento, a través de un emisor a gravedad de 15.68 km de longitud, con tubería de 61 cm de diámetro, hasta la PTAR Los Alisos.

La estación de bombeo se compone de los siguientes elementos:

- Estructura de llegada: rejillas mecanizadas y desarenador.
- Cárcamo: equipo de bombeo, instalación mecánica y equipo de protección de línea a presión.
- Edificios: instalaciones eléctricas, caseta de vigilancia, edificio administrativo.
- Taller y área de maniobras.

La estación cuenta con cinco equipos de bombeo, diseñados para un gasto de 130 l/s, cada uno, y operando el máximo de equipos (tres); un gasto de 390 l/s se envía por el emisor a presión a la PTAR Los Alisos.

1.1.1.4 Volúmenes y tipo de aportaciones de aguas residuales

En las plantas de tratamiento existentes, la capacidad instalada en condiciones de operación actual, considerando únicamente el caudal acordado para Nogales, SO, en el Acta 276 de la CILA, es de 729 l/s, mientras que los caudales que son tratados suman 783.95 l/s, a diciembre del 2019.

Sin embargo, cabe destacar que la capacidad de 434 l/s, asignada a nuestro país para enviar a la PITAR de Río Rico aguas residuales por el emisor Internacional, se ve rebasada frecuentemente, y en el 2109 el promedio de caudal en exceso, al caudal asignado, fue de 139 l/s, por lo que con la ampliación de las plantas Los Alisos y La Mesa, más la construcción de infraestructura de colectores y emisores, se podrá hacer llegar mayor volumen de agua fuera de la cuenca del arroyo Los Nogales para evitar, en lo posible, enviar excedentes de aguas residuales hacia la PITAR en Estados Unidos. De concretarse las ampliaciones propuestas, la nueva capacidad en corto plazo sería de 924 l/s, (o 1134 l/s, si se incluye el cuarto módulo en Los Alisos), como se muestra en la tabla 1.4.

De la información anterior se deduce que el volumen que se trata en la PITAR de Río Rico es del orden de 13.7 millones de metros cúbicos, mientras que en Los Alisos se tratan 5.4 Mm³, y las plantas de Puerta de Anza y Lomas del Sol tratan 0.94 Mm³, para un total de 20.44 Mm³.

Tabla 7. Situación de las plantas de tratamiento de aguas residuales en Nogales, SO

NOMBRE DE LA PTAR	CAPACIDAD DISPONIBLE (L/S)	CAUDAL MEDIO DE TRATAMIENTO EN (LITROS/SEGUNDO)				OBSERVACIONES
		OPERANDO A AGUAS DE NOGALES	CAUDAL AMPLIACIÓN (PROYECTO)	TOTAL A FUTURO	DISP. ADICIONAL CORTO PLAZO	
PITAR, Río Rico, Arizona (Acta 276)	434.00	573.00		434.00	-139.00	Frecuentemente se rebasa el caudal asignado.
Los Alisos	220.00	171.29	110.00	330.00	158.71	OMAPAS propone ampliar a 4 módulos de 110 l/s.
Lomas del Sol	30.00	30.00		30.00	0.00	Estas plantas se ubican fuera de la cuenca del arroyo Los Nogales.
Puerta de Anza	45.00	9.66	15.00	60.00	50.34	
PTAR la Mesa	0.0	0.00	70.00	70.00	70.00	Puede auxiliar a la PTAR Los Alisos
TOTAL	729.00	783.95	195.00	924.00	210.05	



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Fuente: Organismo Operador Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Nogales, año 2019

El OOMAPAS Nogales tiene un programa de pretratamiento industrial que se revisa cada año; es decir, los permisos de descarga se renuevan anualmente. Cabe señalar que en el 2018 existían ciento cuarenta (140) industrias registradas, de las cuales trece (13) se sancionaron por excedencias en la NOM-SEMARNAT-002. En lo relativo al giro comercial, ese mismo año se contaba con un registro de ciento veintidós (122) comercios, de los cuales cuarenta y ocho (48) fueron sancionados.

Las sanciones se traducen en cambio de tarifa, en lugar de aplicar multa. Así, en caso de ser sancionada una industria o un comercio, todo el año pagan una tarifa más alta.

En el año 2018 no se encontraron, en las descargas industriales y comerciales, incumplimientos en los parámetros de metales pesados.

Tabla 8. Límites máximos permisibles (NOM-002-SEMARNAT-1996)

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

Fuente: DOF

El programa año con año ha arrojado resultados positivos, entre los cuales cabe destacar la considerable reducción de los contaminantes de prioridad, viéndose reflejados en los resultados del influente a la PITAR.

1.1.2 Sistema de tratamiento de aguas residuales

Como se ha descrito, el saneamiento de las aguas residuales de Nogales forma un sistema transfronterizo intrínsecamente interconectado, debido a la topografía del área de estudio; la pendiente general del terreno baja de sur a norte. La mayor parte de las aguas residuales de Nogales, SO, fluyen por gravedad hacia Nogales, AZ, por lo cual ha sido históricamente más factible, en términos económicos, tratar las aguas residuales en el lado estadounidense, ya que no se cuenta con un espacio adecuado en el lado mexicano para una obra de esta naturaleza. Este sistema de saneamiento binacional ha obligado a las autoridades y actores principales de ambos países a colaborar estrechamente, con el fin de manejar en forma adecuada las aguas residuales vertidas por las dos ciudades fronterizas.

Mediante las Actas 206, 227 y 276 de la CILA, los Gobiernos de México y de Estados Unidos convinieron en que el tratamiento de las aguas residuales de ambos Nogales se realizaría en una planta internacional en Nogales, AZ. El Gobierno de México debe cubrir a Estados Unidos los costos



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

de tratamiento, con base en los costos en que hubiera incurrido nuestro país si llevaran a cabo tales acciones en su territorio. La diferencia entre los costos cubiertos por México y los costos reales se paga por Estados Unidos. Para la última ampliación, acordada mediante el Acta 276, en 1988 el costo, conforme a la economía de México para una capacidad adicional de 217 l/s, fue de un millón de dólares, importe que México se comprometió a cubrir en 10 anualidades, a partir de 1992, año en que entró en operación la ampliación de la PITAR.

Como ya se ha descrito, actualmente existen cinco plantas de tratamiento y la principal de ellas se ubica en la localidad de Río Rico, Arizona. Por el crecimiento de la ciudad y, por tanto, de los caudales que se descargan al sistema, a partir del año 2012 entró en operación la PTAR Los Alisos.

Conforme se ha desarrollado la ciudad y ha crecido la mancha urbana, algunos desarrolladores han construido tres PTAR que han sido entregadas al OOMAPAS para su operación, como es el caso de las plantas de tratamiento: Puerta de Anza, Lomas del Sol y La Mesa, de las que solo la planta de La Mesa no opera, ya que se encuentra dañada por vandalismo.

1.1.2.1 Cobertura de tratamiento de aguas residuales

En la ciudad de Nogales, SO, aproximadamente un 87 % de las viviendas están conectadas a una planta de tratamiento de aguas residuales, a través del sistema de alcantarillado sanitario que, a su vez, se interconecta con alguna de las cinco plantas de tratamiento.

1.1.2.2 Ubicación de las PTAR y áreas de aportación

Actualmente los sistemas de drenaje sanitario ambas Nogales se encuentran integrados por el emisor internacional, el cual conduce las aguas residuales a Estados Unidos, para ser tratadas en la planta internacional de tratamiento de aguas residuales de Nogales, Arizona (PITARN), localizada a 12 km al norte de la línea internacional.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 4. Vista aérea de la PITAR en Río Rico, Arizona



Fuente: Informe OOMAPAS

Esta planta tiene una capacidad de diseño de 754 l/s, de los cuales 434 l/s han sido asignados a la ciudad de Nogales, SO, y los restantes 320 l/s para Nogales, AZ. Conforme a los acuerdos plasmados en el Acta No. 276 de la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILIA), México paga un costo de tratamiento de acuerdo con las economías de ambos países, conservando así la propiedad de dichas aguas, de las cuales podrá disponer en el momento que así lo requiera.

Para evitar la saturación de la PTAR internacional se construyó el cárcamo de bombeo Estadio y el emisor de aguas residuales, para bombear hacia el parteaguas de la ciudad, ubicado en la zona sur, de forma que desde ahí las aguas sean conducidas por gravedad a la planta de tratamiento de aguas residuales Los Alisos.

La PTAR Los Alisos se ubica al sur de la ciudad de Nogales, fuera de la cuenca del río Santa Cruz; es una planta que permite que el tratamiento de una parte importante de las aguas residuales de la ciudad de Nogales, SO, se haga en territorio mexicano, y que los efluentes ya no se descarguen hacia el otro lado de la frontera, sino en la cuenca del río Magdalena. La PTAR Los Alisos tiene una capacidad de 220 l/s, y en el 2019 ingresaron en promedio 171.29 l/s; sin embargo, se requiere terminar la ampliación del sistema de tratamiento en la planta, para que puedan tratarse hasta 330 l/s con un módulo adicional, cuya infraestructura se encuentra construida, por lo que es prioritario su equipamiento. El OOMAPAS Nogales propone, incluso, construir y equipar hasta un cuarto módulo de 110 l/s, en el mediano plazo.

En la colonia La Mesa (fuera de la cuenca del arroyo Los Nogales) se ubica una PTAR que no opera, propiedad del OOMAPAS Nogales. El diseño original de esta planta consideraba varios módulos, con



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

una capacidad de hasta 70 l/s, de los cuales el módulo existente puede tratar hasta 30 l/s, si se rehabilita, ya que la planta se encuentra vandalizada. Esta PTAR fue clausurada por la CONAGUA, pues no contaba con el permiso de descarga. Actualmente el OOMAPAS Nogales cuenta con un título de descarga vigente para esta PTAR, con capacidad de 30 l/s, y puede modularse el máximo de 70 l/s.

Debido a que esta última PTAR no opera, los flujos generados en la colonia La Mesa son tratados en la PTAR Los Alisos, lo que disminuye la capacidad de esta última para el tratamiento de los flujos enviados por la estación de bombeo Estadio de Béisbol.

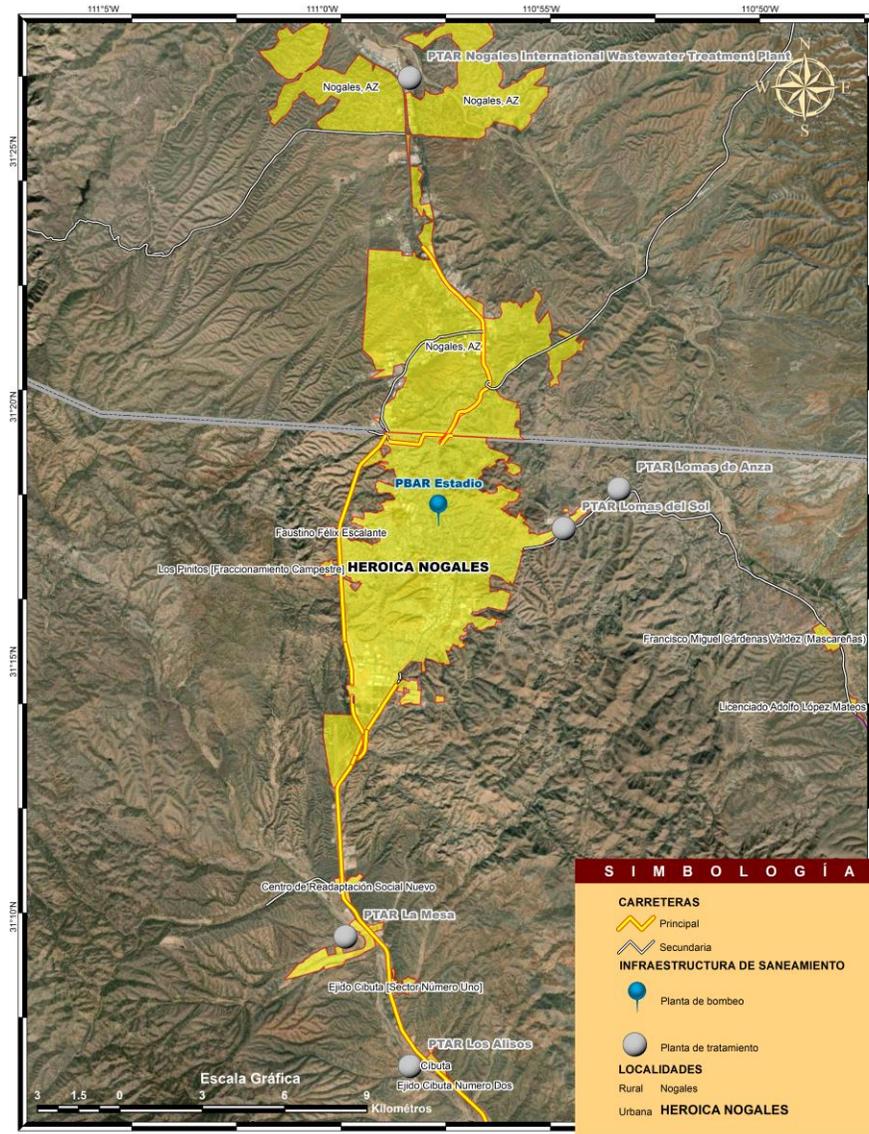
Otras dos PTAR existentes desde el año 2014 son: Lomas del Sol, ubicada en las coordenadas geográficas 31°18'16.97" norte, y 110°53'42.36" oeste, con capacidad de tratamiento de 30 l/s, y Puerta de Anza, localizada en las coordenadas 31°19'7.51" norte, y 110°52'30.02" oeste, con capacidad de diseño de 180 l/s (12 módulos de 15 l/s), pero que con los módulos actuales puede tratar 45 l/s, de los cuales sólo se tratan 21 l/s.

La ubicación de las cinco plantas de tratamiento se muestra en la ilustración 5:



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 5. Ubicación de las PTAR que atienden a la ciudad de Nogales, SO



Fuente: elaboración propia

1.1.2.3 Proceso y normas que cumplen las PTAR

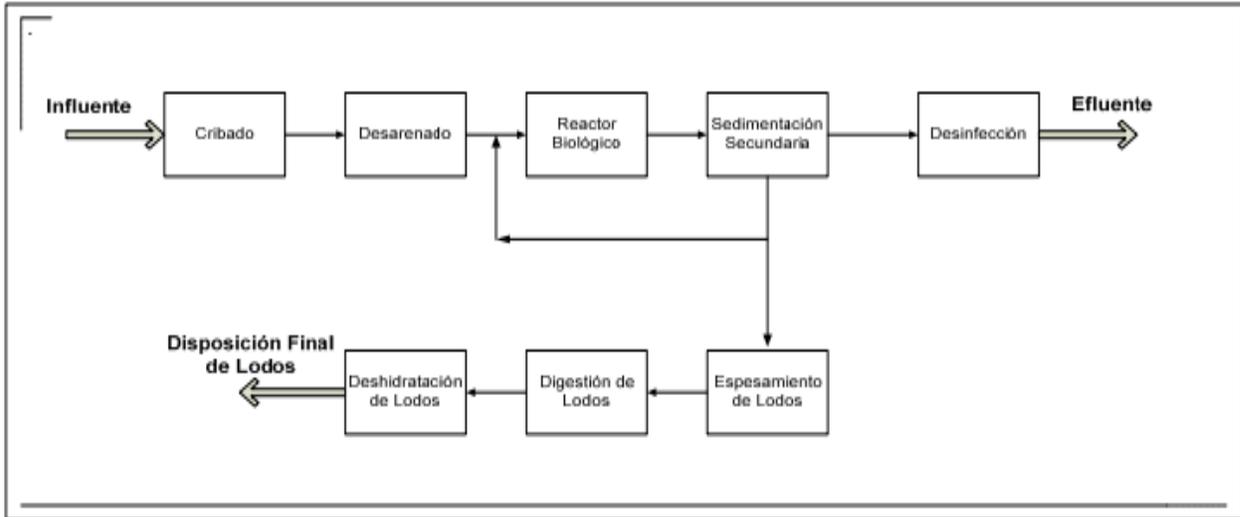
La planta de tratamiento internacional, que da servicios a ambas Nogales, tiene un proceso de lagunas aireadas y cumple la normatividad de Estados Unidos.

Las PTAR Los Alisos tiene un sistema de tratamiento de lodos activados, combinado con aireación extendida, y cumple las NOM-001-ECOL-1996 y la NOM-003-SEMARNAT 1997 (para reúso en uso público urbano). El proceso de tratamiento de aguas residuales de dicha planta se presenta esquemáticamente en la ilustración 6.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 6. Proceso de la PTAR Los Alisos, Nogales, SO



Fuente: Documento de Certificación de la PTAR Los Alisos, COCEF, 2008

Las plantas de tratamiento La Mesa, Puerta de Anza y Lomas del Sol mantienen un proceso denominado aireación extendida simplificada, y cumplen con las siguientes normas: para la descarga de agua tratada con contacto directo NOM-003-SEMARNAT-1997, y para lodos NOM-004-SEMARNAT-2002, clase B. Los límites de los parámetros principales de NOM-003-SEMARNAT-1997 se muestran en la tabla 1.6:

Tabla 9. Límites de los parámetros NOM-003-SEMARNAT-1997

Parámetro	Concentración Máxima Permissible
Grasas y aceites (mg/L)	15
Materia Flotante	ausente
SST (mg/L)	30
DBO ₅ (mg/L)	30
Huevos de Helmintos (h/L)	≤ 5
Coliformes fecales (NMP/100ml)	1,000

Fuente: NOM-003-SEMARNAT-1997

1.1.2.4 Capacidad instalada y operación actual

La capacidad instalada en las plantas de tratamiento es de 729 l/s (tabla 1.4); sin embargo, se operan en promedio 783.95 l/s. Actualmente el sistema se ve rebasado en su capacidad de redistribuir caudales, para evitar que estos excedan el límite establecido para ser tratados en la planta internacional. Cualquier problema de operación en el sistema de alcantarillado, o en las plantas de tratamiento, impacta hacia el otro lado de la frontera, ya que se carga al emisor internacional Nogales o se derrama y transita superficialmente hacia la ciudad de Nogales, AZ.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

1.1.3 Sistema de reúso de agua tratada

En la ciudad de Nogales, SO no existe un sistema de reúso de agua residual tratada, ya que la mayor parte de estas aguas se trata del otro lado de la frontera; es decir, en Estados Unidos de América, y el agua tratada se descarga en el río Santa Cruz.

Desde el año 2012 comenzó operaciones la PTAR Los Alisos, con una capacidad de 220 l/s, y en el 2019 se estimó que operó con un caudal promedio de 179.29 l/s, que descargan al río Bambuto, en la cuenca del río Magdalena; a la fecha las aguas residuales tratadas no se reutilizan.

1.1.3.1 Cobertura de red reúso

No existe red de reúso; en general las aguas residuales tratadas son descargadas a alguna corriente, incluyendo la que se trata en Río Rico, Arizona.

1.1.3.2 Calidad y uso de los efluentes

La calidad del efluente producido es bastante buena, típicamente alcanzando concentraciones de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y de sólidos suspendidos totales (SST) < 10 mg / L y nitrógeno total < 15 mg/l.

El agua residual no se utiliza para irrigación agrícola, y se descarga en el río Santa Cruz en Estados Unidos; la descarga de Los Alisos se vierte a un afluente del río Magdalena.

Tabla 10. Parámetros principales de calidad del efluente de la PTAR Nogales (muestreado el 13 de julio del 2013)

Parámetros	Datos	
	Binacional	Los Alisos
PH	7.05	6.9
Coliformes fecales (NMP/100mL)	0	0
Demanda biológica de oxígeno (mg/l)	3	7
Nitrógeno total (N) (mg/l)	14	ND
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	< 5	< 5

Fuente: Informe del Centro de Investigación del Agua de la Universidad de Tel Aviv, "Reutilización de Aguas Residuales en México: Caso Sonora", presentado a la CONAGUA en diciembre del 2015.

Tabla 11. Parámetros principales de calidad del efluente de la PTAR Nogales

Fecha	Ubicación	DBO	DQO	Fósforo Total	Nitrógeno total	SST
		(30 mg/l)	(75 mg/l)	(20 mg/l)	(40 mg/l)	(30 mg/l)
ene-20	Efluente	12	31	1.99	6.791	7
	Efluente	25	30	0.5	8.321	10.4
feb-20	Efluente	10	30	1.42	15.581	11.2
	Efluente	11	59	1.62	13.067	9.2
mar-20	Efluente	7	30	0.892	16.858	5.2
abr-20	Efluente	73	82	2.33	20.345	20
	Efluente	34	37	2.88	21.097	< C.M.C.
may-20	Efluente	17	41	3.65	28.358	15.6
	Efluente	10	48	2.15	31.272	6.6
jun-20	Efluente	14	53	2.8	28.351	5.4
	Efluente	23	44	2.95	30.322	5.8
jul-20	Efluente	32	30	5.57	16.5	31.5
	Efluente	29	30	2.32	17.139	5

Fuente: OOMAPAS Nogales



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

1.1.4 Generalidades

El tratamiento de aguas residuales, mediante procesos de aireación, representa aproximadamente el 60 % del consumo energético en plantas de tratamiento de aguas residuales. El consumo energético es el principal factor de aumento de costo en el tratamiento de aguas residuales, y su optimización es uno de los muchos desafíos a los que se enfrentan los operadores de plantas, que también tienen que cumplir con aspectos de seguridad cada vez más exigentes. Por ello, como política de operación, se ha procedido a buscar ahorros en este sentido, y se promovió la construcción de un sistema fotovoltaico para alimentar la PTAR Los Alisos.

1.1.4.1 Políticas de operación

El saneamiento de las aguas residuales involucra una serie de operaciones encaminadas a garantizar un buen servicio de alcantarillado de amplia cobertura de captación, una red de conducción y un sistema de tratamiento, suficientes en capacidad para el saneamiento apropiado de las aguas residuales, para que estas sean descargadas a los cuerpos receptores o puedan reusarse con la calidad que exigen las normas oficiales.

En Nogales, SO, parte de las políticas se orientan a mantener y operar la infraestructura de alcantarillado, plantas de bombeo y de tratamiento, para que al mismo tiempo que se presta el servicio a la población, el agua residual que se conduce hacia Estados Unidos no rebase el caudal asignado a México para ser tratado en la planta internacional de tratamiento de aguas residuales.

Con la estructura del organismo operador, en lo referente al sistema de alcantarillado y saneamiento, se busca dar mantenimiento al sistema para evitar la ruptura de tuberías, taponamientos, interrupciones del servicio o variaciones en la cantidad y calidad del agua cruda.

En lo referente al sistema de saneamiento, se dispone del Manual de Operación, en el que se asienta que la meta de operación de cualquier planta de tratamiento es producir una calidad en el efluente, que cumpla con los parámetros exigidos por la normatividad vigente, como puede ser DBO, SST, coliformes fecales, etcétera. Pero para alcanzar esta meta, el operador debe mantener todo el equipo mecánico en buenas condiciones de funcionamiento, lo cual puede lograrse con un mantenimiento apropiado para reducir el período de paro de trabajo. Igual de importante es el mantenimiento de la salud de los microorganismos que tratan las aguas residuales, en el caso de los procesos biológicos.

Algunos aspectos de las políticas de operación se refieren a la obtención y manejo de información acerca de la planta de tratamiento para poder lograr el control apropiado de la misma. A esta información se le llama parámetros de control; los cinco controles más importantes de las plantas de lodos activados son los siguientes:

- Niveles de oxígeno disuelto.
- Niveles de sólidos en el reactor.
- Calidad de los sólidos.
- Tasa de recirculación de lodos. Tasa de lodos de desecho.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

1.1.4.2 Derechos de vía y tenencia de la tierra

El OOMAPAS es propietario de los terrenos de la PTAR Los Alisos, y de la estación de bombeo; no se requirió la adquisición de predios adicionales, ya que la planta se construyó en terrenos municipales. La línea presurizada se construyó en terrenos municipales de calles, y el emisor a gravedad se construyó entre la carretera federal No. 5 y las vías del ferrocarril, de propiedad federal.

Los colectores y subcolectores fueron construidos en derechos de vía de calles, es decir en terrenos municipales, y en algunos tramos en terrenos federales, autorizados por la autoridad correspondiente.

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

El costo de tratamiento de las aguas residuales en la planta de tratamiento de Nogales, AZ, por el volumen correspondiente al caudal asignado en el Acta 276 (13.678 millones de m³) fue de 885,460.73 dólares, en el 2019, a un tipo de cambio de 21.00 pesos por dólar; este monto equivale a 18.59 mdp; sin embargo, por el volumen excedente de 4.388 millones de metros cúbicos, el pago ascendió a 18.32 mdp; es decir, el costo total del tratamiento del agua en la PITAR de Arizona fue de 36.91 mdp, lo que equivale a un costo de 2.05 pesos por metro cúbico tratado.

Tabla 12. Costos de volúmenes tratados y costos de operación en la PITAR Nogales

PLANTA INTERNACIONAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE AMBOS NOGALES (CAPACIDAD MEX. 434 L/S ---- 13,678 mill. de m ³ /año) (FLUJOS PROVENIENTES DE NOGALES, SO.)				
PERIODO	VOLUMEN (millones de m ³)	PAGO MÉXICO (ACTA 276. dlls)	FLUJOS EN EXCESO (millones de m ³)	ADEUDO OOMAPAS EXCEDENTES (dólares)
2010-2011	16.008	\$686,360.69	2.329	\$540,858.70
2011-2012	16.624	\$650,938.87	2.945	\$607,522.20
2012-2013	15.277	\$714,642.54	1.598	\$441,531.99
2013-2014	16.164	\$732,070.42	2.485	\$720,989.45
2014-2015 y 2015-2016	14.26	\$509,959.88	2.394	\$696,343.80
2016-2017	13.679	\$861,762.70	2.861	\$754,032.99
2017-2018	13.679	\$875,441.47	4.430	\$1'015,172.78
2018-2019	13.679	\$885,460.73	4.388	\$872,403.58

Fuente: CILA. Nogales

Para operar las plantas Los Alisos, Puerta de Anza y Lomas del Sol, considerando el bombeo de agua de la estación Estadio, los costos de operación y mantenimiento, por concepto de saneamiento, representan un importe de 11.28 mdp para el tratamiento de 6.9 millones de metros cúbicos que, en promedio, equivale a un costo de 1.63 pesos por metro cúbico.

Tabla 13. Costos de operación en las plantas de tratamiento en Nogales

CONCEPTO	Los Alisos	Puerta de Anza	Lomas del Sol
Sueldos y prestaciones	4,200,000.00	75,000.00	800,000.00
Energía eléctrica (bombeo)	700,000.00	100,000.00	150,000.00
Reparaciones menores	150,000.00	30,000.00	50,000.00
Químicos y limpieza	400,000.00	90,000.00	120,000.00
Mantenimiento de equipos	1,000,000.00	150,000.00	225,000.00
Análisis de agua	350,000.00	75,000.00	100,000.00
Transporte y disp. de lodos	1,100,000.00	100,000.00	200,000.00
Gastos administrativos	900,000.00	90,000.00	125,000.00



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

CONCEPTO	Los Alisos	Puerta de Anza	Lomas del Sol
	\$ 8,800,000.00	\$ 710,000.00	\$ 1,770,000.00
	\$11,280,000.00		

Fuente: OOMAPAS. Nogales

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

Las tarifas vigentes son publicadas en la Ley de Ingresos Municipal, que se aprueba por el cabildo de Nogales, SO, y por el Congreso del Estado. Las tarifas vigentes al año 2020, por tipo de usuario y consumos, publicadas el 27 de diciembre del 2019, se presentan de acuerdo con su uso, y haciendo referencia a los artículos de la ley correspondiente, conforme se describe a continuación:

Los usuarios pagarán mensualmente por el consumo de agua potable, conforme a las tarifas que se presentan a continuación:

Tabla 14. Tarifa de uso doméstico: exclusiva para uso habitacional (no incluye servicio de drenaje)

Rango de consumo (m ³)		Valor (\$)	Tipo de tarifa
De	Hasta		
Usuario sin servicio medido conforme a lo siguiente:			
Equivalente a 30 m ³		264.30	Cuota Fija
Usuarios con servicio medido conforme a lo siguiente:			
000	25	220.25	Tarifa Base Mensual Obligatoria
026	30	8.81	Por m ³ adicional
31	50	9.19	Por m ³ adicional
51	75	14.73	Por m ³ adicional
76	100	17.66	Por m ³ adicional
101	200	22.08	Por m ³ adicional
201	500	22.10	Por m ³ adicional
501	En adelante	28.8	Por m ³ adicional

Fuente: Ley de Ingresos del Municipio de Nogales, Sonora, publicada el 27 de diciembre del 2019

Para uso comercial, servicios a Gobierno y organizaciones públicas. La tarifa será aplicable a usuarios, comerciales, de prestación de servicios, u otras de naturaleza análoga. Los cargos mensuales por consumo (no incluye el servicio de drenaje ni el Impuesto al Valor Agregado) conforme a la tabla 1.12:

Tabla 15. Tarifa de uso comercial, servicios, Gobierno y organizaciones públicas (no incluye drenaje)

Rango de consumo (m ³)		Valor (\$)	Tipo de tarifa
De	Hasta		
Usuario sin servicio medido conforme a lo siguiente:			
Equivalente a 30 m ³		665.10	Cuota Fija
Usuarios con servicio medido conforme a lo siguiente:			
000	25	332.55	Tarifa Base Mensual Obligatoria
026	30	22.17	Por m ³ adicional
31	50	25.02	Por m ³ adicional
51	75	29.45	Por m ³ adicional
76	100	35.32	Por m ³ adicional
101	200	44.15	Por m ³ adicional
201	500	51.77	Por m ³ adicional
501	En adelante	61.07	Por m ³ adicional

Fuente: Ley de Ingresos del Municipio de Nogales, Sonora, publicada el 27 de diciembre del 2019

Para determinar el importe mensual por consumo de agua a usuarios del sector comercial, de servicios, Gobierno y organizaciones públicas, con lectura de medidor de consumo, se aplicará el



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

procedimiento que consiste en considerar la tarifa base mensual obligatoria de \$332.55, y para los siguientes 15 metros cúbicos de consumo por la tarifa correspondiente; así se repetirá esta operación con los siguientes rangos, hasta llegar al rango donde se ubica el consumo mensual del usuario en metros cúbicos, sumando a los importes calculados anteriormente.

Para uso industrial: esta tarifa será aplicable a los usuarios, cuando en el inmueble en que se encuentre la toma de agua se lleven a cabo actividades industriales, o que utilicen el agua potable como uno de sus insumos o elementos principales para la producción de bienes o servicios. Los cargos mensuales por consumo (no incluye el servicio de drenaje ni el Impuesto al Valor Agregado), serán conforme a lo mostrado en la tabla 1.13:

Tabla 16. Tarifa de uso industrial (no incluye denaje)

Rango de Consumo (m ³)		Valor (\$)	Tipo de Tarifa
De	Hasta		
Usuario sin servicio medido conforme a lo siguiente:			
Equivalente a 30 m ³		665.10	Cuota Fija
Usuarios con servicio medido conforme a lo siguiente:			
000	30	665.10	Tarifa Base Mensual Obligatoria
31	50	25.60	Por m ³ adicional
51	75	29.45	Por m ³ adicional
76	100	35.32	Por m ³ adicional
101	200	44.15	Por m ³ adicional
201	500	51.77	Por m ³ adicional
501	En adelante	61.07	Por m ³ adicional

Fuente: Ley de Ingresos del Municipio de Nogales, Sonora, publicada el 27 de diciembre del 2019

Para determinar el importe mensual por consumo de agua a usuarios de uso industrial, con lectura de medidor de consumo, se aplicará el procedimiento que consiste en considerar la tarifa base mensual obligatoria de \$665.1, o para los primeros 30 metros cúbicos; para consumos mayores, se le sumará a este cobro mínimo el producto de los siguientes 20 metros cúbicos de consumo por la tarifa correspondiente. Así se repetirá esta operación con los siguientes rangos, hasta llegar al rango donde se ubica el consumo mensual del usuario en metros cúbicos, sumando a los importes calculados anteriormente el producto de los metros cúbicos pendientes de cobro por la tarifa correspondiente a este último rango de consumo que aplica para un usuario en particular.

Alcantarillado

El servicio de alcantarillado sanitario, o toma de drenaje, se cobra a los industriales y comerciantes a razón de 35 % del importe del consumo de agua potable en cada mes, y a usuarios de uso doméstico 30 % sobre el consumo de agua potable, cada mes.

El servicio de saneamiento se cobra a usuarios domésticos a razón de \$0.52 centavos por metro cúbico de agua potable consumido durante el periodo mensual correspondiente, más el Impuesto al Valor Agregado (IVA).

Para usuarios de tarifa comercial se cobrará a razón de \$1.73 pesos por metro cúbico de agua potable consumido durante el período mensual correspondiente, más el Impuesto al Valor Agregado (IVA).



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Para usuarios de tarifa industrial se cobrará a razón de \$3.47 pesos por metro cúbico de agua potable consumido durante el período mensual correspondiente, más el Impuesto al Valor Agregado (IVA).

Tabla 17. Ingresos anuales del OOMAPAS Nogales (\$MXN), año 2019

CONCEPTO	IMPORTE
POR SERVICIO DE AGUA POTABLE	113,030,683.78
POR SERVICIO DE ALCANTARILLADO	50,661,305.50
POR SERVICIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	7,562,827.17
POR REZAGO EN SERVICIO DE AGUA POTABLE	87,623,437.98
POR REZAGO EN SERVICIO DE ALCANTARILLADO	30,845,136.29
POR REZAGO EN SERVICIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	6,880,402.85
SUBTOTAL	296,603,793.57
POR DERECHOS DE CONEXIÓN (AGUA POTABLE)	1,189,602.26
POR DERECHOS DE CONEXIÓN (ALCANTARILLADO)	1,049,389.06
POR DERECHOS DE DESARROLLO (HABITACIONAL O INDUSTRIAL)	10,560,978.83
POR VENTA DE DERECHOS A TERCEROS	0.00
POR VENTA DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS	0.00
OTROS (RECONEXIONES, MEDIDORES, OBRAS DE CABEZA, CERTIFICADO DE NO ADEUDO, VENTA DE AGUA, CAMBIO DE PROPIETARIO, EXCAVACIONES, ALTA DE SERVICIO, MURETES, ETCÉTERA)	18,989,296.97
PRÉSTAMOS CON INSTITUCIONES FINANCIERAS O PARTICULARES	0.00
OTROS (RECARGOS Y MULTAS)	0.00
DEVOLUCIÓN DE IMPUESTO SOBRE LA RENTA (ISR)	5,170,351.00
OTROS	596,169.25
OTROS A FONDO PERDIDO	125,409.54
SUSIDIOS FEDERALES (PRODDER-OPERACIÓN)	2,924,612.00
SUSIDIOS ESTATALES (FONDO DE OPERACIÓN)	1,000,000.00
SUSIDIOS FEDERALES (PROGRAMA PARA OPERACIÓN)	
SUBTOTAL	41,605,808.91
TOTAL	338,209,602.48

Fuente: OOMAPAS Nogales

Tabla 18. Egresos anuales OOMAPAS Nogales (\$MXN), al año 2019

PARTIDA	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	ADMINISTRACION	SISTEMA COMERCIAL	TOTAL
SUELDOS Y PRESTACIONES	81,975,616.76	26,208,168.58	50,310,311.23	158,494,096.57
MATERIALES Y SUMINISTROS	29,555,041.01	1,870,442.60	9,852,064.79	41,277,548.40
ENERGÍA ELÉCTRICA	86,207,518.16	473,323.00	168,355.00	86,849,196.16
PAGO DE DERECHOS POR USO O EXPLOTACIÓN DE AGUA Y DESGARGAS DE AGUA RESIDUAL	3,238,325.40	10,635.00	1,040.00	3,250,000.40
GASTOS POR SERVICIOS EXTERNOS (OUTSOURCING: LIMPIEZA, AUDITORIAS, JURÍDICOS, ETCÉTERA)	33,414,138.03	12,064,220.14	8,361,093.98	53,839,452.15
AMORTIZACIÓN DE CRÉDITOS	0.00	14,321,618.73	0.00	14,321,618.73
INVERSIÓN RECURSOS PROPIOS	0.00	0.00	0.00	0.00
AYUDAS SOCIALES	0.00	104,256.12	133,434.98	237,691.10
OTROS (SISTEMA COMERCIAL)				0.00
ACTIVOS	1,151,262.27	375,856.78	557,942.27	2,085,061.32
TOTAL	235,541,901.63	55,428,520.95	69,384,242.25	360,354,664.83
Ingresos menos egresos organismo (7-8):				-318,748,855.92
Ingresos menos egresos organismo sin subsidio:				-322,798,877.46

Fuente: OOMAPAS Nogales



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

1.2 Diagnóstico de la infraestructura de los sistemas de saneamiento

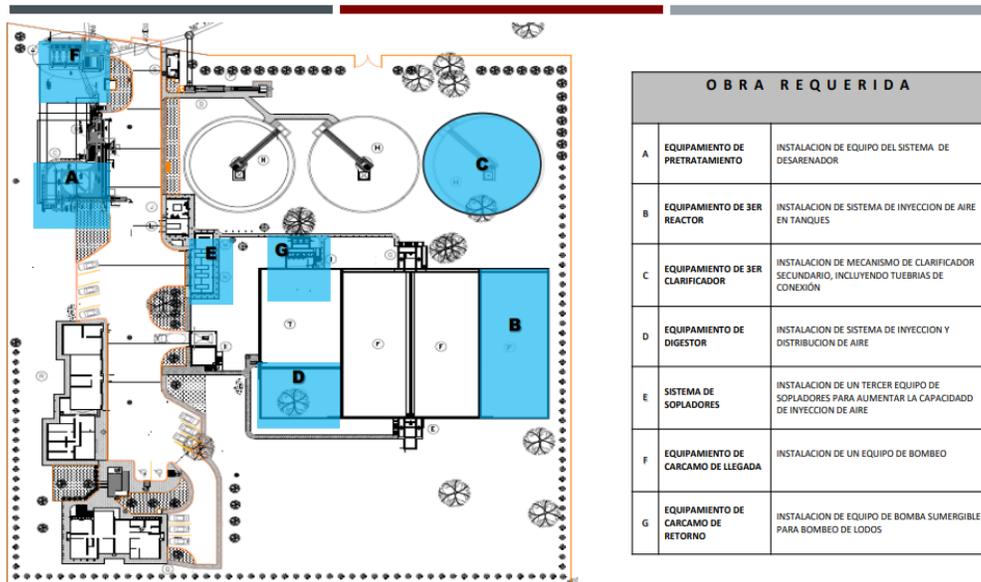
La PTAR Los Alisos se ubica al sur de la ciudad de Nogales, fuera de la cuenca del río Magdalena, y permite que el tratamiento de una parte importante de las aguas residuales de la ciudad sea hecho en territorio mexicano y que los efluentes ya no se descarguen hacia el otro lado de la frontera.

Nogales, Sonora, tiene asignada una capacidad de tratamiento de 434 l/s en la planta internacional de Río Rico, Arizona, caudal que constantemente se ve rebasado, debido a que no se dispone de infraestructura suficiente para disminuir ese gasto y que pueda ser tratado en el lado mexicano.

La PTAR Los Alisos tiene una capacidad de 220 l/s, y en el 2019 ingresaron en promedio 171.29 l/s; sin embargo, se cuenta con la obra civil para agregar un módulo de tratamiento adicional de 110 l/s, por lo que se requerirá adecuar el sistema de colectores y emisores para aprovechar la ampliación de esta planta, de forma que puedan tratarse hasta 330 l/s con el módulo adicional ya construido en su obra civil y que es prioritario equipar. Con lo anterior es posible evitar que se rebase el caudal de tratamiento de 434 l/s asignado a nuestro país en la PITAR de Río Rico, Arizona.

El OMAPAS Nogales propone, incluso, construir y equipar hasta un cuarto módulo de 110 l/s en el mediano plazo. En la siguiente ilustración se muestra la infraestructura de ampliación a un tercer módulo de 110 l/s de la PTAR Los Alisos.

Ilustración 7. Ampliación de la PTAR Los Alisos con un tercer módulo de 110 l/s (capacidad total 330 l/s)



Fuente: OOMAPAS Nogales. Documento de propuesta de equipamiento tercer módulo Los Alisos.

En Nogales se conjuga una problemática compleja que se acumula y complica las soluciones, como se describe a continuación:

- Colapsos de tuberías deterioradas en los sectores más antiguos de la ciudad que han cumplido con su vida útil.
- El crecimiento poblacional se ve reflejado en la capacidad de conducción de algunos subcolectores, trabajan a su máxima capacidad y en ocasiones presentan derrames



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

superficiales, sobre todo en temporada de lluvias, cuando aumentan las infiltraciones a la red.

- La falta de cobertura de alcantarillado en los asentamientos en zonas irregulares, como el sector sur poniente de la ciudad, propicia el uso de fosas sépticas y letrinas que provocan filtraciones y escurrimientos a la superficie ocasionando contaminación del medio ambiente y problemas de salud en la población.
- Existen conexiones de drenajes pluviales internos de las viviendas a la red de alcantarillado municipal que provocan fuertes daños de obstrucción y colapsos en los sistemas de la red de alcantarillado sanitario.
- Poca conciencia de la población para el uso adecuado de las instalaciones de alcantarillado, pues se arrojan residuos y materiales inapropiados que provocan taponamientos y derrames.

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

Existe una zona en el área del centro de la ciudad de Nogales 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 o una estación de bombeo falla, las aguas residuales sin tratamiento generalmente se descargan en el arroyo Los Nogales y el agua cruza la frontera.

Red atarjeas dañadas y con vida útil cumplida

Existe una zona del centro de la ciudad en la que se instalaron tuberías antes de 1970, y otras en años un poco posteriores, de tal forma que se estima que aproximadamente un 5 % de las líneas tiene un grado de deterioro tal que se considera crítico, y aproximadamente 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 rehabilitar o reponer casi 200 km de tuberías deterioradas, es decir del total de los 398 km de tuberías se tendrán que programar 20 km en el corto plazo y 180 km en el mediano plazo.

Colectores dañados y con vida útil cumplida

La longitud de subcolectores y colectores de Nogales es de 69.6 km; en general la red los colectores de la ciudad presenta un buen estado; incluso una longitud importante de alrededor de 30 km de colectores fue rehabilitada hace aproximadamente 10 años.

Destaca la necesidad de reponer un tramo de 3.15 km del colector Ruíz Cortines, uno de los principales de la ciudad. Este colector, de 76 cm de diámetro (30"), fue rehabilitado y funciona adecuadamente desde que principia, en la avenida Álvaro Obregón, hasta la calle Tepic, así como el tramo entre la calle Héroe y la línea fronteriza sólo en su tramo intermedio, entre las calles Tepic y Héroe; el colector continúa siendo de concreto de 76.2 cm, y se encuentra en muy malas condiciones, por lo que requiere ser sustituido en el tramo descrito.

Los colectores, incluidos en el citado programa de rehabilitación, son los que señalan en la tabla 19:



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 19. Red de los principales colectores y subcolectores de la ciudad de Nogales, Son

NOMBRE DEL COLECTOR	LONGITUD (metros)	DIAMETROS (pulgadas)
Álvaro Obregón	3,747.0	18,24,28
Astolfo R. Cárdenas	890.0	12
Buenos Aires	668.0	16
Ensueño	2,011.0	12,16
Ruiz Cortines-Los Nogales	9,139.0	24,28
Tecnológico	2,200.0	14, 16, 18, 20
5 de Febrero	1,080.0	12, 16
Virreyes	1,120	18
Reforma	1,830.0	12
Hermosillo	1,242.0	12, 16
De los Maestros	720.0	12
Kennedy	400.0	12
Olimpia	823.0	12
Penitenciaría	1,072.0	12
Niños Héroes	510.0	12
Celaya	511.0	12
Orizaba	723.0	12
Jesús García	860.0	12, 16
Las Águilas 1,242	370.0	12

Fuente: elaboración propia con información proporcionada por el OOMAPAS, Nogales

Emisores

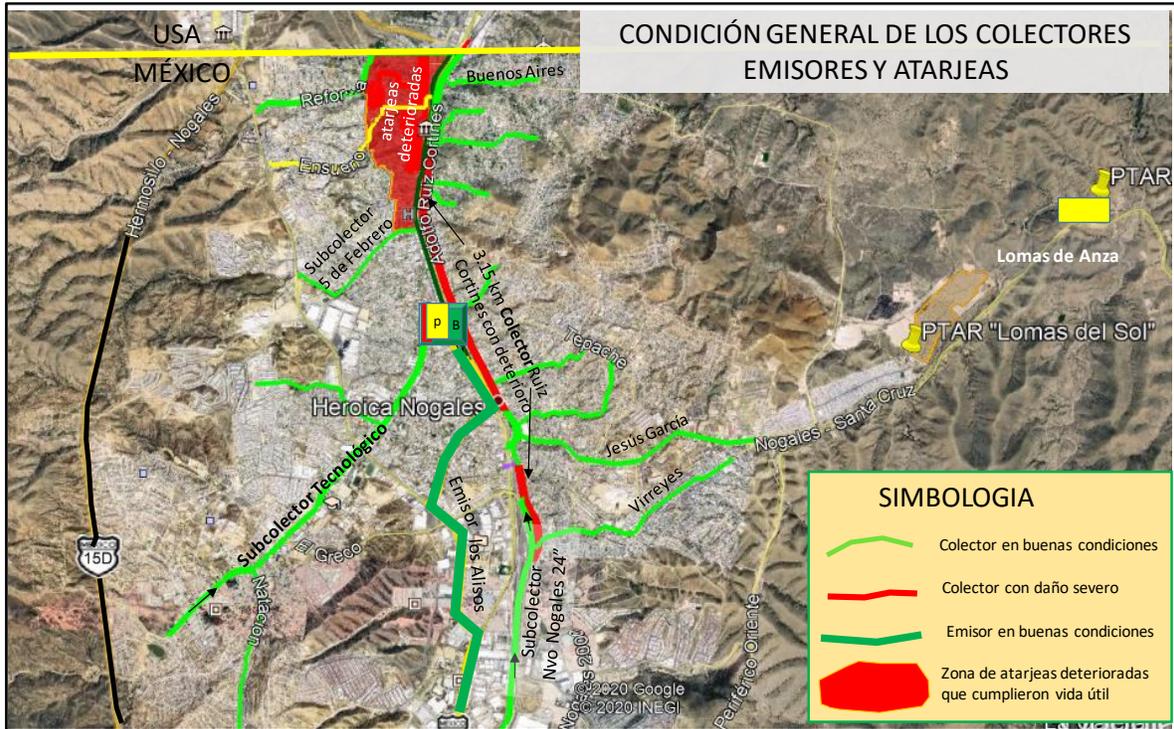
La ciudad de Nogales cuenta con una planta de bombeo de la que se envía el agua residual para tratamiento a la PTAR Los Alisos, al sur de la ciudad. De esta planta, denominada estación de bombeo Estadio, parte el emisor Alisos, de 61 cm de diámetro, que conduce el agua a presión en un tramo de 7.2 km, hasta una caja rompedora de presión, y de ahí por gravedad sale un conducto de 76 cm y 15.4 km de longitud hasta la PTAR Los Alisos.

En el tramo a gravedad se tiene el problema de que el emisor quedó bajo el cuerpo de la ampliación de la Carretera Federal 15 Nogales-Hermosillo, y requiere ser relocalizado en una longitud aproximada de 3 kilómetros. Actualmente fueron sobreelevados los pozos de visita en parte del tramo donde fue posible hacerlo.



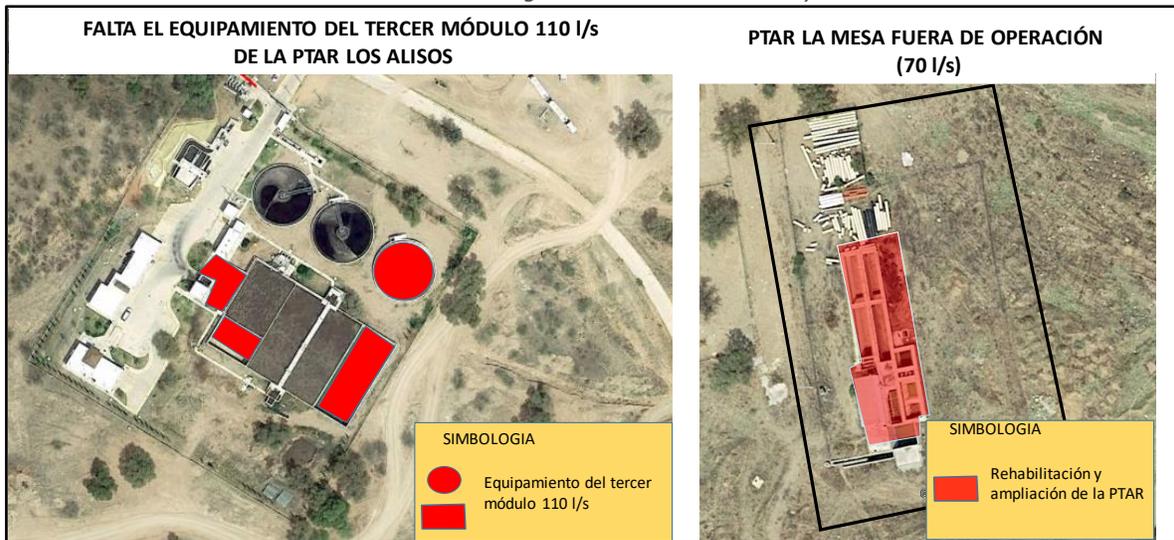
COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 8. Condiciones generales de la red de atarjeas, colectores y emisores (semáforo)



Fuente: elaboración propia

Ilustración 9. Plantas de tratamiento de aguas residuales Los Alisos y La Mesa

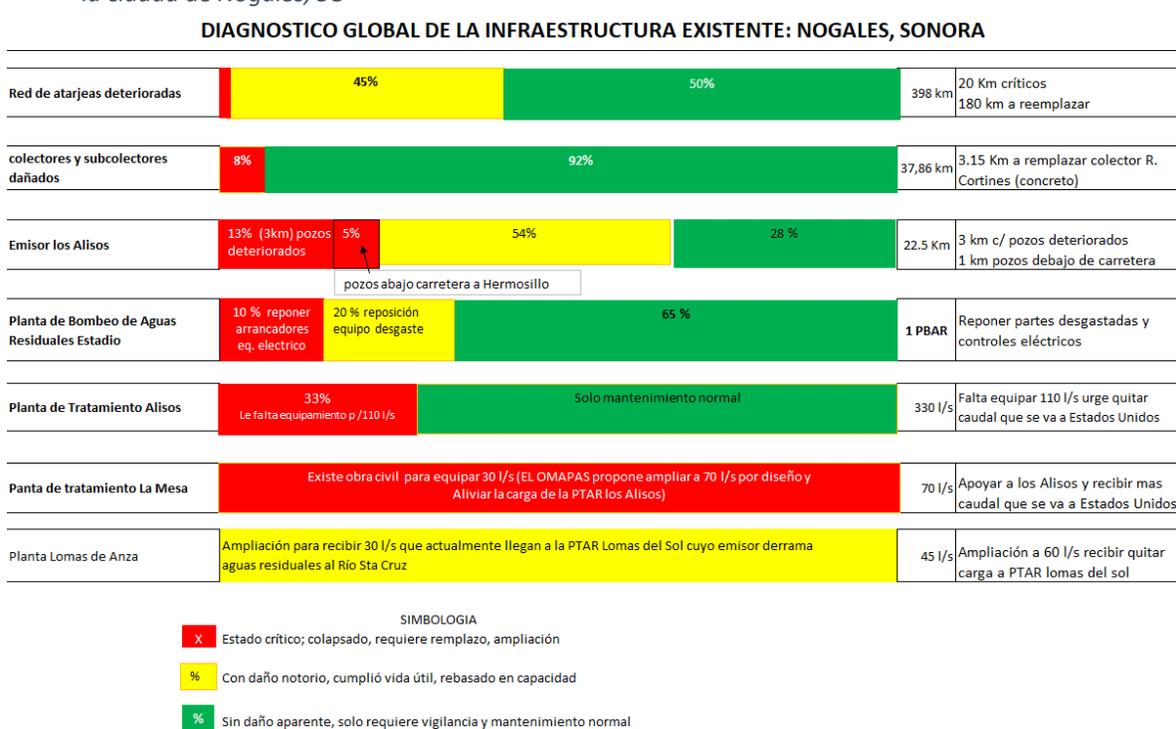


Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 10. Semáforo de estado de la infraestructura de alcantarillado sanitario y saneamiento para la ciudad de Nogales, SO



Fuente: elaboración propia

1.2.2 Pertinencia de los manuales y políticas de operación

El manual de operación y mantenimiento de las PTAR cubre la información mínima general para operar y mantener en buen estado los sistemas, equipos y aparatos que forman parte de los procesos de la planta de tratamiento de aguas residuales Los Alisos, en Nogales, Sonora, procurando alcanzar un rendimiento óptimo y continuo, que se mantendrá siempre y cuando se sigan las precauciones y procedimientos establecidos en el instrumento, y que deberán ser complementados por todos y cada uno de los manuales de los equipos que forman parte de las componentes del sistema, de tal manera que puedan realizarse actividades de instalación, operación y mantenimiento.

El manual de operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento y estaciones de bombeo es un instrumento de gran valor e importancia para cumplir los objetivos de tratamiento de manera eficaz. El propósito es dar al operador la información básica necesaria para que el sistema diseñado se mantenga en condiciones apropiadas y se produzca un efluente de calidad.

Para el caso de Nogales, en la PTAR Los Alisos el plan de operaciones de la planta de tratamiento es, en principio, una guía para coordinar las acciones que tomarán los servicios de administración del sistema, tanto en condiciones normales de funcionamiento, como tan pronto sea pronosticada u ocurra una situación fuera de lo normal, exceso de caudal o desastre.

Son de destacar como políticas internas descritas en el manual.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

- 1) Mantener comunicación: Tratándose de un proceso biológico es común que se presenten variaciones, por lo que es de suma importancia que se notifiquen aquellos ajustes que se hayan o deban tomar para continuación del proceso.
- 2) Dar seguimiento y continuidad: Es importante estar al tanto de las modificaciones y resultados de los ajustes realizados, toda vez que pueden repercutir en daños significativos para el proceso.
- 3) Constante evaluación: El proceso de operación se rige bajo normas mexicanas, las cuales deben ser cumplidas a cabalidad.
- 4) Vigilancia permanente: El funcionamiento cambiante obliga a contar con personal las 24 horas.
- 5) Resguardos y responsivas: El nivel de responsabilidad en el desempeño es altamente requerido, por lo que los daños a los equipos, producto de la negligencia e indiferencia del personal, podrán ser atribuidos otorgando un valor económico que se adjudica a quien pudiera haberlo ocasionado.
- 6) Capacitaciones: Es compromiso del más alto nivel jerárquico promover y motivar al personal en las actualizaciones que se dispongan, en cuanto a equipamiento y nuevas tecnologías que se relacionen con el tratamiento.
- 7) Ambiente laboral: Debe procurarse un ambiente sano de relación de trabajo, atendiendo y satisfaciendo las necesidades comunes y eventuales que se presenten entre el personal.

Las actividades que se desarrollan comúnmente se agrupan en los siguientes procesos:

- A. Procesos de control.
- B. Procesos de mantenimiento.
- C. Procesos de capacitación de recursos humanos e infraestructura.
- D. Procesos de operación.

a) **Procesos de control.** Estas actividades son orientadas a medir el caudal, concentración y características del afluente y efluente; la calidad y cantidad de lodo activo y seco y la disposición adecuada de lodos. Los controles se realizan mediante monitoreos diarios, semanales, quincenales, mensuales o semestrales

Procesos para la evaluación del funcionamiento de las plantas de tratamiento

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

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



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Procesamiento de información de la operación de las plantas de tratamiento

Con el fin de almacenar y procesar la información arrojada por las actividades de control, debe registrarse la información en varios niveles:

Información diaria. Contempla la instauración de manuales de campo y formatos de control de resultados diarios.

Información de resultados. La información dirigida por los manuales de campo; los resultados de los formatos se presentan cada quince (15) días.

Informes técnicos mensuales. Se prepara un informe mensual de las actividades que se hayan realizado durante un mes, en el que se detallan las medidas, acciones y resultados de las labores de operación y mantenimiento de la planta.

Informe anual de operación: El informe anual contiene todos los trabajos realizados, con un análisis estadístico de los resultados obtenidos en el programa de monitoreo, estableciendo las variaciones de cada parámetro.

Procesos de operación

Los procesos de operación se extienden en una planta de tratamiento de aguas residuales a las acciones que garantizan el funcionamiento adecuado del sistema y del proceso biológico de una planta.

La meta de la operación de la planta de tratamiento es producir una calidad en el efluente, que cumpla con todos los parámetros exigidos por la normatividad vigente, como puede ser DBO, SST, coliformes fecales, etcétera.

Para alcanzar las metas, el operador debe mantener el equipo mecánico en buenas condiciones de funcionamiento, lo cual puede lograrse con un mantenimiento apropiado. En el caso del proceso de lodos activados, este no sucede por sí sólo; los operadores entrenados y calificados deben controlar cuidadosamente el proceso, para alcanzar las metas del tratamiento, ya que una planta de tratamiento de lodos activados es un proceso biológico, donde el operador es el responsable de mantener infinidad de microorganismos saludables y trabajando; un control apropiado requiere que el operador entienda a los microorganismos y sus necesidades.

El proceso de operación considera la evaluación de los siguientes componentes:

- a) Componente sanitario.
- b) Componente hidráulico.
- c) Componente mecánico.
- d) Componente eléctrico.

1.2.3 Situación sobre derechos de vía y tenencia de la tierra

La infraestructura de emisores y colectores se construyó en los derechos de vía de calles y zonas federales, y la PTAR Los Alisos en un terreno de casi 40 hectáreas, adquirido por el organismo operador de Nogales, para la construcción de la misma en el ejido Cibuta.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

La planta de bombeo Estadio también dispone de un terreno municipal de 674 metros cuadrados, donde se alojan todas las instalaciones para su operación.

Las plantas de tratamiento de Lomas del Sol, Puerta de Anza y La Mesa fueron construidas por desarrolladores de vivienda para el tratamiento de las aguas residuales de los fraccionamientos construidos, y fueron entregadas al OOMAPAS para su operación, juntamente con la porción del terreno donde están ubicadas dichas plantas, así como las áreas necesarias para su operación.

1.2.4 Condiciones de los sitios de descarga y disposición final

Actualmente entre el 75 y 80 por ciento de las aguas residuales que se captan en la red de alcantarillado sanitario de Nogales, Sonora, cruzan la línea fronteriza, a través del emisor Los Nogales, y son descargadas para su tratamiento en la PITAR de Río Rico, Arizona, donde después de ser tratadas se descargan en el río Santa Cruz.

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Los Alisos, se ubica a 25 km al sur de la línea fronteriza y comenzó operaciones en el año 2012. En esta planta se tratan un poco más de 170 l/s que se descargan en el río Bambuto, afluente del río Magdalena.

Ilustración 11. Descarga de la PTAR Los Alisos, Nogales, Sonora



Fuente: OOMAPAS (2015).

1.2.5 Costos actuales de operación y mantenimiento

Los costos actuales de tratamiento de las aguas residuales en la planta de tratamiento de Nogales Arizona, por el caudal asignado de 434 l/s (13.678 millones de m³), fueron por de 885,460 .73 dólares, en el 2019, a un tipo de cambio de 21.00 pesos por dólar; este monto equivale a 18.59 mdp, en tanto que por un volumen excedente de 4.388 millones de metros cúbicos, se pagaron 18.32 mdp; es decir, el costo total del tratamiento del agua en la PITAR de Arizona fue de 36.91 mdp por un volumen tratado de lo que equivale a un costo de 2.05 pesos por metro cúbico tratado.

Para operar las plantas Los Alisos, Puerta de Anza y Lomas del Sol, considerando el bombeo de agua de la estación Estadio, los costos de operación y mantenimiento, por concepto de saneamiento, representan un importe de 11.28 mdp por el tratamiento de 6.9 millones de metros cúbicos que, en promedio, equivalen a un costo de 1.63 pesos por metro cúbico.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

1.2.6 Capacidades financieras de los organismos

Información administrativa, financiera y comercial.

El problema principal es que se tiene un alto número de usuarios incumplidos y el pago por los servicios no es suficiente para cubrir los gastos del organismo, lo cual genera un incremento en la cartera vencida. Además de que existen muchas tomas clandestinas, la cobertura de micromedición es muy baja, lo que lleva al organismo a facturar y cobrar vía cuota fija, ocasionando deficiencias en la facturación y un gran desperdicio de agua.

El OOMAPAS Nogales manifiesta que se requiere implementar un sistema de recuperación de cartera vencida y un programa para la detección de tomas clandestinas, así como la revisión y actualización del padrón de usuarios para hacer una correcta facturación del servicio.

El organismo opera con un importante déficit presupuestal, ya que los ingresos del año 2019 fueron por 338.21 mdp, y los egresos sumaron 360.35 mdp; es decir, el déficit directo fue por 22.14 mdp.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

2 El déficit de saneamiento en Nogales, SO

La expansión urbana en las ciudades fronterizas de Nogales, Sonora y Nogales, Arizona, y el incremento en la generación de aguas negras, ha representado una preocupación permanente para ambos países, debido al impacto negativo que la falta de tratamiento adecuado implica en el orden binacional, y ante el riesgo de que las aguas residuales no tratadas fluyan hacia los cauces naturales que cruzan la frontera en esta zona.

Ante este factor físico natural, y el crecimiento de las ciudades fronterizas en comento, las descargas de aguas residuales frecuentemente se acercan al límite de la capacidad instalada de la PITAR de Nogales, Arizona, por lo que esta ha debido ampliarse en más de una ocasión, para dar tratamiento a las aguas residuales de ambas ciudades.

La construcción de la PTAR Los Alisos, que permite tratar parte de las aguas residuales en territorio mexicano, alivió el problema por algunos años; sin embargo, ahora debe ampliarse para tratar caudales adicionales que ya se generan en la ciudad de Nogales, SO.

Actualmente, la planta cuenta con la obra civil para ser ampliada con un tercer módulo de 110 l/s, adicional a los dos existentes, también de 110 l/s, cada uno. Sin embargo, el OOMAPAS ya propone la ampliación en un cuarto módulo en el corto plazo, para absorber la demanda. Aliviar la presión sobre la PITAR de Río Rico implica construir diversas infraestructuras en el corto y mediano plazos, como la rehabilitación del emisor Los Alisos e infraestructura para captar y conducir más volúmenes hacia la planta Los Alisos, más la ampliación de otras tres plantas.

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

Capacidad de diseño del sistema de saneamiento y demanda actual

La capacidad de la red primaria en la ciudad se encuentra trabajando por abajo del límite, por lo que no se requerirá nueva infraestructura de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, salvo en las zonas de crecimiento.

Con relación a las plantas de tratamiento, la capacidad de la PTAR Los Alisos aparentemente es suficiente, ya que tiene disponibilidad para 220 l/s y le llegan 179.2 l/s; sin embargo, se necesita su ampliación, pues se pretende aliviar la presión de caudales sobre la planta internacional de tratamiento de aguas residuales (PITAR), ya que para Nogales, SO se tiene asignado un caudal de 434 l/s y frecuentemente este se ve rebasado. Se requiere enviar alrededor de 150 l/s, adicionales a los 179.2, con lo que la capacidad ampliada al tercer módulo, de 110 l/s adicionales, resultaría insuficiente porque con los caudales que se generan se alcanzaría muy pronto la capacidad ampliada de 330 l/s de esta planta.

Además, es importante señalar que aún existen zonas que carecen de alcantarillado en el noroeste y en el suroeste de la ciudad de Nogales, donde este año 2020 se está construyendo la infraestructura, y serán 40 l/s de caudales adicionales para enviarse a la PTAR Los Alisos.

Para compensar y disminuir un poco los gastos que llegan a la planta Los Alisos, se propone poner a funcionar la PTAR de la colonia La Mesa, que tiene actualmente capacidad para 30 l/s y puede ampliarse a 70 l/s, mediante la rehabilitación requerida.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

En la zona nororiente de la ciudad, en las colonias Lomas del Sol y Puerta de Anza, que cuentan con plantas de tratamiento, también será necesario ampliar la capacidad de la segunda planta de 45 a 60 l/s.

Demanda futura

La demanda futura de saneamiento dependerá principalmente del crecimiento poblacional que, de acuerdo con el análisis con base en datos estadísticos censales y conteos intercensales, la población esperada en forma quinquenal para la localidad de Nogales, utilizando el modelo geométrico de proyección de población, se muestra en la tabla 11 y en la ilustración 9, para las diferentes tasas de crecimiento por periodo.

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, se obtuvo como resultado, al año 2050, una población de 542,281 habitantes en la ciudad de Nogales, mientras que en un escenario de crecimiento de tasa máxima, que corresponde al periodo 1990-2015 (tasa de crecimiento $i = 0.03172$) la población esperada sería de 689,577 habitantes.

Tabla 20. Tasas de crecimiento para diferentes periodos

Periodo $i_0(90-15)$	Tasa de crecimiento 0.03172343
$i_1(95-15)$	0.02857086
$i_2(00-15)$	0.02618296
$i_3(05-15)$	0.01992097
$i_4(10-15)$	0.01692341
$i_5(\text{promedio})$	0.02466433

Fuente: CONAPO

Tabla 21. Proyecciones de población para la ciudad de Nogales, SO, modelo geométrico

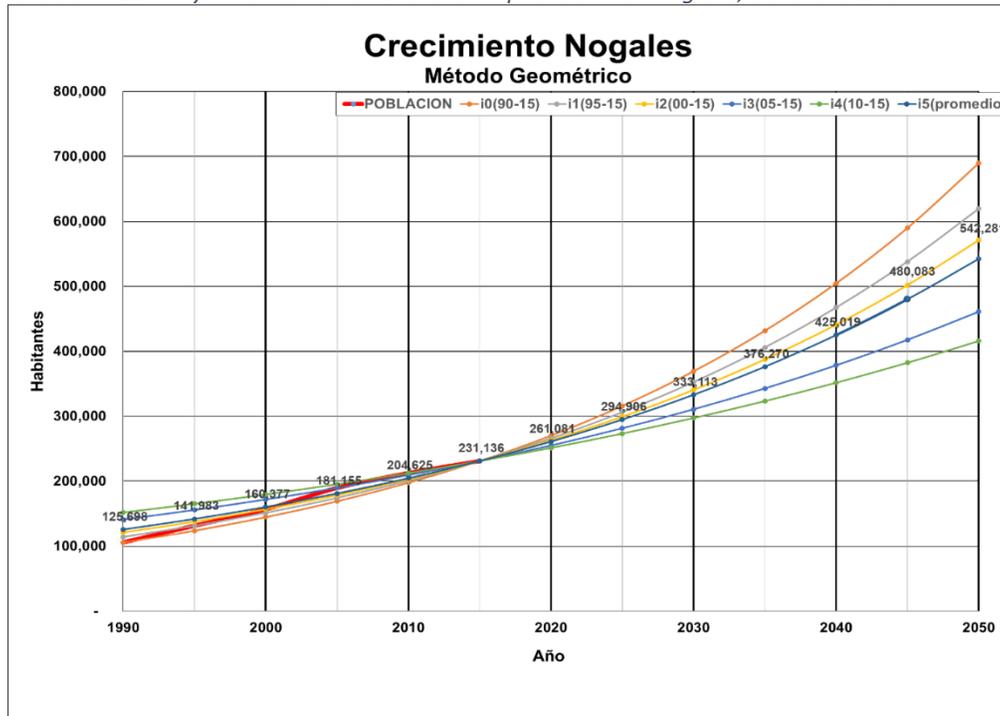
AÑO	POBLACIÓN	POBLACIÓN ESTIMADA (habitantes)					
		$i_0(90-15)$	$i_1(95-15)$	$i_2(00-15)$	$i_3(05-15)$	$i_4(10-15)$	$i_5(\text{promedio})$
1990	105,873	105,873	114,291	121,129	141,158	151,936	125,698
1995	131,578	123,766	131,578	137,839	155,789	165,235	141,983
2000	156,854	144,683	151,480	156,854	171,937	179,698	160,377
2005	189,759	169,135	174,392	178,492	189,759	195,427	181,155
2010	212,533	197,720	200,769	203,116	209,428	212,533	204,625
2015	231,136	231,136	231,136	231,136	231,136	231,136	231,136
2020		270,199	266,096	263,022	255,094	251,367	261,081
2025		315,864	306,344	299,306	281,535	273,369	294,906
2030		369,247	352,680	340,596	310,717	297,297	333,113
2035		431,652	406,024	387,582	342,924	323,320	376,270
2040		504,603	467,437	441,050	378,469	351,620	425,019
2045		589,884	538,138	501,894	417,699	382,397	480,083
2050		689,577	619,534	571,131	460,995	415,869	542,281

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



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 12. Proyección del crecimiento de la población de Nogales, SO al año 2050



Fuente: elaboración propia

En cuanto a la demanda futura bajo la perspectiva de dos escenarios: uno con tasa de crecimiento de la población promedio, y otro con un crecimiento poblacional para una tasa igual a la más alta presentada en el periodo de análisis, se obtiene como resultado que, para la demanda asociada a un crecimiento con tasa alta, aún con las ampliaciones en capacidad que se impulsan para el corto plazo, no se tiene capacidad superavitaria en ningún momento de la incorporación de las obras. Para un escenario de tasa promedio se parte de un pequeño déficit actual, y se tendría margen de maniobra al año 2030 para disponer de más capacidad, haciéndose notar que las ampliaciones de corto plazo incluyen un cuarto módulo para la PTAR Los Alisos, aunque faltaría corroborar su factibilidad.

Tabla 22. Proyecciones de población para la ciudad de Nogales, SO, modelo geométrico

Año	Demanda de tratamiento		Oferta	Oferta-Demanda	
	m3/s	m3/s		m3/s	m3/s
	i= (90-15)	i=promedio	m3/s	i= (90-15)	i=promedio
2020	0.821	0.793	0.729	-0.092	-0.064
2025	0.960	0.896	0.924	-0.036	0.028
2030	1.122	1.012	1.034	-0.088	0.022
2035	1.311	1.143	1.034	-0.277	-0.109
2040	1.533	1.291	1.034	-0.499	-0.257
2045	1.792	1.459	1.034	-0.758	-0.425
2050	2.095	1.648	1.034	-1.061	-0.614

Fuente: Elaboración propia.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

2.1.1 Demanda actual de saneamiento de aguas residuales

La demanda de saneamiento de la población conectada a la red de alcantarillado no está totalmente cubierta, si se considera que la capacidad de las plantas en operación es de 729 l/s, y los caudales operados a diciembre del 2019 fueron por 713.95 l/s, pero el caudal asignado a nuestro país fue rebasado en promedio en 139 l/s, excedente que hoy no es posible captar para enviarlo a la PTAR Los Alisos, sin hacer algunas adecuaciones en el sistema de colectores y en la planta de tratamiento misma. Además, dicha planta sólo tiene disponibilidad para alrededor de 40 l/s de su capacidad actual.

Aunado a lo anterior, este año se concluyen obras de alcantarillado en varias colonias de la zona suroeste de la ciudad, y se incorporarán alrededor de 40 l/s adicionales, que serán descargados en el colector Tecnológico que vierte en la estación de bombeo Estadio, desde donde se envía el agua residual a la PTAR Los Alisos, planta que tendría que tratar los 171 l/s que actualmente recibe, más los 139 l/s excedidos hacia Estados Unidos, y 40 l/s de las colonias del suroeste, que suman 350 l/s en total, mientras que su capacidad actual es de 220 l/s, por lo que se vería rebasada en 130 l/s, sin mencionar que aún existen zonas de la ciudad que todavía no se conectan a la red de alcantarillado y en pocos años demandarán mayor capacidad de tratamiento.

Por lo anterior es urgente equipar la ampliación del tercer módulo de 110 l/s de la PTAR Los Alisos, con lo que su capacidad se incrementará a 330 l/s. Complementariamente, en el corto plazo se requiere rehabilitar la planta de tratamiento La Mesa, para una capacidad de 70 l/s, y ampliar la capacidad de la planta de la colonia Puerta de Anza, de 45 a 60 l/s, para con ello disponer de cierta capacidad, en lo que en el mediano plazo se construye un cuarto módulo de la PTAR Los Alisos, o se construyen nuevas plantas.

Tabla 23. Situación de las plantas de tratamiento de aguas residuales en Nogales

NOMBRE DE LA PLANTA	Capacidad disponible (l/s)	CAUDAL MEDIO DE TRATAMIENTO EN (litros/segundo)			
		Operando 2019-Nogales	Caudal ampliación (corto plazo)	Total a mediano plazo	Cap. adicional mediano plazo
PITAR Río Rico Arizona (Acta 276)	434.00	573.00		434.00	-139.00
PTAR Los Alisos	220.00	171.29	110.00	330.00	158.71
PTAR Lomas del Sol	30.00	30.00		30.00	0.00
PTAR Puerta de Anza	45.00	9.66	15.00	60.00	50.34
PTAR la Mesa	0.0	0.00	70.00	70.00	70.00
TOTAL	729.00	783.95	195.00	924.00	210.05

Fuente: Organismo Operador Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Nogales, año 2019

2.1.2 Determinación de la demanda futura de saneamiento de aguas residuales

Capacidad de diseño del sistema de saneamiento y demanda actual

La capacidad de la red primaria de la ciudad de Nogales, en algunos casos trabaja al límite de su capacidad, por lo que para absorber las áreas de expansión en los próximos 30 años se requerirá nueva infraestructura de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales.

Con relación a las plantas de tratamiento, la capacidad de la PTAR Los Alisos no es suficiente, ya que en las condiciones actuales, la demanda de capacidad de saneamiento para esta planta se encuentra rebasada en 68 l/s.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

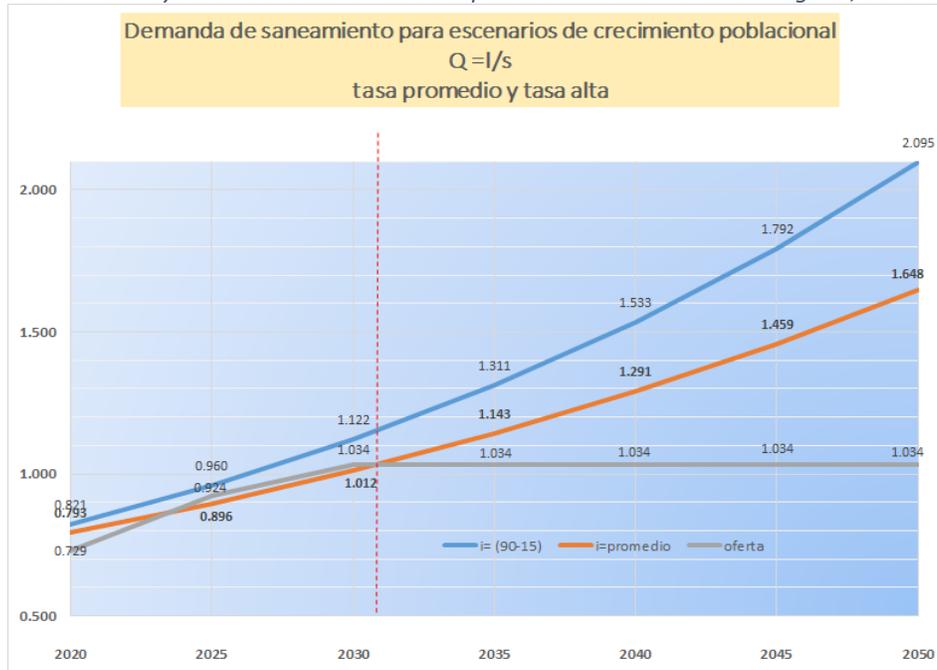
Demanda futura

La demanda futura se determinó bajo la perspectiva de dos escenarios: uno con tasa de crecimiento de la población promedio (escenario 1), y otro para un aumento poblacional con una tasa igual a la más alta, presentada en el periodo de análisis de entre 1990 y 2015 (escenario 2).

La capacidad actual, considerando ambos escenarios, es insuficiente para satisfacer la demanda de saneamiento; sin embargo, con algunas adecuaciones identificadas dentro de las prioridades actuales, como el equipamiento del tercer módulo de la PTAR Los Alisos, en el escenario 1 la infraestructura sería suficiente para el corto plazo, y si se considera la rehabilitación y ampliación de las plantas existentes, podría ser suficiente por unos años más (hasta 2030).

En el escenario 2, de crecimiento poblacional con tasa alta, la infraestructura es insuficiente y los requerimientos de contar con más capacidad de saneamiento es indispensable.

Ilustración 13. Proyección de la demanda de capacidad de tratamiento en Nogales, SO al año 2050



Fuente: elaboración propia

2.1.3 Comparación demanda actual y futura de colectores principales

Los colectores y subcolectores en algunos casos se encuentran trabajando en el límite de su capacidad, por lo que se tendría que vigilar que las nuevas captaciones de drenaje no sobrepasen esa capacidad, buscando conectarlas en aquellas que si puedan recibir caudales adicionales, tarea que no será sencilla, dada la condición topográfica de la ciudad, por lo que de no ser posible hacer este trabajo, se tendrán que construir nuevos colectores y subcolectores.

Ejemplo de la condición señalada es el colector Tecnológico, que capta las aguas de una importante zona del suroriente de la ciudad y las conduce a la estación de bombeo Estadio, pero a lo largo de los años se le han incorporado nuevas áreas.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Como se ha descrito en el presente documento, el emisor Los Alisos tiene una función fundamental para evitar que una parte de los caudales de aguas residuales de Nogales, SO, se viertan hacia la PITAR de Río Rico, Arizona, de manera que de su buen estado y funcionamiento depende de este objetivo; sin embargo, en un tramo de aproximadamente 3 km los pozos de visita se encuentran en condiciones de deterioro importante, y en otro tramo de alrededor de 750 m la tubería y los pozos quedaron bajo el terraplén de la carretera a la salida a Hermosillo. Ambas condiciones ponen en riesgo el funcionamiento del emisor, ya que de ocurrir algún colapso o taponamiento su reparación sería complicada y por un tiempo más prolongado, de tal forma que el agua que dejara de enviarse a Los Alisos tendría que ser enviada a la planta internacional.

Tabla 24. Capacidad de los conductos de la red de aportación al subcolector Tecnológico (zona 2), Nogales, SO

OBRA DE CONDUCCIÓN	CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN (l/s)						CONDICIÓN
	Longitud (km)	S	Diam (in)	Cap	Q actual	Futuro	
ESTACIÓN DE BOMBEO ESTADIO	17.16				248.7	49.32	
Subcolector Tecnológico	17.16	0.032	20	994.9	248.7	49.32	CUMPLE
Aportadores margen derecha	9.14				120.0		
Atarjeas Represo	4.07	0.0035	8	28.6	9.8		CUMPLE
Subcolector Abraham Said	2.46	0.0376	8	93.7	79.2		CUMPLE
Subcolector Residencial Greco	0.65				13.3		
Subcolector Ana Gabriela Guevara	0.30	0.0865	8	142.1	0.5		CUMPLE
Subcolector Hermosillo	1.66				17.3		
Tramo 1		0.0159	8	60.9			CUMPLE
Tramo 2		0.0108	15	223.3			CUMPLE
Aportadores a margen izquierda	7.3	0.032	18	751.0	122.5	49.32	CUMPLE
Prolongación del subcolector Tecnológico						27.34	
Subcolector Flores Magón-Lago Plata	1.7	0.0318	8	86.2	29.8		CUMPLE
Prolongación del subcolector Flores Magón-Lago Plata						4.55	
Subcolector Torre Eiffel-Terrenate	1.47	0.0178	8	64.5	24.1		CUMPLE
Subcolector Conquistadores	424	0.0249	12	224.8	7.8		CUMPLE
Subcolector Maestros	0.72	0.0449	12	301.8	14.1		CUMPLE
Subcolector Naco	0.29	0.0922	8	146.7	4.8		CUMPLE
Subcolector Luis D. Colosio	0.46	0.0305	8	84.4	3.4		CUMPLE
Subcolector Pirineos-Rodolfo Campodónico	1.52				26.5		
Tramo 1		0.0112	8	51.1			CUMPLE
Tramo 2		0.0109	12	148.0			CUMPLE
Tramo 3		0.0522	8	110.4			CUMPLE
Prolongación subcolector Pirineos-Rodolfo Campodónico						17.43	
Subcolector Cajeme	0.43	0.0274	8	79.9	5.8		CUMPLE
Subcolector Ana Gabriela Guevara	0.30	0.0873	8	142.7	6.2		CUMPLE
Aportadores margen derecha	0.74				6.2		
Subcolector V. Carranza-J. Ma. Morelos	0.74	0.0085	8	44.530	6.2		CUMPLE

Fuente: elaboración propia

Tabla 25. Capacidad de los conductos de la red de aportación al colector Ruíz Cortines (zona 3 de alcantarillado), Nogales, SO

OBRA DE CONDUCCIÓN	CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN (l/s)						CONDICIÓN
	Long (Km)	S	Diam (in)	Cap	Actual	Futuro	
COLECTOR RUIZ CORTINES	18.56	0.009	30	1,555.00	264.17	51.73	CUMPLE



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

OBRA DE CONDUCCIÓN	CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN (l/s)						CONDICIÓN
	Long (Km)	S	Diam (in)	Cap	Actual	Futuro	
Aportadores margen izquierda	1.15				18.34	0.00	
Subcolector Luis Donaldo Colosio	1.15	0.0203	12	202.94	18.34	0	CUMPLE
Aportadores margen derecha					142.53	29.67	
Subcolector 5 de Mayo	1.26	0.0341	8	89.21	16.91	0	CUMPLE
Subcolector Orizaba							
Tramo 1	1.23	0.0377	10	170.07	15.73	0	CUMPLE
Tramo 2	0.33	0.0313	12	251.99	15.73		CUMPLE
Subcolector Jesús García	1.53				35.82		
Tramo 1	0.87	0.0197	12	199.92			CUMPLE
Tramo 2	0.66	0.0315	15	380.11			CUMPLE
Atarjeas Mercurio	0.35	0.0643	8	122.50	0.46		CUMPLE
Subcolector Virreyes	1.87				29.64		
Tramo 1	0.54	0.0268	8	79.09			CUMPLE
Tramo 2	1.33	0.0215	18	724.00			CUMPLE
Subcolector Agustín Lara	0.33	0.1004	8	153.08	1.04		CUMPLE
Subcolector Navarrete	0.35	0.0933	8	147.56	7.47		CUMPLE
Subcolector San Carlos	2.16	0.0135	18	487.93	35.46		CUMPLE
Subcolector Nvo Nogales, conecta al A. Nogales	8.02	0.0145	24	1089.05	103.30	22.06	CUMPLE
Aportadores margen izquierda	5.63				66.28		
Subcolector Los Gavilanes	0.72	0.0191	12	196.85	6.07		CUMPLE
Subcolector Eclipse	0.77	0.0178	12	190.03	3.2		CUMPLE
Subcolector El Castillo	1.49	0.0228	12	215.07	15.8		CUMPLE
Subcolector Nogales 2000	0.63	0.0114	15	229.4	8.94		CUMPLE
Subcolector del Raquet	1.03	0.043	12	295.36	15.73		CUMPLE
Subcolector interior, colonia Nuevo Nogales	1.36	0.0296	18	215.00	16.54		
Aportadores margen derecha					37.02	22.06	
Subcolector Nogales 2000	0.55	0.0504	15	481.86	19.34		CUMPLE
Prolongación subcolector Búhos						15.55	
Subcolector Búhos					11.01		CUMPLE
Tramo 1	349.06	0.0233	8	73.74			CUMPLE
Tramo 2	166.18	0.0229	12	215.54			CUMPLE
Subcolector Universidad de Sonora		0.0108	10	91.03	6.67	6.51	CUMPLE

Fuente: elaboración propia

Tabla 26. Capacidades y aportaciones de los conductos con descarga al emisor internacional Los Nogales (zona 1 de alcantarillado)

OBRA DE CONDUCCIÓN	CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN (l/s)						CONDICIÓN
	Long (km)	S	Diam (in)	Cap	Actual	Futuro	
DESCARGAS AL EMISOR INTERNACIONAL					180.14	34.14	
Descargas directas al emisor internacional	1.75				14.97		
Colector Alvaro Obregón	10.96				90.52	34.14	
Aportadores margen izquierda	7.19				90.52	34.14	
Prolongación del subcolector Reforma						6.81	
Subcolector Reforma	2.31				20.24		
Tramo 1	1.06	0.0363	12	271.38			CUMPLE
Tramo 2	0.99	0.0201	15	304.00			CUMPLE
Tramo 3	0.26	0.0080	18	375.61			CUMPLE
Prolongación del subcolector Ensueño						9.4	
Subcolector Ensueño	2.17	0.0232	12	216.95	28.88	17.93	CUMPLE
Subcolector 5 de Febrero	1.54				28.21		
Tramo 1	1.08	0.0164	12	182.41			CUMPLE



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

OBRA DE CONDUCCIÓN	CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN (l/s)						CONDICIÓN
	Long (km)	S	Diam (in)	Cap	Actual	Futuro	
Tramo 2	0.52	0.0129	15	244.03			CUMPLE
Subcolector Kennedy	1.18	0.0420	8	99.01	13.19		CUMPLE
Colector Adolfo Ruíz Cortines					74.65		
Aportadores margen derecha	0.17				67.16		
Subcolector Buenos Aires					13.81		
Tramo 1	0.62	0.0381	15	419.00			CUMPLE
Tramo 2	0.51	0.0325	12	256.78			CUMPLE
Subcolector Embarcadero	0.48	0.1862	8	65.92	1.13		CUMPLE
Subcolector Héroes	0.51	0.0440	15	450.68	16.84		CUMPLE
Subcolector Artes	0.29	0.1438	8	57.93	0.95		CUMPLE
Subcol. 16 de Septiembre	0.35	0.0602	8	118.53	1.51		CUMPLE
Subcolector Celaya	1.04	0.0656	8	123.73	17.99		CUMPLE
Subcolector Gustavo Manríquez-Jesús Barbosa-Atarjeas	0.52	0.0428	8	99.95	9.48		CUMPLE
Subcolector Astolfo Cárdenas					5.45		
Tramo 1	680.03	0.0410	8	97.82			CUMPLE
Tramo 2	199.33	0.0279	15	358.87			CUMPLE
Aportadores margen izquierda					7.49		
Subcolector Olimpia					7.49		
Tramo 1	510.78	0.0495	8	107.48			CUMPLE
Tramo 2	119.48	0.0046	12	96.60			CUMPLE
Tramo 3	275.80	0.0046	18	398.40			CUMPLE

Fuente: elaboración propia

Para las nuevas zonas en desarrollo y crecimiento de la ciudad, indiscutiblemente se requieren nuevas líneas de drenaje que permitan desalojar y conducir las aguas hacia las plantas de tratamiento.

2.1.4 Comparación demanda actual y futura de estaciones de bombeo principales

Actualmente se cuenta con una sola estación de bombeo, la estación Estadio, que tiene una capacidad de gasto medio de 400 l/s y un gasto máximo de 750 l/s.

Los componentes de la estación de bombeo son: un sistema de rejillas, desarenador, la instalación mecánica para cinco equipos de bombeo y un sistema de interconexión entre los diferentes componentes, edificios para los controles eléctricos, caseta de vigilancia, área para maniobras.

La estación recibe las aguas residuales recolectadas por el colector Tecnológico que tiene una interconexión al colector Ruíz Cortines. Sin embargo, esta planta generalmente opera con un solo equipo, con capacidad de caudal medio de 127 l/s, debido a que la PTAR Los Alisos no tiene capacidad de recibir el caudal que aporta una segunda bomba, ya que solo podría recibir aproximadamente 50 l/s adicionales con el equipamiento actual, que es de 220 l/s.

Una vez que se equipe el tercer módulo de la planta de tratamiento Los Alisos, es factible enviar de la estación Estadio un caudal de 260 l/s, con lo que la planta nuevamente quedaría muy cerca del límite de su capacidad, pues el emisor a Los Alisos incorpora la aportación de un poco más de 50 l/s en el tramo que opera por gravedad.

La planta de bombeo aún podría operar con un tercer equipo; sin embargo, para que pueda hacerlo de la estación se requiere de un cuarto módulo en Los Alisos, o bien que se rehabilite y se realice la



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

ampliación de la planta de tratamiento de La Mesa, aunque esto último permitiría que sólo de manera esporádica funcionara el tercer equipo, pues la capacidad de tratamiento no es suficiente para recibir el caudal de los tres equipos de manera continua.

La estación de bombeo Estadio es suficiente para las necesidades actuales y al menos para los próximos cinco años; es decir, al año 2025, a partir del cual se requerirá conducir caudales mayores hacia la PTAR Los Alisos, para lo cual es necesario contar con más capacidad de conducción y de tratamiento en la parte sur de la ciudad, por lo que una segunda estación de bombeo, con su correspondiente emisor, tendría que estar disponible y en condiciones de operación.

2.1.5 Comparación demanda actual y futura de plantas de tratamiento

Demanda actual de plantas de tratamiento

La demanda de tratamiento en el 2019 fue de 783 l/s, que son los caudales que se registraron en diferentes sitios, y que se condujeron a las correspondientes plantas de tratamiento: 573 l/s se condujeron para tratamiento al otro lado de la frontera, en la PITAR de Nogales, Arizona; 171.9 ingresaron a la PTAR Los Alisos; 30 l/s se trataron en la planta de tratamiento Lomas del Sol, y 9 l/s en la PTAR Puerta de Anza, para un total de 783.9 l/s

Demanda futura de plantas de tratamiento

Para la dotación de agua potable, promedio por habitante de 300 l/día, la demanda de tratamiento en plantas, después de considerar un porcentaje de 75 % de agua recolectada en el sistema para dos escenarios de población: uno derivado de un crecimiento con una tasa promedio correspondiente al periodo de análisis ($i_{\text{promedio}}=0.014366$), y otro correspondiente a la tasa mayor de los datos del periodo analizado, y que se refiere al periodo 1990-2015 ($i_{\text{alta}}=0.020175$). Con los resultados de proyección de población, en ambos casos se prevé que los caudales de aguas residuales que requerirán tratamiento en el horizonte de planeación son los que se muestran en la tabla 27.

Tabla 27. Demanda de tratamiento para dos escenarios de demanda de Nogales al año 2050

AÑO	POBLACIÓN ESTIMADA (hab)		DEMANDA TRATAMIENTO Q(m ³ /s)	
	tasa (i= alta)	i= promedio	i= alta	i= promedio
2020	270,199	261,081	0.704	0.680
2025	315,864	294,906	0.823	0.768
2030	369,247	333,113	0.962	0.867
2035	431,652	376,270	1.124	0.980
2040	504,603	425,019	1.314	1.107
2045	589,884	480,083	1.536	1.250
2050	689,577	542,281	1.796	1.412

Fuente: elaboración propia

Comparación oferta de capacidad de tratamiento y demanda futura

La oferta de tratamiento actual es la correspondiente a las cinco PTAR, que incluyen como caudal principal de tratamiento el asignado a Nogales, SO en la PITAR de Río Rico, Arizona. La capacidad actual, considerando todas las plantas de tratamiento, da un total de 729 l/s (0.729 m³/s).



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 28. Plantas de tratamiento de aguas residuales en Nogales.

NOMBRE DE LA PLANTA	CAPACIDAD ACTUAL (l/s)	AMPLIACIÓN A CORTO PLAZO (l/s)
PITAR, Río Rico, Arizona (Acta 276)	434.00	0.0
PTAR Los Alisos	220.00	110.0
PTAR Lomas del Sol	30.00	0.0
PTAR Puerta de Anza	45.00	15.0
PTAR la Mesa	0.0	70.0
TOTAL	729.00	195.0

Se espera que en el corto plazo (1-2 años) sea posible contar con la ampliación de las plantas Los Alisos (2.ª etapa), La Mesa y Puerta de Anza, con lo que la capacidad de tratamiento pasaría de 729 a 924 l/s.

Tabla 29. Comparación de la oferta y demanda de capacidad actual de tratamiento en las PTAR de Nogales

AÑO	POBLACIÓN ESTIMADA		Demanda tratamiento Q(l/s)		Oferta (m³/s)		DEFICIT SUPERAVIT (m³/s)	
	Tasa alta	Tasa promedio	Alta	Promedio	Actual	Corto plazo	i= alta	i= promedio
2020	270,199	261,081	0.704	0.680	0.729		0.025	0.049
2025	315,864	294,906	0.823	0.768		0.924	0.101	0.156
2030	369,247	333,113	0.962	0.867		1.034	0.072	0.167
2035	431,652	376,270	1.124	0.980		1.034	-0.090	0.054
2040	504,603	425,019	1.314	1.107		1.034	-0.280	-0.073
2045	589,884	480,083	1.536	1.250		1.034	-0.502	-0.216
2050	689,577	542,281	1.796	1.412		1.034	-0.762	-0.378

Fuente: elaboración propia

En el escenario de la tasa de crecimiento, equivalente a la experimentada en el periodo de 1990 al año 2015, que es la tasa mayor de los periodos de análisis, (tasa alta), los resultados arrojan que las plantas existentes, aún con la ampliación, resultarían insuficientes, y se requerirá capacidad de tratamiento entre 2030 y 2035, para absorber el crecimiento previsto al 2050 y los años posteriores. Si el escenario de aumento poblacional se asemeja al de la tasa promedio, la infraestructura de saneamiento ampliada sería suficiente hasta el 2040.

2.1.6 Comparación demanda actual y futura de agua de reúso

Actualmente en Nogales el reúso de aguas residuales tratadas es realmente mínimo y no se cuantifica, sólo se menciona que se utiliza para terracerías en obras de construcción de calles, en carreteras o en edificación de algunas otras obras.

El volumen de aguas residuales tratadas, procedentes de la ciudad de Nogales, descargado en cauces en el 2019, fue de 18.08 millones de metros cúbicos, que fueron conducidos para tratamiento por el emisor internacional hacia la planta internacional de tratamiento de Nogales, Arizona, los cuales fueron vertidos en el río Santa Cruz después de su tratamiento.

En la PTAR Los Alisos el efluente de aguas residuales tratadas fue de 5.65 millones de metros cúbicos, que se descargaron en el río Bambuto, afluente del río Magdalena, con lo que el potencial de aguas residuales tratadas para reúso es de casi 24 millones de metros cúbicos.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Para el año 2050 la demanda en capacidad de tratamiento, para un escenario promedio, será de 1648 l/s, que corresponden a un volumen de 51.97 millones de metros cúbicos, el cual puede ser aprovechado en usos urbanos para con ello disminuir la presión sobre los recursos de agua potable.

Será conveniente que el OOMAPAS vaya instrumentando algún plan para el reúso de las aguas residuales tratadas, ya que esta permite la oportunidad de recuperación o amortización económica de una parte de las inversiones que se realizan en tratamiento, lo que representa un beneficio importante, adicional a los beneficios ambientales.

2.2 Determinación de las necesidades de infraestructura, operación y mantenimiento

La necesidad de reponer o rehabilitar las tuberías e infraestructura de drenaje en la ciudad de Nogales se relaciona con el desarrollo de algunos eventos ligados al deterioro de las tuberías (roturas, fugas). Este deterioro puede manifestarse principalmente en roturas en la tubería, fugas y colapsos, derivados de un daño físico, vinculado generalmente al envejecimiento y tipo de materiales de las tuberías; 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 y corrosión, o por las fugas. Otro tipo de deterioro se manifiesta por el incremento de caudales y es provocado por las infiltraciones de sustancias o algún material en las tuberías.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales, así como la infraestructura para conducir el agua hasta ellas operan al límite de sus capacidades, o no se cuenta con las obras para la distribución óptima de los caudales a tratar y aprovechar la capacidad total de tratamiento en el lado mexicano, sobrepasando el caudal asignado a Nogales en la planta internacional, lo cual genera costos adicionales para su tratamiento.

En Nogales algunos de estos daños se manifiestan y se reflejan en derrames de aguas residuales, que se traducen en escurrimientos superficiales de aguas crudas que cruzan la frontera y se convierten en un problema. Por otra parte, también se requiere infraestructura de alcantarillado en colonias dentro de la mancha urbana, que aún no se han conectado a una red de alcantarillado y la correspondiente planta de tratamiento, como es el caso de Colinas del Sol.

Otra problemática que presenta la red de alcantarillado y saneamiento se refiere a la entrada de aguas pluviales, azolve y basura a los conductos, lo cual se traduce en diversos problemas como derrames y taponamientos que producen escurrimientos superficiales de aguas negras, y que incluso escurren al otro lado de la línea fronteriza.

Asimismo, en los equipos de la estación de bombeo Estadio, el deterioro de la infraestructura, como los pozos de visita que con el tiempo se van haciendo porosos por falta de mantenimiento y porque permiten la entrada de agua de lluvia y azolve que causan daños y desgaste, provocando en ocasiones el paro de bombas, lo que evita que se envíen las aguas residuales a tratamiento a la planta Los Alisos, y eso deriva en que estas aguas escurran hacia el emisor principal Nogales que las conduce hacia la PITAR.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

En las condiciones actuales del sistema de alcantarillado y saneamiento se identifican algunas necesidades para mantener operando el sistema, las cuales se describen en los siguientes apartados.

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 a problemas en el mantenimiento y operación de las mismas. Asociado a lo anterior, se presentan sobrecostos e inconvenientes, no sólo en la tubería, sino también sociales y ambientales, tales como daños a la estructura del pavimento, afectación a viviendas y también en la prestación de los servicios, además de reclamos por parte de la vecina ciudad de Nogales, Arizona, cuando los flujos de aguas residuales pasan al otro lado de la frontera.

Se estima que el alcantarillado sanitario de la zona centro de la ciudad, un 5 % del total de los casi 400 km de la red, requiere ser reemplazado en el corto plazo (20 km), y otro 5 % tendrá que reponerse en los próximos cinco a 10 años.

Tabla 30. Longitud estimada de atarjeas deterioradas a reponerse en los próximos 10 años

Concepto	Diámetros (pulgadas)			Total
	8	10	12	
Atarjeas deterioradas (km)	16	14	10	40

Fuente: elaboración propia

Para el corto plazo se propone incorporar el proyecto de sustituir aproximadamente 5.8 km de atarjeas deterioradas que ya cumplieron su vida útil en la zona centro de la ciudad de Nogales.

Tabla 31. Reposición de atarjeas de la red de alcantarillado zona centro de la ciudad

Concepto	Inversión (mdp)	Inicio	Término
Rehabilitación (reposición) de la red de alcantarillado (5.8 km; 8 pulgadas de diámetro), sector centro de la ciudad, Nogales, SO.	23.00	2021	2021
Reposición de 14.2 km de atarjeas de la red de alcantarillado (8, 10 y 12 pulgadas de diámetro), de tubería que cumplió su vida útil, sector centro de la ciudad, Nogales, SO.	70.00	2025	2030
Reposición de 20 km de atarjeas de la red de alcantarillado (8, 10 y 12 pulgadas de diámetro), de tubería que cumplió su vida útil, sector centro de la ciudad, Nogales, SO.	100.00	2031	2050

Fuente: elaboración propia

2.2.2 Rehabilitación de la infraestructura deteriorada

Es importante considerar que con la rehabilitación de tuberías se pretende restaurar la capacidad hidráulica de los conductos que han sido afectados negativamente por corrosión interior, aumento de la rugosidad, disminución de diámetro o filtraciones, y extender así la vida útil de los mismos.

Si no se corrigiera esta situación, se llegarían a producir mayores fallos que pueden llevar a la suspensión del servicio y a reparaciones costosas, además de producir derrames que crucen la línea fronteriza superficialmente.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

En el corto plazo existe la necesidad de rehabilitar las líneas de atarjeas en varias zonas de colonias como La Esperanza, Kennedy, Granja, 5 de Mayo, y tramos de calles, como la Cajeme, Cananea, Jalapa y Ermita, entre otras.

El colector Ruíz Cortines, con un diámetro de 76 cm (30 pulgadas), de la principal infraestructura de Nogales, en un tramo de 3150 m, cercano a la línea fronteriza, es de concreto que ha cumplido su vida útil y requiere ser sustituido, ya que se encuentra notoriamente deteriorado.

Otra necesidad importante en Nogales es rehabilitar los pozos de visita del emisor Los Alisos, en un tramo de aproximadamente 3 km que se encuentran deteriorados, ya que fueron construidos con tabique, han sufrido desgaste y han dejado de ser impermeables, de tal forma que el agua que se permea por sus paredes incrementa el flujo en la línea cuando llueve.

Las plantas de tratamiento están rebasadas en su capacidad, por lo que se requiere ampliar la PTAR Los Alisos, que es la principal planta en el lado mexicano; actualmente esta planta dispone de la obra civil de un tercer módulo de 110 l/s, adicional a los otros dos de 110 l/s, cada uno, originalmente construidos.

Como parte de los acuerdos binacionales del tratamiento de aguas residuales en la planta internacional, conforme a los requerimientos nuestro país asume compromisos para la rehabilitación y mantenimiento del emisor internacional, y en la actualidad se tiene el compromiso de rehabilitar un tramo de 3 km del mismo.

Tabla 32. Requerimiento de rehabilitación de la red de atarjeas y colectores de la ciudad de Nogales

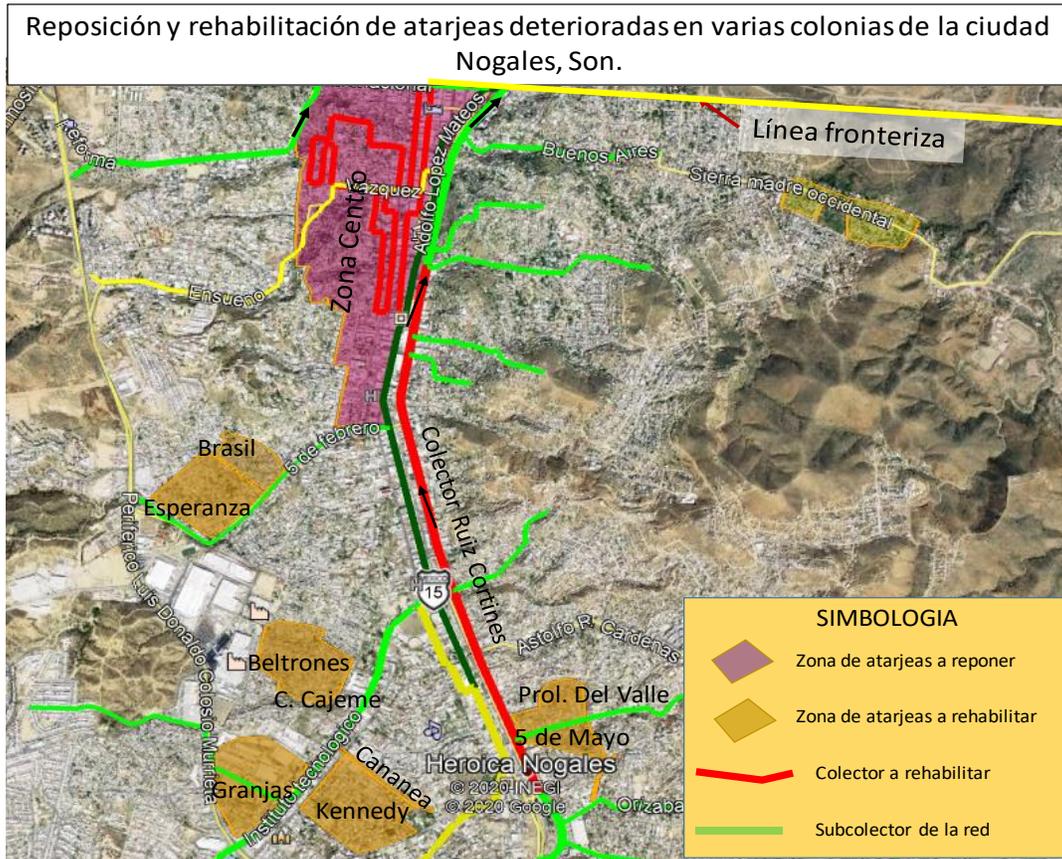
Concepto	Inversión (mdp)	Inicio	Término
Rehabilitación del emisor internacional de Nogales	25.18	2021	2021
Rehabilitación de pozos de visita en el emisor a gravedad Los Alisos, Nogales, SO	2.45	2021	2021
Reubicación del emisor Los Alisos (3 km quedaron debajo de la carretera a Hermosillo)	32.60	2021	2021
Rehabilitación de la red de alcantarillado sanitario de PVC 8", colonias Kennedy, Esperanza, Granja, Prolongación del Valle, CTS-CROC, 5 de Mayo y Manlio Fabio Beltrones	6.70	2021	2021
Rehabilitación de la red de alcantarillado sanitario, sector ITN (desde sector ITN, hasta entronque con avenida Tecnológico)	0.97	2021	2021
Rehabilitación de la red de alcantarillado (5.8 km), sector centro de la ciudad, Nogales, SO.	23.00	2021	2021
Adquisición de equipo para mantenimiento y desazolve de redes de alcantarillado	12.00	2021	2021
Rehabilitación de la red de alcantarillado en las calles Cananea, Brasil, Priv. del Nogal, Estado de Colima, Sierra Aconchi, Jalapa, Cajeme y Amatista 2	6.68	2022	2022
Construcción del colector de 24", arroyo Los Nogales, del tramo Colegio Militar a la calle Primavera, colonia Ferrocarrilera, Nogales, SO	15.15	2021	2022
	124.73		

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 14. Ubicación de la rehabilitación de líneas de atarjeas y colectores de Nogales



Fuente: elaboración propia

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

La estación de bombeo Estadio tiene instalados cinco equipos de bombeo con capacidad de 127 l/s, cada uno, que para la capacidad de la PTAR Los Alisos son suficientes, pero requiere de un mantenimiento constante.

Entre los requerimientos de rehabilitación se menciona el sistema de arrancadores, que deberá ser reemplazado en el corto plazo.

Como ya se dijo, la PTAR Los Alisos requiere ser equipada para disponer de la capacidad total mencionada. Asimismo, las otras tres plantas de tratamiento, de las cuales operan dos: Lomas del Sol y Puerta de Anza, de 30 y 45 l/s, respectivamente, requieren adecuaciones para crear condiciones que permitan transferir agua residual de la primera (Lomas del Sol) a la segunda (Puerta de Anza), ya que si bien no están dentro de la cuenca del arroyo Nogales, esta zona está creciendo y debe preverse tener capacidad en estas plantas.

Por otra parte, la PTAR del fraccionamiento La Mesa, ubicada un poco aguas arriba de la PTAR Los Alisos, requiere ser rehabilitada para que pueda operar a 30 l/s, y ampliada a su máxima capacidad de 70 l/s, para auxiliar a la planta de Los Alisos.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 33. Acciones que inciden en la ampliación de la capacidad de tratamiento de aguas residuales

Concepto	Inversión (mdp)	Inicio	Término
Equipamiento de la 2. ^a etapa de la PTAR Los Alisos (110 l/s; la obra civil ya existe)	34.63	2021	2021
Ampliación y rehabilitación de la PTAR en el fraccionamiento La Mesa	30.00	2021	2021
Ampliación del 4.º módulo de la PTAR Los Alisos, con capacidad de 110 l/s	45.00	2022	2022
Ampliación de la PTAR Puerta de Anza, 2. ^a etapa, con un módulo de 15 l/s (de 45 a 60 l/s)	15.00	2021	2021
Construcción de la PTAR Las Peñitas en la colonia Colinas del Sol (incluye proyecto ejecutivo)	34.25	2022	2023
Proyecto ejecutivo y construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales en la comunidad rural Mascareñas, Nogales, SO.	22.50	2022	2023
	181.38		

Fuente: elaboración propia

2.2.4 Reforzamiento del sistema de saneamiento en general

Una vez hechas las adecuaciones del sistema de la red primaria, y las ampliaciones a las plantas de tratamiento, se podrían disminuir los caudales que se envían a la PITAR de Río Rico, Arizona, y adicionalmente realizar la ampliación de la planta de tratamiento Puerta de Anza de 45 a 60 l/s, para mejorar la capacidad de tratamiento en la zona poniente de la ciudad de Nogales, deberá tenerse en cuenta que no se dispondrá de mucho tiempo para decidir sobre como incrementar la capacidad de tratamiento para atender las zonas urbanas en desarrollo, las que carecen de servicio de alcantarillado y las que están en crecimiento en la ciudad.

Tabla 34. Acciones de reforzamiento del sistema de alcantarillado y saneamiento de Nogales

Concepto	Inversión (mdp)	Inicio	Término
Construcción del colector de 24" en arroyo Los Nogales, del tramo Colegio Militar a la calle Primavera, colonia Ferrocarrilera, Nogales, SO.	15.15	2021	2022
Construcción de la red de alcantarillado sanitario en las calles Quintana Roo, Arcadia, Callejón Michoacán y San Marcos, Nogales, SO.	0.72	2022	2022
Construcción de la red de alcantarillado sanitario en calle de la Ermita, Nogales, SO.	0.25	2022	2022
Construcción de la red de alcantarillado sanitario en la colonia Colinas del Sol, Nogales, SO.	7.50	2022	2022
Construcción de la red de alcantarillado sanitario en la colonia Sierra Madre Occidental, Nogales, SO.	5.00	2022	2022
Construcción de la red de alcantarillado para la comunidad rural de Mascareñas.	13.56	2022	2023
Rehabilitación de la red de alcantarillado sanitario de 30", serie 20, en la avenida Adolfo Ruíz Cortines, entre calle Héroes y calle Tepic.	22.77	2022	2022
	49.80		

Fuente: elaboración propia

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

Actualmente se cumple con la normatividad exigida por la NOM-001-SEMARNAT-1996 en la PTAR Los Alisos y en las plantas entregadas por los desarrolladores de vivienda al OOMAPAS Nogales, mientras que en la PITAR se cumplen las normas de Estados Unidos, ya que la descarga se realiza de aquel lado de la frontera.

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



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

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

- Lodo peligroso por la presencia de contaminantes tóxicos, de acuerdo con lo establecido en México por la norma NOM052-ECOL-1993.
- Lodo no peligroso porque las concentraciones de sus componentes son inferiores a los valores establecidos por la NOM-052-ECOL-1993, o bien por lo que establece la NOM-004- SEMARNAT-2002, en la que se define la clasificación de los biosólidos como excelente o buena, en función del contenido de metales pesados, como muestra la tabla 35 en clase A, B y C, en función del contenido de patógenos y parásitos

Tabla 35. Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos.

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

Fuente:- NOM-004-SEMARNAT-2002

Tabla 36. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos peligrosos en lodos y biosólidos

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

Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2002

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

El sistema de alcantarillado y saneamiento de la ciudad de Nogales es bastante complejo, por lo que su manejo y mantenimiento deben estar basados en manuales de operación y mantenimiento en los que se identifiquen los procesos que hagan posible el trabajo óptimo, eficiente y efectivo de cada una de las unidades en las que se basa la operación de cada sistema, sin que se produzcan interrupciones por fallas de cualquiera de los elementos o procesos que intervienen.

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



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

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

Adicional a ello, la preparación de programas especiales para dar mantenimiento a cada componente del sistema de alcantarillado y saneamiento tendrá que ser un instrumento de trabajo y vigilancia de la buena operación para dar un servicio más eficiente.



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 de Nogales es aprovechar la infraestructura de subcolectores, que aún pueden tener un poco de capacidad, e interconectar las áreas cercanas que están por desarrollarse.

El crecimiento de Nogales seguirá siendo disperso, debido a que la zona donde se asienta la ciudad presenta una topografía complicada y requiere de movimiento de tierras para poder aprovechar los terrenos; asimismo, se buscan las corrientes naturales para dar salida a los drenajes sanitarios.

Las áreas hacia donde puede crecer la ciudad son escasas, y son estas las que demandarán nueva infraestructura de drenaje y saneamiento que habrá que dotar conforme a las tendencias de expansión urbana, lo cual plantea un alto nivel de exigencia para la dotación de servicios.

De acuerdo con información del Plan Municipal de Desarrollo Urbano 2018, el 90 % del territorio del centro de población de Nogales se asienta sobre área montañosa. Las pendientes van del 15 al 30 %, en el extremo oriente de la ciudad; del 7 al 15%, en el extremo poniente, y del 15 al 30 % en la zona sureste, siendo este último sector el de mayor altitud y, a su vez, el que presenta más barreras para el desarrollo urbano.

Al poniente de la carretera 15-D se encuentran algunas localidades rurales y asentamientos irregulares, que se espera sean eventualmente incorporados a la ciudad por el paulatino crecimiento de la mancha urbana.

Hacia el este de Nogales, por Puerta de Anza, Solidaridad y San Carlos existen áreas susceptibles de incorporarse al desarrollo urbano; si bien la zona cuenta con una topografía accidentada, con arroyos intermitentes y cerros menores que la atraviesan, deberán respetarse en su estado natural y posibilitar la ocupación del suelo utilizable. En esta área se ubica la reserva territorial del Centauro, donde reservando los lugares de conservación ecológica, los escurrimientos pluviales y zonas de represas, se cuenta con potencial para el asentamiento de viviendas.

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

La zona ubicada al suroeste de Nogales, donde se localizan la Universidad Tecnológica y el Aeropuerto de Nogales, cuenta con un potencial de usos del suelo muy diverso, en el cual se incluyen: equipamientos urbanos y regionales, actividades industriales, almacenes y bodegas, comercios y servicios, áreas verdes y zonas habitacionales.

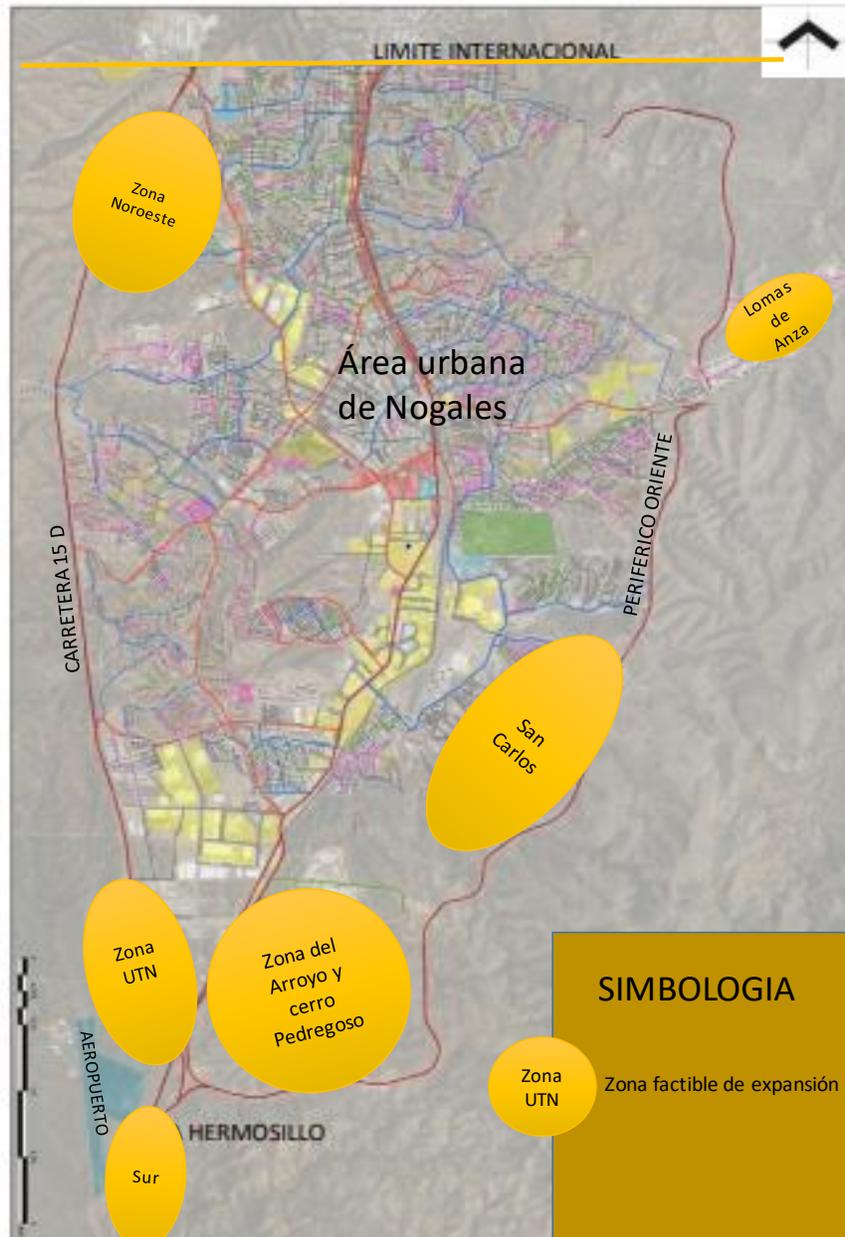
Se prevé que la zona suroeste pueda tener una importante dinámica de crecimiento en los próximos años; en esta área se ubican algunas localidades menores y también el fraccionamiento Bicentenario, que en la actualidad están separados de la estructura urbana de la ciudad, pero los cuales se irán incorporando paulatinamente a la mancha urbana.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Asimismo, es importante adecuar, planear y desarrollar de manera estratégica la estructuración vial para que logre su incorporación a las vialidades existentes. De esta forma 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.

Ilustración 15. Identificación de zonas de crecimiento y expansión de Nogales al año 2050



Fuente: elaboración propia con información del Programa de Desarrollo Urbano



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Asimismo, en el extremo sur se ubican zonas con potencial de desarrollo, más allá de la localidad de Agua Zarca, mismas que son cruzadas en forma longitudinal por la Carretera Federal 15 y el río Bambuto, y que corren paralelos entre sí, cercanas a la planta de tratamiento de aguas residuales y terrenos que son reserva territorial del municipio. Son suelos aptos, en tanto se haga la integración vial a la carretera y se respete el derecho de vía y el entorno natural del río Bambuto; pero, por su lejanía con la zona urbanizada actual, se constituyen en reservas de crecimiento a más largo plazo.

3.1 Planteamiento de alternativas

El territorio donde se asienta la ciudad de Nogales se caracteriza por su topografía accidentada, compuesta por una serie de elevaciones de diferentes alturas, que dificultan los asentamientos dando forma a una traza de calles alineadas con el drenaje natural.

En sus orígenes, Nogales se conformó siguiendo el recorrido de un estrecho valle intermontano, correspondiente a la cuenca del arroyo Los Nogales, el cual actualmente ha sido rebasado en la parte sur de la ciudad y un poco hacia el poniente. Las alternativas para atender la demanda de saneamiento incluyen prever el manejo adecuado del sistema y de las redes de colectores, de forma tal que se considere la construcción de infraestructura para evitar el incremento de los volúmenes que se tratan en el lado de Estados Unidos, para lo cual debe contarse con colectores y plantas de bombeo, y principalmente tener capacidad para dar tratamiento a las aguas residuales en el lado mexicano.

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

La estructura urbana de la ciudad de Nogales se caracteriza por ser, en su mayor parte, un sistema que denominan los urbanistas de "Plato Roto", donde las vialidades no presentan un orden geométrico definido, respondiendo principalmente a la topografía accidentada de la zona. Esta estructura también genera conflictos, presentes en la ciudad de Nogales, como, por ejemplo, la dificultad de sistematizar el trazo de calles y terrenos, lo que complica la introducción de infraestructura e incrementa sus costos.

Los colectores y subcolectores se han trazado tradicionalmente en las partes bajas, entre colinas, aprovechando los arroyos, por los que el agua drena de modo natural hacia la corriente principal, y esta ha sido la manera en que se ha conformado la red de alcantarillado sanitario; la alternativa sería ubicar más sistemas de bombeo.

En la ilustración 3.1 se muestran coloreadas las posibles zonas de consolidación, expansión y crecimiento de la ciudad de Nogales al año 2050.

En la ilustración 3.2 se presentan las posibles zonas de desarrollo y expansión por crecimiento poblacional de Nogales; en ellas se muestra la configuración de colectores con el modelo del trazo seguido tradicionalmente en la ciudad, buscando dar salida a las aguas residuales y de drenaje natural.

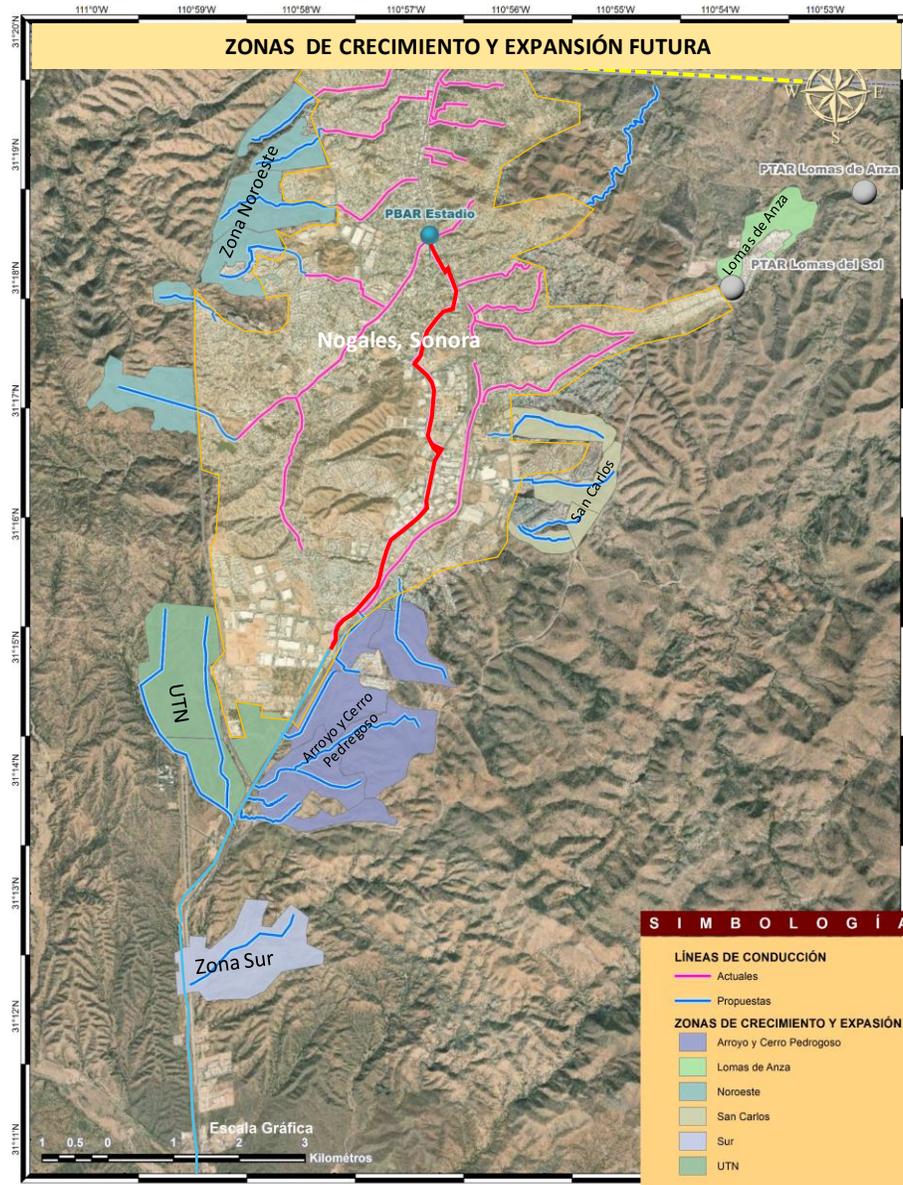
Debido a la intensidad de las pendientes, en muchos casos habrá que construir pozos de visita con caída, para atenuar un poco esas características del terreno.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

En la ilustración 16 se muestran las posibles zonas de expansión de la mancha urbana para absorber el crecimiento al año 2050, así como las salidas naturales del agua por donde se construirán los colectores y subcolectores, algunos de los cuales serán prolongación de los ya existentes, mientras otros se construirán exclusivamente para dar servicio a las nuevas áreas.

Ilustración 16. Zonas de expansión urbana de Nogales al año 2050

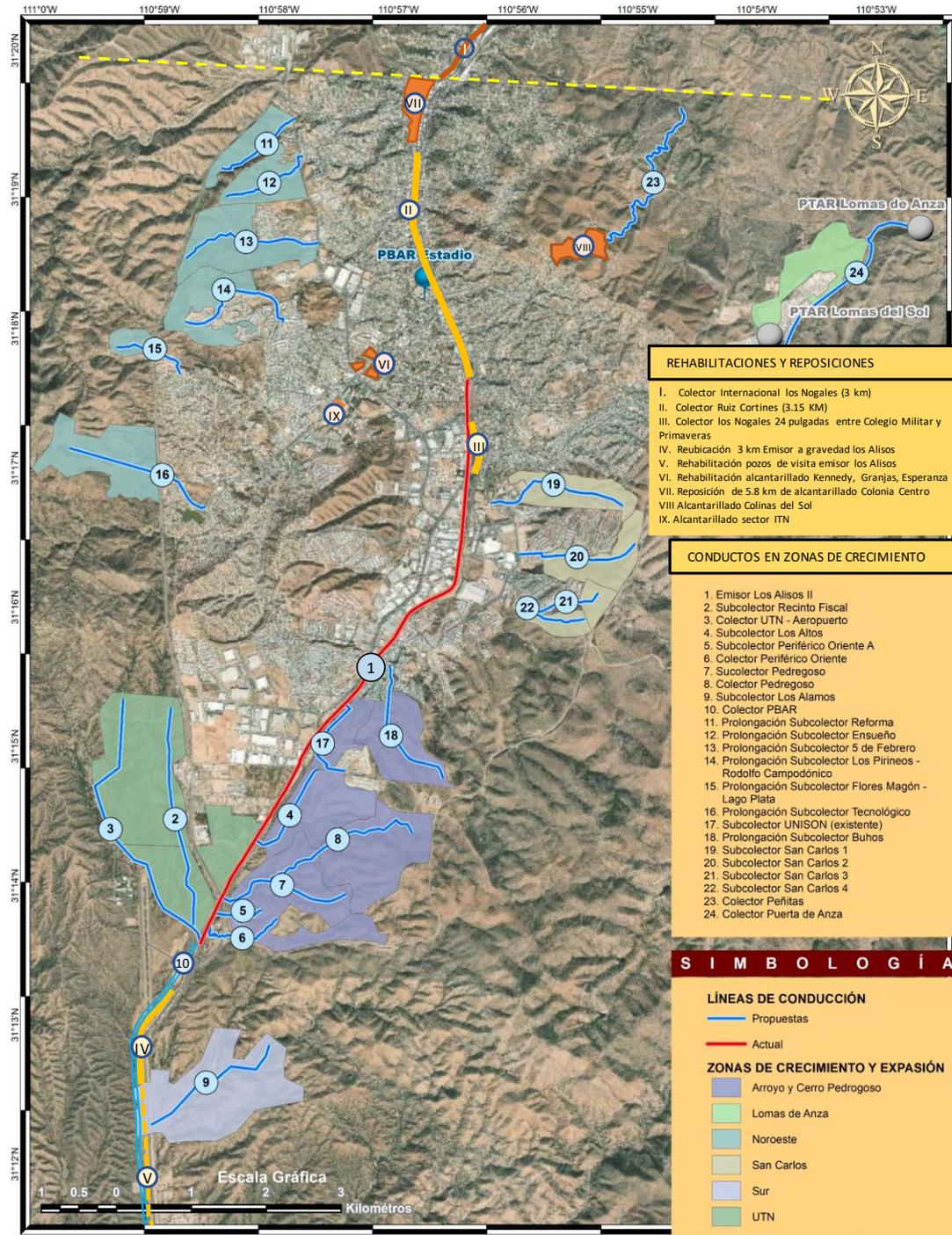


Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 17. Red primaria que requiere rehabilitación y nuevos conductos para dar servicio a las zonas de expansión y crecimiento urbano de Nogales



Elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

La ilustración 17 muestra la red primaria que requiere rehabilitación y las zonas de atarjeas que necesitan reponerse, debido a su antigüedad y deterioro, así como la red de las áreas de crecimiento. Estas acciones se identificaron en los subcapítulos 2.2.1 y 2.2.2, en lo referente al reemplazo o rehabilitación de infraestructura.

Tabla 37. Reposición y rehabilitación de redes de atarjeas y colectores

Proyecto	Longitud km
Rehabilitación (reposición) de red de alcantarillado (5.8 km; 8 pulgadas de diámetro), sector centro de la ciudad, Nogales, SO.	5.8
Reposición de 14.2 km de atarjeas de la red de alcantarillado (8, 10 y 12 pulgadas de diámetro), de tubería que cumplió su vida útil, sector centro de la ciudad, Nogales, SO.	14.2
Reposición de 20 km de atarjeas de la red de alcantarillado (8, 10 y 12 pulgadas de diámetro), de tubería que cumplió su vida útil, sector centro de la ciudad, Nogales, SO.	20.0
Rehabilitación de la red de alcantarillado sanitario, sector IT (desde sector ITN, hasta entronque con avenida Tecnológico)	1.5
Rehabilitación de la red de alcantarillado sanitario de PVC 8", en las colonias Kennedy, Esperanza, Granja, Prolongación del Valle, CTS-CROC, 5 de Mayo y Manlio Fabio Beltrones	
Rehabilitación de la red de alcantarillado en las calles Cananea, Brasil, Priv. del Nogal, Estado de Colima, Sierra Aconchi, Jalapa, Cajeme y Amatista 2	
Rehabilitación de 3 kilómetros del emisor internacional de Nogales.	3.0
Rehabilitación (reposición de 3.15 km) del colector Ruíz Cortines, de 30 pulgadas de diámetro, con tubería de PVC, cédula 20, entre las calles Tepic y Héroes.	3.15
Rehabilitación de pozos de visita en el emisor a gravedad Los Alisos, Nogales, SO.	12.6
Reubicación del emisor Los Alisos (3 km quedaron debajo o demasiado cerca del acotamiento de la carretera a Hermosillo).	3.0
Construcción del colector de 24" en arroyo Los Nogales, del tramo Colegio Militar a la calle Primavera, colonia Ferrocarrilera, Nogales, SO	1.0
Construcción de la red de alcantarillado sanitario, en la colonia Colinas del Sol, Nogales, SO.	
Construcción de la red de alcantarillado con tubería de 8" de diámetro, material de PVC, en la calle Sierra Madre Occidental.	
Construcción de la red de alcantarillado para la comunidad rural de Mascareñas.	
Rehabilitación de sistemas de la red de alcantarillado sanitario con tubería de 8", de diámetro y material de PVC, en las calles: Estado Quintana Roo, Arcadia, Callejón Michoacán y San Marcos.	
Proyecto ejecutivo de la red de alcantarillado y PTAR en la colonia Colinas del Sol.	

Elaboración propia

Tabla 38. Relación de infraestructura requerida para dar servicio a las nuevas áreas de Nogales al año 2050

	Colector/Subcolector/ Emisor	Diámetro PVC (pulgadas)	Longitud (km)
ZONA SUROESTE, SURESTE Y SUR			
1	EMISOR PBAR-2	24	6.58
2	SUBCOLECTOR RECINTO FISCAL	18	3.01
3	COLECTOR UTN-AEROPUERTO	20	3.98
4	SUBOLECTOR LOS ALTOS	18	1.78
5	SUBCOLECTOR PERIFÉRICO ORIENTE A	18	0.94
6	COLECTOR PERIFÉRICO ORIENTE	20	2.17
7	SUBCOLECTOR PEDREGOSO	18	1.07
8	COLECTOR PEDREGOSO	20	3.07
9	SUBCOLECTOR EL ÁLAMO	18	2.05
10	COLECTOR LOS ALISOS II	42	15.22
ZONA NOROESTE Y OESTE			
11	PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR REFORMA	18	1.21



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

	Colector/Subcolector/ Emisor	Diámetro PVC (pulgadas)	Longitud (km)
12	PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR ENSUEÑO	18	0.29
13	PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR 5 DE FEBRERO	18	0.55
14	PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR LOS PIRINEOS-RODOLFO CAMPODÓNICO	18	1.96
15	PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR RICARDO FLORES MAGÓN-LAGO PLATA	18	1.10
16	PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR TECNOLÓGICO	18	2.05
ZONA ESTE Y NORESTE			
17	SUBCOLECTOR UNISON (EXISTENTE)	18	1.34
18	PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR BÚHOS	18	1.93
19	SUBCOLECTOR SAN CARLOS 1	18	1.97
20	SUBCOLECTOR SAN CARLOS 2	18	1.65
21	SUBCOLECTOR SAN CARLOS 3	18	1.03
22	SUBCOLECTOR SAN CARLOS 4	20	0.87
23	COLECTOR PEÑITAS	18	1.82
24	COLECTOR PUERTA DE ANZA	18	2.71
25	COLECTOR MASCAREÑAS	18	1.31

Elaboración propia

3.1.2 Planteamiento de alternativas para plantas de bombeo principales

La expansión de áreas de la ciudad que inevitablemente drenan con rumbo al vecino país, hace necesario incrementar los caudales bombeados de la estación de bombeo estadio, que cuenta con el equipamiento suficiente para las condiciones actuales, y por lo menos hasta el año 2025. En el mediano plazo tendrá que construirse una segunda estación de bombeo, que permita ampliar la capacidad de conducir aguas residuales para su tratamiento en la PTAR Los Alisos o en cualquier otra planta en el sur de la ciudad.

Cuando se construyó la estación de bombeo Estadio se planteó la opción de construir una segunda estación, denominada Colosio, con el fin de mandar mayor volumen de aguas residuales hacia la planta de tratamiento Los Alisos, del subcolector Tecnológico y del colector Ruíz Cortines.

De acuerdo con las proyecciones de población, y la ubicación de las zonas de crecimiento de la ciudad de Nogales, una de las opciones será construir una segunda planta de bombeo y un nuevo emisor para enviar las aguas residuales fuera de la cuenca del arroyo Los Nogales, ya que en algunas zonas inevitablemente las aguas residuales captadas serán drenadas dentro de la cuenca de este arroyo, cuyas pendientes dominantes son hacia la frontera con Estados Unidos.

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, fuera de la cuenca del arroyo Los Nogales, para que con ello se cuente con las condiciones de sanear las aguas residuales bombeadas.

Complementariamente a las acciones descritas, el organismo operador busca la posibilidad de habilitar un cuarto módulo para la PTAR Los Alisos, lo cual tendrá que revisarse, ya que el diseño original de la planta solo consideraba tres módulos y las interconexiones así están diseñadas, aunque por condiciones de incrementos extraordinarios generalmente disponen de mayores capacidades a las nominales.

Una vez que se cuente con capacidad de tratamiento en la PTAR Los Alisos, es posible aumentar los caudales que se envían para tratamiento desde la estación de bombeo Estadio, los cuales provienen



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

de los subcolectores interconectados al subcolector Tecnológico, que aportan aproximadamente 248.7 l/s, y que con las áreas de crecimiento se incrementan en 49.2 l/s, es decir a 297.9 l/s, aunque son prácticamente 300 l/s los que a futuro podrían conducirse a la PTAR Los Alisos desde la PBAR Estadio.

La primera acción, previa a la revisión de cualquier otra alternativa, es mantener en condiciones óptimas la operación de la estación de bombeo Estadio, que actualmente requiere rehabilitación del equipamiento eléctrico y la sustitución de partes desgastadas del equipo de bombeo.

La segunda estación de bombeo se propone que se construya en una zona cercana a donde se planteaba la planta Colosio; se propone que desde esta planta pueda bombearse un mayor caudal acumulado de la zona de la cuenca de captación del colector Ruíz Cortines y del subcolector Los Nogales, es decir un caudal de hasta 271.66 l/s en las condiciones actuales y con áreas de crecimiento al 2050; este caudal podría incrementarse en 51.73 l/s para un total de 323.39 l/s.

Por lo anteriormente planteado, en las condiciones actuales se enviarían las aguas residuales de la cuenca de aportación de la margen izquierda del colector Ruíz Cortines y del subcolector Los Nogales (zona 3 de alcantarillado), así como de los subcolectores Victoria, Virreyes, Agustín Lara y San Carlos, entre otros.

Para conducir el agua captada en el colector Ruíz Cortines, y enviarla a la zona sur, a la planta de tratamiento Los Alisos, una vez ampliada, se propone construir y equipar una nueva planta de bombeo, con capacidad hasta de 330 l/s, de la que partiría un emisor de 60 cm (24 pulgadas), hasta el sitio de una caja rompedora de presión.

Se propusieron tres alternativas para la ubicación de la planta de bombeo N° 2, todas sobre la avenida Álvaro Obregón, que va paralela al colector Ruíz Cortines, conducto que recibe las aportaciones de una zona bastante importante, por la superficie que cubre, y es de dónde es factible incrementar los caudales de aguas residuales a enviar a la PTAR Los Alisos para poder disminuir los caudales que se envían a la planta internacional.

Los tres sitios se ubicaron en la misma avenida, debido a que corre paralela a la calle Plutarco Elías Calles, que es donde se localiza el colector Ruíz Cortines del cual se interceptaría el agua residual para derivarla a la PBAR-2.

Tabla 39. Sitios de alternativas de ubicación para la PB-2 de aguas residuales, Nogales, SO

Sitio	Ubicación	
1	Avenida Olimpia	Sitio ubicado a la altura de la avenida Olimpia por la avenida Álvaro Obregón.
2	Avenida Corinto	El segundo sitio se ubica a la altura de la avenida Corinto, por la avenida Álvaro Obregón.
3	Calle John F. Kennedy	El tercer sitio se ubica por la calle John F. Kennedy, casi esquina con Álvaro Obregón.

Fuente: elaboración propia

Para comparar las alternativas, en primer término se evaluará la ubicación de cada una ellas, en función de la disponibilidad del terreno, las facilidades de interconexión y el caudal factible de interceptar para conducirlo fuera de la cuenca, con el fin de evitar que cruce la frontera con Estados Unidos para su tratamiento, y después se evaluará el tipo de material del emisor a presión.

La comparación de la ubicación de los sitios se presenta en la tabla 39.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 40. Comparación de alternativas de ubicación para la PB-2 de aguas residuales, Nogales, SO

N°	Ubicación	Condiciones favorables	Desventajas
1	Avenida Olimpia	Terreno amplio Cercanía con servicios agua, electricidad Accesibilidad Caudal posible de derivación (239.02 l/s)	Menor volumen de captación que el de los sitios 2 y 3 Mayor distancia de interconexión al emisor Los Alisos
2	Avenida Corinto	Terreno amplio Cercanía con servicios de agua y electricidad Accesibilidad Puede captar un caudal mayor al que se puede captar en el sitio 1 Caudal posible de derivación (254.75 l/s)	Altitud del terreno casi 20 m por encima del colector Ruíz Cortines Por lo anterior mayor costo, debido al volumen de excavaciones
3	Calle John F. Kennedy	Terreno amplio Cercanía con servicios de agua y electricidad Posibilidad de captar mayor volumen que en los sitios 1 y 2 (271.66 l/s) Accesibilidad Es posible interconectar al emisor Los Alisos con poca inversión	Mayor longitud para interconexión con el colector Ruíz Cortines Mayor distancia de recorrido para la descarga final

Fuente: elaboración propia

Ilustración 18. Localización de tres sitios alternativos para ubicar la planta de bombeo de aguas residuales N° 2



Elaboración propia

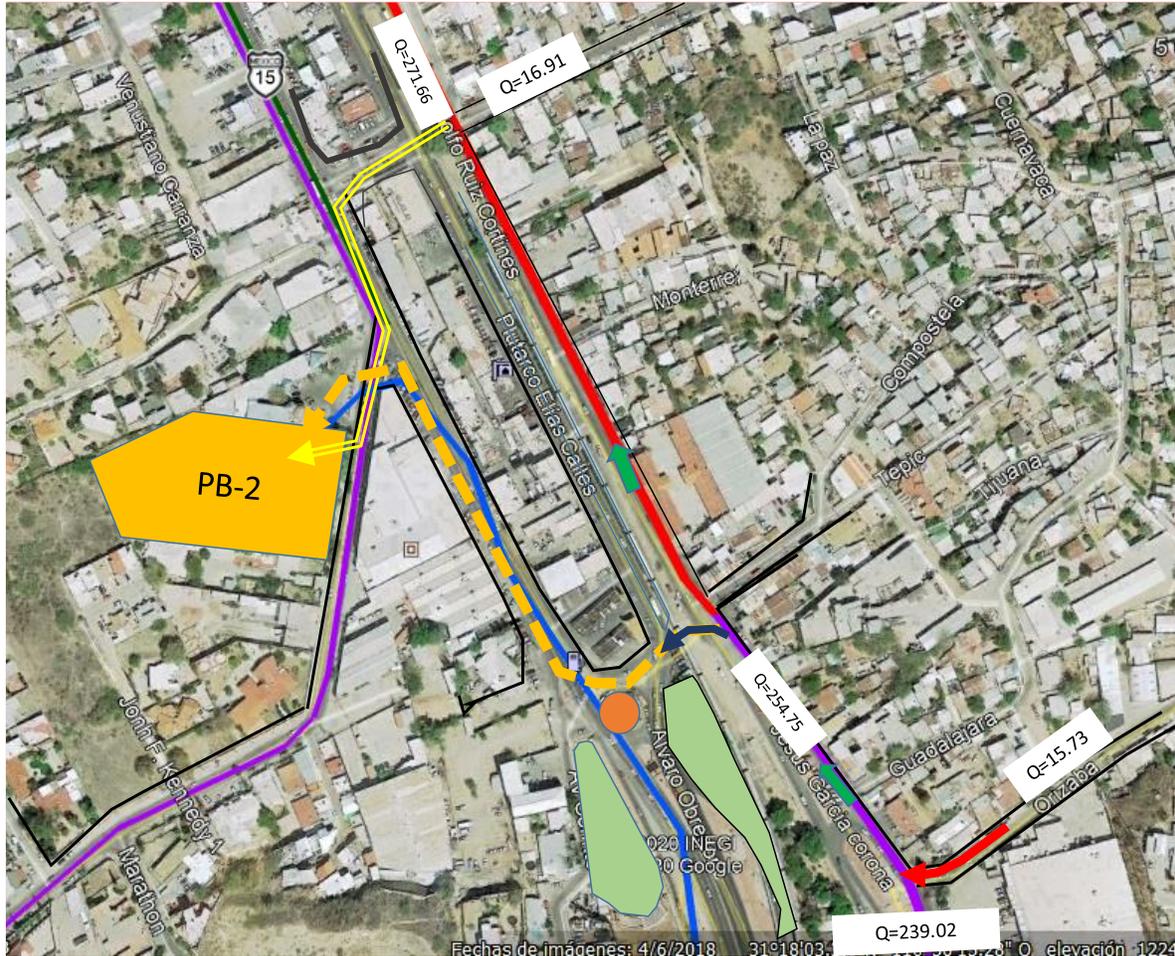
El sitio que presenta mayores ventajas es el que se ubica a la altura de las calles John F. Kennedy y Álvaro Obregón, con posibilidades de ser adquirido y utilizado para construir la planta de bombeo.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Este sitio permitiría captar las aguas residuales del colector Ruíz Cortines, un poco abajo de la interconexión de la descarga del subcolector Orizaba; inclusive con algunos arreglos pudiera lograrse la captación de la descarga del subcolector 5 de Mayo.

Ilustración 19. Ubicación del sitio de la calle John F. Kennedy para la planta de bombeo N° 2



Fuente: elaboración propia

3.1.3 Planteamiento de alternativas para plantas de tratamiento

El crecimiento de la ciudad de Nogales, y el incremento sustancial de la demanda de tratamiento al año 2050, al pasar de 729 l/s, actualmente, a 1648 l/s en 30 años, implica más que duplicar la capacidad de tratamiento.

Con la ampliación del tercer módulo de la PTAR Los Alisos, y también si se concreta el cuarto módulo; es importante rehabilitar la planta de La Mesa, así como la ampliación de la planta Puerta de Anza, ya que se tendría capacidad para tratar 1034 l/s, por lo que se requerirá aumentar la capacidad en 614 l/s. En caso de que no sea factible agregar el cuarto módulo a Los Alisos, la planta debería tener al menos una capacidad de 724 l/s, lo que la haría similar en capacidad a la PITAR.

Tabla 41. Capacidad de tratamiento y posibilidades de ampliación



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Planta de tratamiento	Capacidad actual (l/s)	Ampliación (l/s)			Observaciones
		Inmediata	Corto plazo	Mediano plazo	
Planta internacional Río Rico (PITAR)	434				Se exceden 139 l/s del caudal asignado de 434 l/s
Los Alisos	220	110	110	0	Tiene obra civil; falta equipamiento para 110 l/s; urge su ampliación para reducir caudales en exceso a la PITAR
Lomas del Sol	30	0	0	0	Saturada su capacidad
Puerta de Anza	45	15	0	120	Puede recibir 30 l/s de aguas residuales de Lomas del Sol. Esta capacidad no incide en la disminución de caudales en exceso a la planta internacional
La Mesa	0	70	0	0	Aliviaría la presión sobre Los Alisos
Capacidad actual y de ampliación	729	195	110	120	La PTAR Puerta de Anza está fuera de la cuenca de captación del emisor internacional
Capacidades acumuladas	729	924	1034	1154	

Fuente: elaboración propia

De lo anterior se deduce que el orden de prioridad de las alternativas es:

1.- Equipar el tercer módulo de la PTAR Los Alisos, que cuenta con la obra civil y solo falta equiparlo para disponer de 110 l/s adicionales a la capacidad actual.

2.- Rehabilitar y ampliar la PTAR de La Mesa, ya que liberaría 70 l/s a la PTAR Los Alisos, puesto que se ubica muy cerca de esta y pueden efectuarse las interconexiones.

3.- Buscar adicionar un cuarto módulo de 110 l/s a la PTAR los Alisos, como lo propone el OOMAPAS Nogales, lo cual está sujeto a realizar adecuaciones a la planta, ya que el diseño original sólo considera tres módulos de 110 l/s, cada uno. De concretarse este proyecto, la planta tendría capacidad de 440 l/s.

4.- Existen zonas identificadas que aún no disponen del servicio de alcantarillado, como es el caso de la colonia Colinas del Sol, que se encuentra entre las acciones prioritarias para construir la red de alcantarillado; también requiere que las aguas residuales captadas sean tratadas y saneadas, para lo cual el **OOMAPAS propone que se construya una pequeña planta de tratamiento, identificada como Peñitas, ya que la zona se ubica en un sector difícil de conectar a la red de alcantarillado existente.**

5.- Realizar la ampliación de la PTAR Puerta de Anza, para transferir caudales de la PTAR Lomas del Sol y dar el servicio a las áreas de crecimiento del sector oriente.

6.- De concretarse las ampliaciones identificadas para las plantas de tratamiento existentes, se requiere una PTAR adicional de 500 l/s de capacidad, para satisfacer la demanda de 1648 l/s al año 2050. Con esto se tendría una capacidad total de tratamiento de 1654 l/s; es decir, 1154 l/s actuales (tabla 3.4) y 500 l/s adicionales de una nueva PTAR, al sur de la ciudad.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

3.1.4 Planteamiento de alternativas para infraestructura para el reúso de agua

La necesidad de reutilizar las aguas residuales se ha convertido en una prioridad para muchas ciudades, debido a la escasez de los recursos hídricos. Nogales no es la excepción, ya que la necesidad de disponer de más volúmenes de agua es cada vez más crítica.

En Nogales el agua residual tratada prácticamente no es reutilizada, aunque cumple con la normatividad para ser usada en usos públicos urbanos. Sin embargo, tiene potencial de reúso, además de que las descargas se irán incrementando conforme se presente el crecimiento de la ciudad. Entre los usos potenciales más comunes pueden mencionarse los siguientes:

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

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

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

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



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 20. Proceso de proyectos de reúso de aguas residuales tratadas



Fuente: elaboración propia

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

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

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

Planteamiento de alternativas para líneas moradas

Aunque a la fecha el OOMAPAS no tiene una propuesta específica de una línea morada para aprovechar aguas residuales tratadas, en alguno o varios de los usos potenciales, probables trazos de línea morada pueden derivarse de los diversos sitios de las plantas de tratamiento.

En Nogales existen las PTAR Lomas del Sol y Puerta de Anza, ambas en el sector oriente de la ciudad, y pudieran ser fuente de una línea morada para dotar de agua para lavados de autos, así como para riego de parques y jardines. La segunda opción es la PTAR La Mesa, de donde pudiera salir una línea de aguas tratadas hacia las nuevas zonas de crecimiento, a la cual se le pudiera incorporar con el tiempo una línea que proviniera de la zona de la planta de tratamiento Los Alisos.

De la PTAR Los Alisos a la PTAR La Mesa son 5,5 km; sin embargo, desde estas plantas puede derivarse un caudal bastante mayor, pues al 2050 se dispondría en la zona sur de caudales de descarga de aguas residuales tratadas del orden de los 900 l/s.

Las alternativas de posibles líneas moradas.

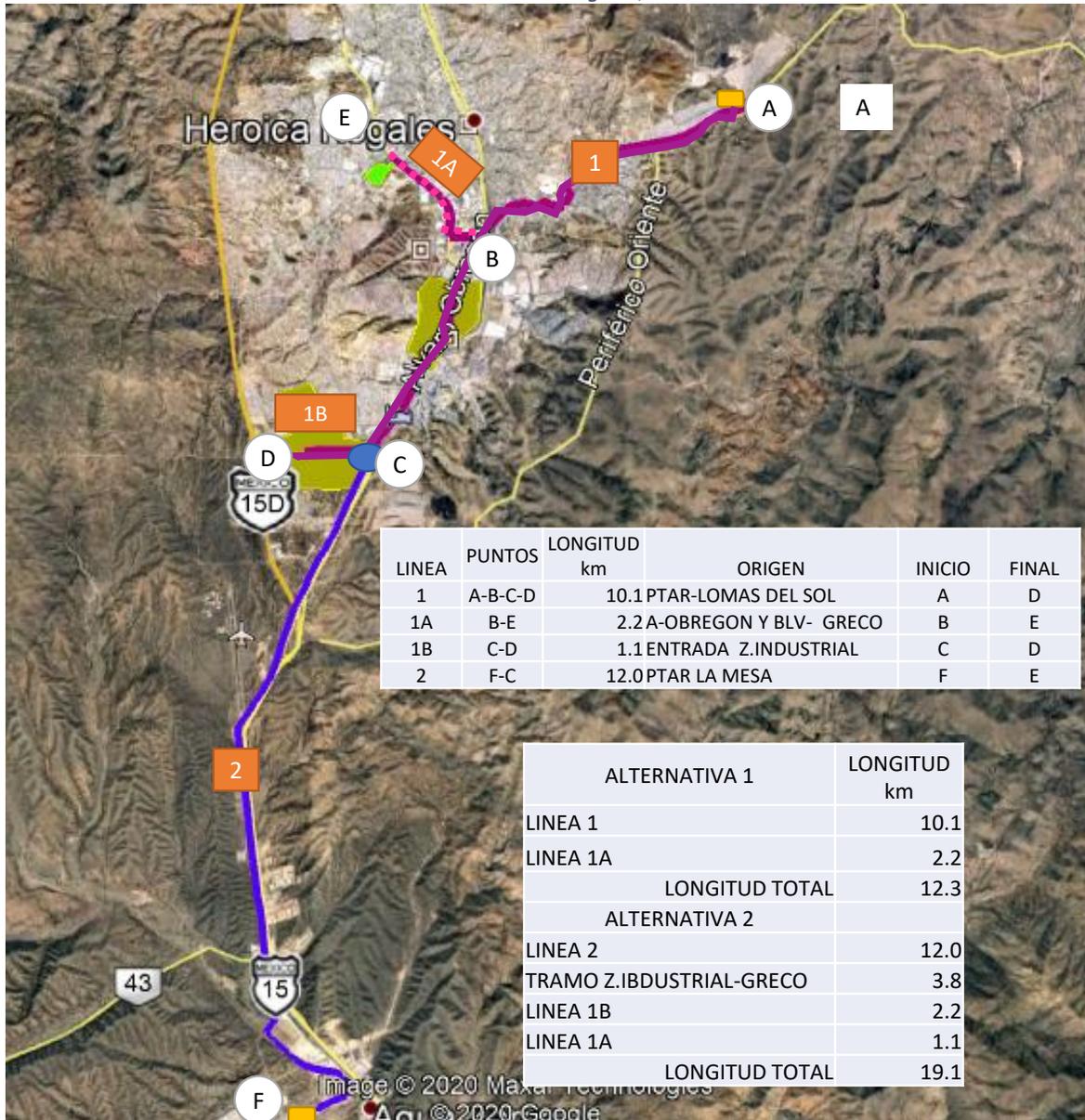
Alternativa 1.- Derivar de la PTAR una línea morada hacia el suroeste, por la avenida Jesús García hasta la avenida Álvaro Obregón 1, para llegar a la zona industrial (recorrido A-B-C-D), y derivar la línea 1 A, desde el cruce de la avenida Patras hasta la Ciudad Deportiva (recorrido B-E).



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Alternativa 2.- Derivar una línea morada desde la PTAR La Mesa hasta el punto B (cruce de la avenida Patras con la avenida Álvaro Obregón, y derivar las líneas 1B (recorrido C-D) y 1 A (recorrido B-E).

Ilustración 21. Alternativas de redes de reúso en Nogales, SO



Fuente: elaboración propia

3.1.5 Planteamiento de alternativas para infraestructura complementaria e instrumentación

Dadas las características topográficas del área en la que se asienta la ciudad de Nogales, y la ubicación de la zona urbana, respecto a las subcuencas hidrológicas, se tienen problemas de arrastre de sedimentos, con el agravante de que la mayor parte de los colectores se encuentran ubicados



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

sobre lechos de los arroyos y el material arrastrado, como suelo y basura, se introduce dentro de los ductos en los que, por lo general, lo que más se aprecia es tierra y arenas.

En algunos casos, como en el del subcolector Tecnológico, en el que se ubica la planta de bombeo Estadio, casi al final de su desarrollo el azolve arrastrado rebasa la capacidad de retención del desarenador instalado actualmente a la entrada de esta planta, desde donde las arenas pasan y se depositan en el cárcamo de bombeo, en el cual se encuentran colocadas las bombas, las cuales se ven afectadas y sufren daños y desgaste, afectando en gran medida su eficiencia, principalmente en temporadas de lluvias, ya que los ductos colapsan por la cantidad de agua pluvial que se infiltra, aumentando el volumen de arenas que se depositan en mayor cantidad y velocidad.

Debido al problema descrito, el OOMAPAS tiene actualmente en proceso de estudio el análisis de la cuenca del arroyo Chimeneas, donde se ubica el subcolector Tecnológico. Con ello se busca dar solución al problema de sedimentos que ingresan a la estación Estadio, mediante las estructuras que sean necesarias y que resulten del citado estudio.

También, con relación al mismo problema, pero en lo general, en la mayoría de los conductos de la red de alcantarillado, el organismo operador ha considerado la compra de equipo para desazolve, consistente en camiones equipados para tal fin, los cuales se desplazan a los diferentes sitios cuando se presenta el problema, principalmente durante la temporada de lluvias.

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 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, sólo cuando el evento ocurra se conocerá si un sistema era efectivamente resiliente (Gay, 2013).

Construir infraestructura con características de resiliencia implica planificar adecuadamente, de manera que no se comprometa la resistencia y durabilidad de la obra, y se aseguren los recursos financieros necesarios para construir y mantener la infraestructura durante su vida útil. Es también importante considerar las necesidades y demandas de la población a la hora de diseñar, y entender el contexto para garantizar la viabilidad de los proyectos.

El concepto de resiliencia 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



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

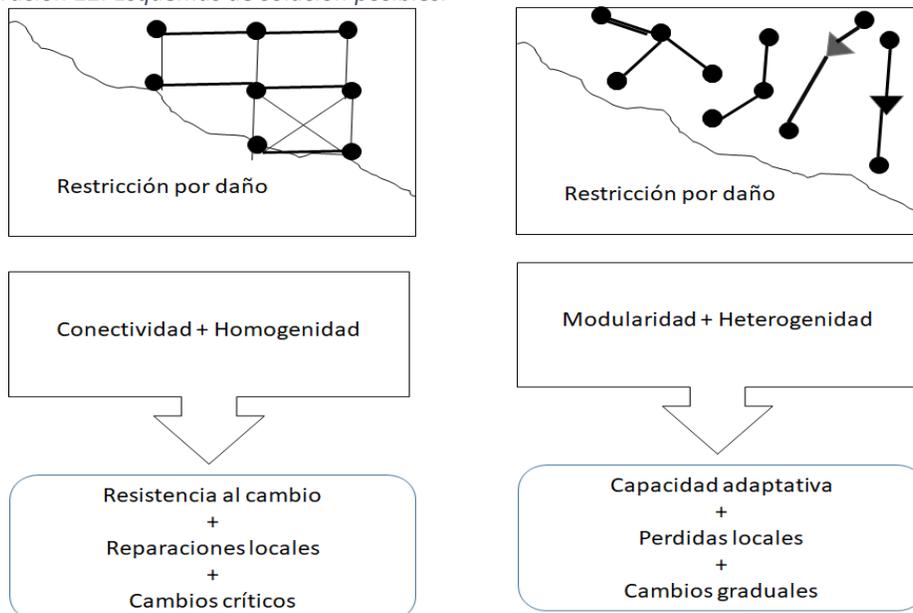
adquirida) que conlleva diversas características como diversidad, modularidad (adaptabilidad), redundancia, interdependencia, conectividad y además flexibilidad.

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

Ilustración 22. Esquemas de solución posibles.



Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

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

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 en el área urbana de Nogales, que operan al 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. Ejemplo de esa condición son los subcolectores 5 de Febrero, Ensueño y el colector Tecnológico.

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 los relativos a la ubicación y al tipo de material a utilizar.

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

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

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

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

El criterio de "castigar" las obras de infraestructura de más largo plazo, responde exclusivamente al hecho de no disponer de estimaciones coherentes sobre dimensiones y costos, sobre todo porque no se encuentran ligadas a una necesidad inmediata.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

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

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

1. **Posibilidad de incremento en la cobertura de servicio en el mediano plazo;** esta condición se refiere a calificar que tan posible es que en un plazo de 2 a 5 años el conducto sea parte de una infraestructura que permita incorporar habitantes de la ciudad que aún no cuentan con los servicios de drenaje sanitario.
2. **Posibilidad de generar efectos multiplicadores o de encadenamiento (con otras zonas de crecimiento);** esto es, que al momento de construirse la infraestructura, esta sirva para incorporar áreas o zonas de la ciudad más alejadas de esta, y que sin ella no sea posible conectarse al sistema de tratamiento.
3. **Grado de accesibilidad al saneamiento de la zona en el corto plazo,** considerando su ubicación; con esto se evalúa si con esta obra la zona donde se ubica se incorpora a la red de saneamiento, en un corto plazo 1 a 3 años.
4. **Posibilidad de mejora de zona habitada;** esta situación se refiere al hecho de que la obra de referencia puede de inmediato, una vez construida, mejorar la condición de una colonia o zona urbana que ya está habitada desde hace tiempo, pero carece del servicio de alcantarillado sanitario.
5. **Posibilidades de recuperación de la inversión pública;** este atributo se refiere a la posibilidad de que la obra en cuestión pueda formar parte de un contrato de Asociación Público-Privada y no que la inversión sea compartida con socio privado y al final del periodo del contrato la infraestructura sea del organismo operador.
6. **Grado de riesgo de derrame y escurrimiento transfronterizo;** esto se refiere evaluar el riesgo de que de no existir la obra, y se encuentre habitada la zona, las descargas escurran hacia el otro lado de la frontera con Estados Unidos.

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

Considerando la suma de los porcentajes o puntuaciones para cada atributo, en cada uno de los colectores, subcolectores y emisores de la red de captación y conducción para las zonas de crecimiento urbano de la ciudad de Nogales, conforme se detallan en las tablas 3-5 a 3-8, se valorarán todos ellos, y la suma de los seis atributos de impacto constituyen la calificación total de priorización de cada elemento, teniendo como máximo 1.80 puntos en función de lo cual se estima la programación de su ejecución.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Los criterios de evaluación, por ubicación, se señalan en la tabla 3.5, con base en la cual se evaluó la condición de cada uno de los colectores y sirvió de base para ordenar la programación de su periodo de ejecución.

Tabla 42. Criterios y puntaje de impacto de la obra para priorización programática de inversiones

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

Fuente: elaboración propia

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

Tabla 43. Rangos de puntaje de priorización de proyectos asociados a periodos de ejecución

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

Fuente: elaboración propia

Con el objetivo descrito, es decir evaluar el impacto de cada tipo de conducción, se identifica la infraestructura requerida, la cual se enlista en las tablas 3.8 y 3.9, así como en función de los puntajes de calificación, los periodos en los que se programa su ejecución.

ZONA NOROESTE Y OESTE DE LA CIUDAD

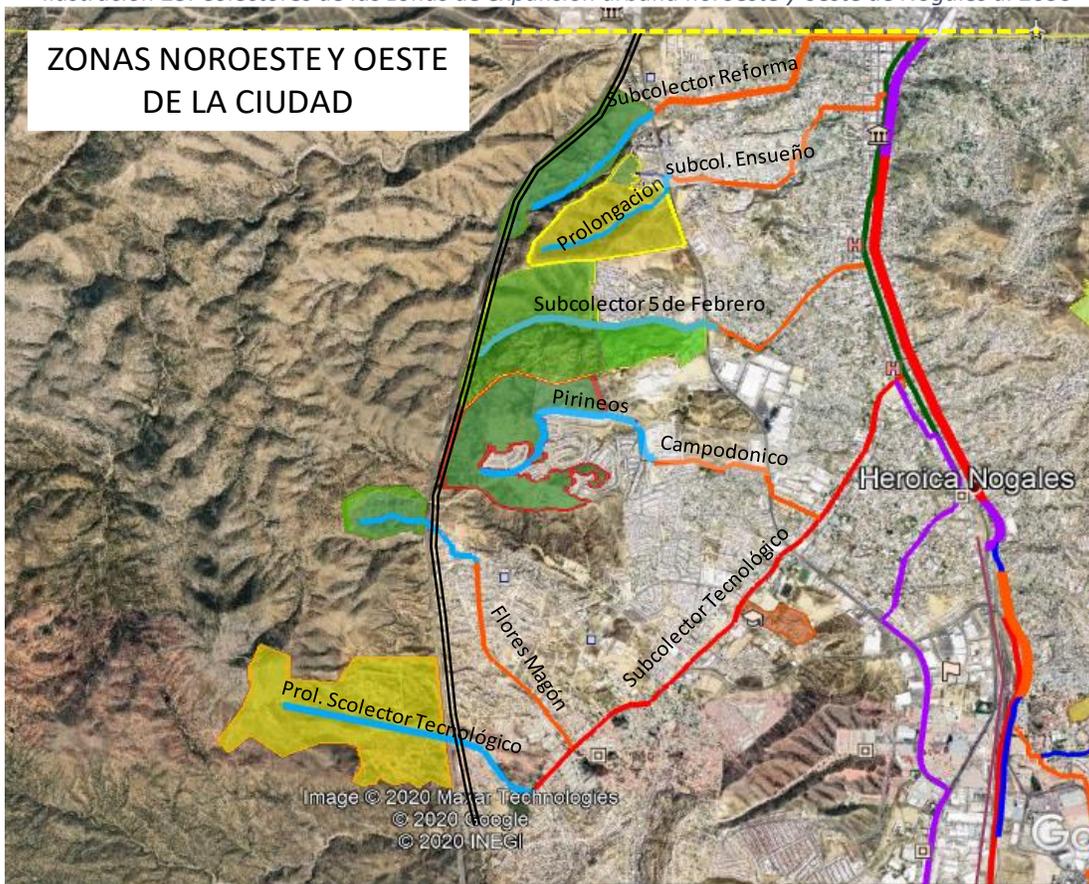
Esta es una zona de la ciudad que es contigua al desarrollo urbano de los últimos años; una parte se ubica entre la carretera 15D y el área del centro, que colinda con la línea fronteriza; se ha venido desarrollando lentamente pero se va conformando un área en proceso de urbanización con trazo de calles y construcción de viviendas que en el corto y mediano plazos requerirá interconectarse, mediante la prolongación respectiva, a los subcolectores existentes en el área, como son: Reforma, Ensueño, y 5 de Febrero, los cuales descargan las aguas residuales hacia la franja fronteriza a través del emisor Internacional.

Otra parte de la zona se interconectará a los subcolectores que se agregan al subcolector Tecnológico, y los caudales podrán en parte ser enviados para tratamiento a la PTAR Los Alisos, una vez que se tenga capacidad de tratamiento. Los subcolectores a los que se hace referencia son: Pirineos Campodónico, Flores Magón y el propio subcolector Tecnológico.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 23. Colectores de las zonas de expansión urbana noroeste y oeste de Nogales al 2050



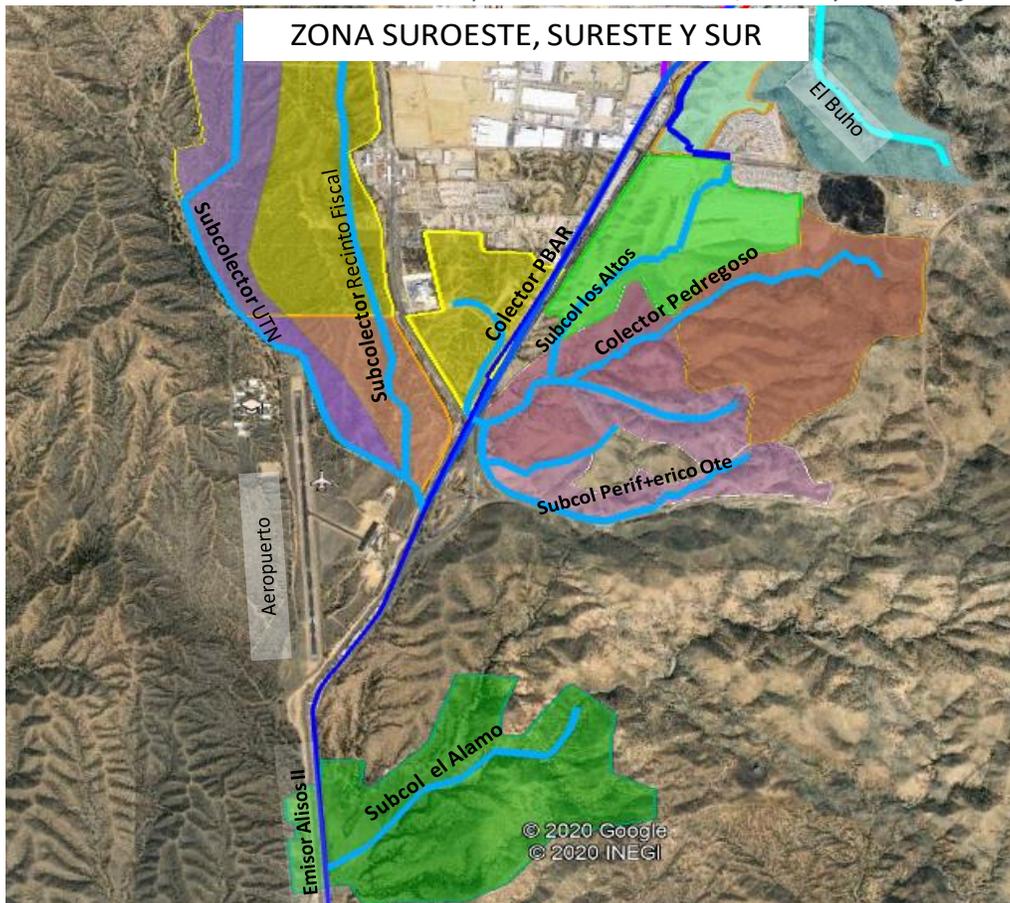
Fuente: elaboración propia

Tabla 44. Localización de colectores en las zonas de expansión urbana noroeste y oeste al año 2050, Nogales, Son.

Colector/Subcolector/ Emisor	D plg	L (km)	CRITERIO DE IMPACTO						PTS	PERIODO DE EJECUCIÓN	
			1	2	3	4	5	6			
PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR REFORMA	18	1.21	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	1.7	2022	2024
PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR ENSUEÑO	18	0.29	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	1.7	2022	2024
PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR 5 DE FEBRERO	18	0.55	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	1.7	2022	2024
PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR LOS PIRINEOS- RODOLFO CAMPODÓNICO	18	1.96	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	1.7	2022	2024
PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR RICARDO FLORES MAGÓN-LAGO PLATA	18	1.10	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	1.7	2022	2024
PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR TECNOLÓGICO	18	2.05	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	1.7	2022	2024

Fuente: elaboración propia

Ilustración 24. Colectores de las zonas de expansión urbana suroeste, sureste y sur de Nogales al 2050



Fuente: elaboración propia

Tabla 45. Colectores de las zonas de expansión urbana suroeste, sureste y sur al año 2050, Nogales, Son

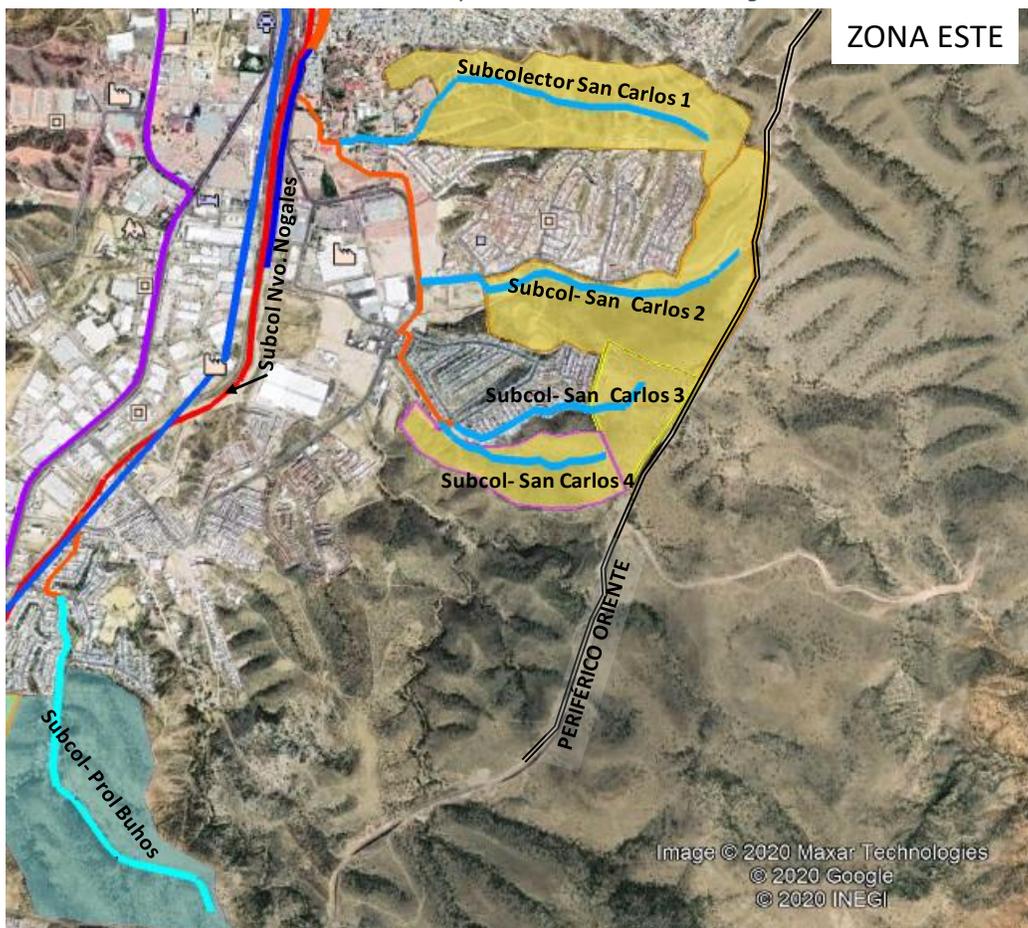
Colector/Subcolector/ Emisor	Diám (plg)	Long (km)	CRITERIO DE IMPACTO						PTS	PERIODO DE EJECUCIÓN	
			1	2	3	4	5	6			
EMISOR PBAR	24	6.58	0.3	0.3	0.25	0.25	0.3	0.3	1.7	2022	2024
SUBCOLECTOR RECINTO FISCAL	18	3.01	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.2	2031	2050
COLECTOR UTN-AEROPUERTO	20	3.98	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.2	2031	2050
SUBOLECTOR LOS ALTOS	18	1.78	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.2	2031	2050
SUBCOLECTOR PERIFÉRICO ORIENTE A	18	0.94	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.2	2031	2050
COLECTOR PERIFÉRICO ORIENTE	20	2.17	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.2	2031	2050
SUBCOLECTOR PEDREGOSO	18	1.07	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.2	2031	2050
COLECTOR PEDREGOSO	20	3.07	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.2	2031	2050
SUBCOLECTOR EL ÁLAMO	18	2.05	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.2	2031	2050
COLECTOR LOS ALISOS II	42	15.22	0.3	0.3	0.25	0.25	0.3	0.3	1.7	2022	2024

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 25. Colectores de la zona de expansión urbana este de Nogales al año 2050



Fuente: elaboración propia

Tabla 46. Colectores de la zona de expansión urbana este al año 2050, Nogales, Son

Colector/Subcolector/ Emisor	Diam (plg)	Long (km)	CRITERIO DE IMPACTO						PTS	PERIODO DE EJECUCIÓN	
			1	2	3	4	5	6			
SUBCOLECTOR UNISON (EXISTENTE)	18	1.34	0.30	0.3	0.25	0.25	0.2	0.2	1.5	2025	2030
PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR BÚHOS	18	1.93	0.30	0.3	0.25	0.25	0.2	0.2	1.5	2025	2030
SUBCOLECTOR SAN CARLOS 1	18	1.97	0.30	0.3	0.25	0.25	0.2	0.2	1.5	2025	2030
SUBCOLECTOR SAN CARLOS 2	18	1.65	0.30	0.3	0.25	0.25	0.2	0.2	1.5	2025	2030
SUBCOLECTOR SAN CARLOS 3	18	1.03	0.30	0.3	0.25	0.25	0.2	0.2	1.5	2025	2030
SUBCOLECTOR SAN CARLOS 4	20	0.87	0.30	0.3	0.25	0.25	0.2	0.2	1.5	2025	2030
COLECTOR PEÑITAS	18	1.82	0.30	0.3	0.25	0.25	0.2	0.2	1.5	2025	2030
COLECTOR P. DE ANZA	18	2.71	0.30	0.3	0.25	0.25	0.2	0.2	1.5	2025	2030
COLECTOR MASCAREÑAS	18	1.31	0.30	0.3	0.25	0.25	0.2	0.2	1.5	2025	2030

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

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 de 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 pasando por el sureste, sur y un poco hacia el suroeste, y corresponde al área de captación de aguas residuales que serán transportadas a la PTAR Arenitas.

Gastos de diseño

Para el cálculo de los gastos de diseño en las redes de alcantarillado, de acuerdo con el MAPAS¹, 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 ningún 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 calcularlo 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:

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

donde:

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

¹ Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de CONAGUA.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

A_p es la aportación en litros por habitante al día.

P es la población en número de habitantes.

86 400 son el número de segundos al día.

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

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

donde:

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

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

A .- es el área de la zona.

86 400 son el número de segundos al día.

Gasto máximo instantáneo

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

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

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

dónde:

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

Gasto máximo extraordinario

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

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

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

C_s es el coeficiente de seguridad adoptado.

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



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

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

MATERIAL	DIAMETRO (rango mm)	VENTAJAS	INCONVENIENTES
MATERIALES EN CONDUCTOS RIGIDOS			
Concreto	En masa: 300 - 400 Armado sin camisa: 500 - 5000	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. Los vertidos a altas temperaturas, son
Asbesto cemento	Clases 1,500, 2,400 y 3,300: Clases 4,000, y 5,000: 250 mm - 1,067	Tienen la durabilidad del concreto Pesan mucho menos que el concreto Amplia variedad de clasificación de sus	Detrioros en entornos corrosivos de sulfuro de hidrógeno Detrioros en entornos de aguas residuales ácidas

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 48. Características de diferentes tipos de tuberías rígidas (ventajas e inconvenientes para su uso)

MATERIAL	DIAMETRO (rango mm)	VENTAJAS	INCONVENIENTES
MATERIALES EN CONDUCTOS FLEXIBLES			
Fundición dúctil	80 -1200	Alta resistencia a la presión interior Buenas para estanquedad Lisas	Sensibles a la corrosión por ácidos Proteger mediante revestimientos interiores y exteriores
Hierro dúctil	75 - 1370	Gran resistencia para soportar cargas externas Alto grado de dureza y ductilidad, adecuado para la mayoría de 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 estandar y en situaciones de de corrosión extrema pudiera requerirse una protección de
Plástico	PVC-U: 110 - 1000 PVC-U Estructurado: hasta 1500 mm PE:	Ligeros Económicos Baja rugosidad Flexibles No favorecen el desarrollo de hongos y algas.	Prestaciones mecánicas menor las de hormigón y metálicos Alto coeficiente de dilatación térmica Envejecimiento (50 años de vida útil aproximadamente)
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 son de alto peso molecular y proporcionan una excelente resistencia a los agentes químicos, por lo que no se ven alteradas ante la presencia de terrenos corrosivos, terrenos ácidos con bajo nivel de pH o alto contenido en sulfatos.

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

Trazo general de las líneas de tuberías

De conformidad con las recomendaciones de la CONAGUA, el trazo de los tramos de tuberías entre pozos de visita, deberán diseñarse en línea recta. Las tuberías no deben cruzar lotes o terrenos particulares. No se acepta la colocación de tubería de drenaje por banquetas o camellones, dado lo complicado de las labores de mantenimiento y limpieza. En todas las calles con anchos mayores de 12 m y 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



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

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 acepta de 1.00 a 1.50.
- La plantilla apisonada sobre la que se asienta la tubería de drenaje podrá tener diferentes espesores en función de su diámetro. Nunca será menor de 10 cm de espesor. La plantilla para las tuberías de drenaje sanitario será de arena o tepetate fino. Para casos especiales podrá ser de gravilla. Las tuberías deberán quedar perfectamente sentadas sobre la plantilla para evitar fracturas. Las tuberías deben quedar perfectamente alineadas, tanto en lo horizontal como en lo vertical. La tubería se colocará con la campana hacia aguas arriba y se empezará su colocación de aguas abajo hacia aguas arriba.

Dimensionamiento de conductos

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

La condición básica 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 siguiente se muestra el cálculo de caudales medio, máximo instantáneo y máximo extraordinario, así como la revisión de capacidad por tubería, considerando la acumulación de volúmenes en su concentración hasta la respectiva planta de bombeo y emisor correspondiente.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 49. Cálculos hidráulicos y revisión de la capacidad

ZONA	NOMBRE	Longitud (m)	diámetro pulg	Capacidad (l/s)	s	QMED (l/s)	QMAXINST (l/s)	QMAXEXT (l/s)	CONDICION
LA-1	ACUMULADOS COLECTOR UTN-AEROPUERTO		20	263.818	0.004	37.78	82.73	124.10	CUMPLE SUPERAVIT
	SUBCOLECTOR RECINTO FISCAL	1872	18	199.198	0.004	16.56	36.27	54.40	CUMPLE SUPERAVIT
	SUBCOLECTOR RECINTO FISCAL	1141	18	199.198	0.004	6.65	14.56	21.84	CUMPLE SUPERAVIT
	COLECTOR UTN-AEROPUERTO	2166	20	263.818	0.004	11.45	25.08	37.62	CUMPLE SUPERAVIT
	COLECTOR UTN-AEROPUERTO	1812	20	263.818	0.004	3.12	6.82	10.23	CUMPLE SUPERAVIT
LA-2	SUBCOLECTOR LOS ALTOS	1778	18	199.198	0.004	8.52	18.66	27.98	CUMPLE SUPERAVIT
LA-3	COLECTOR PEDREGOSO		20	417.132	0.010	38.48	84.27	126.41	CUMPLE SUPERAVIT
	SUBCOLECTOR PERIFERICO ORIENTE A	940	18	199.198	0.004	1.86	4.08	6.12	CUMPLE SUPERAVIT
	COLECTOR PERIFERICO ORIENTE	2165	20	263.818	0.004	6.42	14.06	21.09	CUMPLE SUPERAVIT
	SUBCOLECTOR PEDREGOSO	1075	18	199.198	0.004	5.12	11.22	16.83	CUMPLE SUPERAVIT
	COLECTOR PEDREGOSO_US (B)	1465	20	263.818	0.004	17.63	38.62	57.92	CUMPLE SUPERAVIT
	COLECTOR PEDREGOSO_MS (A)	842	20	263.818	0.004	5.10	11.17	16.75	CUMPLE SUPERAVIT
	COLECTOR PEDREGOSO_DS	764	20	263.818	0.004	2.34	5.13	7.69	CUMPLE SUPERAVIT
LA-4	SUBCOLECTOR EL ALAMO	2051	18	199.198	0.004	21.77	47.68	71.52	CUMPLE SUPERAVIT
PBAR-2	EMISOR PBAR-2	6580	24	830.748	0.015	250.00	328.50	492.75	CUMPLE SUPERAVIT
	COLECTOR LOS ALISOS II	15220	42	606.693	0.008	256.55	561.84	842.76	CUMPLE SUPERAVIT
RR-1	ACUMULADOS		18	199.198	0.004	28.38	62.15	93.22	CUMPLE SUPERAVIT
	PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR REFORMA	1209	18	199.198	0.004	3.05	6.68	10.02	CUMPLE SUPERAVIT
	PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR ENSUEÑO	289	18	199.198	0.004	0.39	0.84	1.27	CUMPLE SUPERAVIT
	PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR 5 DE FEBRERO	550	18	199.198	0.004	2.45	5.37	8.06	CUMPLE SUPERAVIT
	PROL. SUBCOL. PIRINEOS-RODOLFO CAMPODONICO	1960	18	199.198	0.004	7.42	16.25	24.38	CUMPLE SUPERAVIT
	PROL- SUBCOL. RICARDO FLORES MAGON-LAGO PLATA	1102	18	199.198	0.004	1.22	2.68	4.02	CUMPLE SUPERAVIT
	PROLONGACION SUBCOLECTOR TECNOLOGICO	2046	18	199.198	0.004	13.84	30.32	45.47	CUMPLE SUPERAVIT
RR-2			18	199.198	0.004	15.30	33.51	50.27	CUMPLE SUPERAVIT
	SUBCOLECTOR UNISON (EXISTENTE)	1335	18	199.198	0.004	4.86	10.64	15.96	CUMPLE SUPERAVIT
	PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR BUHOS	1934	18	199.198	0.004	10.44	22.87	34.31	CUMPLE SUPERAVIT
RR-3			18	199.198	0.004	21.32	46.70	70.04	CUMPLE SUPERAVIT
	SUBCOLECTOR SAN CARLOS 1	1968	18	199.198	0.004	8.04	17.61	26.42	CUMPLE SUPERAVIT
	SUBCOLECTOR SAN CARLOS 2	1649	18	199.198	0.004	7.59	16.63	24.94	CUMPLE SUPERAVIT
	SUBCOLECTOR SAN CARLOS 3	1025	18	199.198	0.004	2.40	5.27	7.90	CUMPLE SUPERAVIT
	SUBCOLECTOR SAN CARLOS 4	873	20	263.818	0.004	3.28	7.19	10.78	CUMPLE SUPERAVIT
ZO-1	COLECTOR PEÑITAS	1,821	18	199.198	0.004	3.39	7.43	11.14	CUMPLE SUPERAVIT
ZO-2	COLECTOR PUERTA DE ANZA	2,712	18	199.198	0.004	6.04	13.23	19.84	CUMPLE SUPERAVIT
			18	199.198	0.004	1.08	2.37	3.56	CUMPLE SUPERAVIT
			18	199.198	0.004	0.94	2.07	3.10	CUMPLE SUPERAVIT
			18	199.198	0.004	0.73	1.60	2.40	CUMPLE SUPERAVIT
			18	281.708	0.008	3.28	7.19	10.78	CUMPLE SUPERAVIT
ZO-3	COLECTOR MASCAREÑAS	1306.9232	18	243.966	0.006	7.16	15.67	23.51	CUMPLE SUPERAVIT

Fuente: elaboración propia

3.2.2 Dimensionamiento de alternativas para plantas de bombeo principales

Con el objetivo de enviar más volúmenes de aguas residuales incorporadas a los colectores, y que provienen de las nuevas zonas de crecimiento de la ciudad, se requerirá una planta de bombeo que permita aliviar (disminuir) los caudales enviados para tratamiento en la PITAR.

Se requiere, asimismo, construir un emisor que conduzca el agua al otro lado del parteaguas de la cuenca del arroyo Los Nogales, y que esta sea enviada a la zona de Los Alisos.

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 también de una planta de emergencia, ya que el bombeo de aguas residuales no debe suspenderse al faltar el suministro eléctrico, por lo que debe tomarse en cuenta y considerar los espacios suficientes tanto para dicha planta, como para la instalación eléctrica adecuada, como el interruptor de transferencia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

cuya función es 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, tales como:

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

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

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

Cárcamo de bombeo

El cárcamo es, en general, la estructura receptora de uno o más colectores de la red sanitaria, 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.

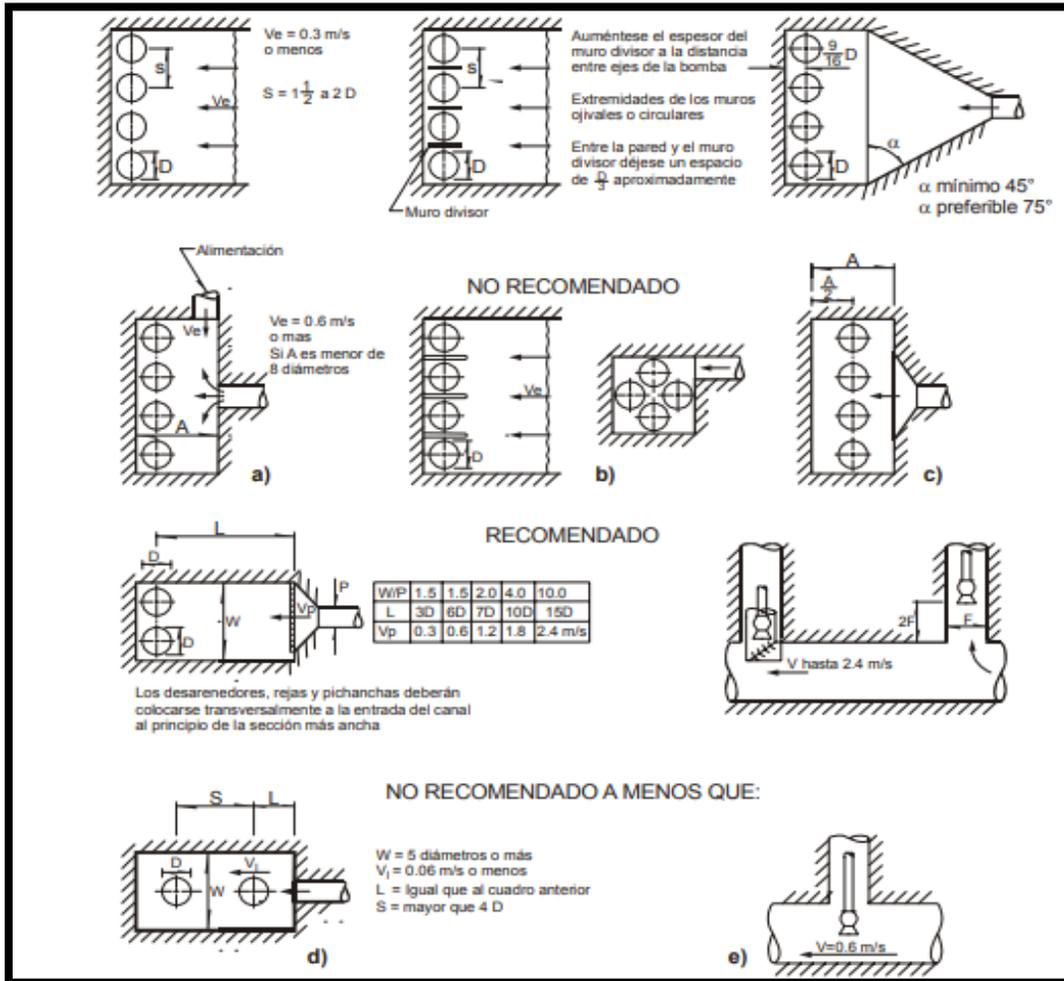
Las secciones más empleadas son las cuadradas y rectangulares, ya que permiten una mejor utilización del espacio y una fácil separación entre la cámara de bombeo y la seca. Sin embargo, en cárcamos profundos el empleo de secciones circulares conviene, pues son más resistentes a las sobrecargas que las 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 el efluente. Es decir, el agua de llenado debe estar en equilibrio con el agua de vaciado mediante las bombas, además de tomar en cuenta los gastos máximos de los alimentadores para la selección de los equipos de bombeo.

Para el diseño del cárcamo se recomienda que el agua llegue con baja velocidad, con flujo recto y uniforme (ilustración 3.2), simultáneamente a todas las bombas. No se recomiendan cambios bruscos en el tubo de succión, en el cárcamo y en el tubo de alimentación (Ilustración 26.).

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 (Ilustración 26.).

Ilustración 26. Recomendaciones para cárcamos de bombeo



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

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.

Opciones 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 compartimentos; en uno se contiene el agua y es contiguo e independiente de los equipos de bombeo; si la forma es circular el anillo exterior corresponde al cárcamo húmedo y el interior corresponde al cárcamo seco y es dónde se alojan los equipos de bombeo.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Algunas de las ventajas 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; deberán tomarse en cuenta las capacidades de las bombas para los gastos mínimo y menor 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 se requiera. Cargas de bombeo. Deberá obtenerse y analizarse la información relacionada con la Carga Dinámica Total (CDT): alturas de succión y descargas 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.

Motores eléctricos

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

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

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



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

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.

Comparación y dimensionamiento de alternativas

Para conducir el agua captada en el colector Ruíz Cortines, y enviarla a la zona sur, a la planta de tratamiento Los Alisos, una vez ampliada, se propone construir y equipar una nueva planta de bombeo con capacidad hasta de 492 l/s, de la que partiría un emisor de 60 cm (24 pulgadas), hasta el sitio de una caja rompedora de presión.

Se propusieron tres alternativas para ubicación de la planta de bombeo N° 2, todas sobre la avenida Álvaro Obregón que va paralela al colector Ruíz Cortines, que es el conducto que recibe las aportaciones de una zona bastante importante por la superficie que cubre, y es de dónde es factible incrementar los caudales de aguas residuales a enviar a la PTAR Los Alisos y poder así disminuir los caudales que se envían a la planta internacional.

Las alternativas consideradas para ubicar la planta de bombeo N° 2 en los tres sitios, se comparan a continuación:

La alternativa 1, para ubicar la planta de bombeo N°2 en la avenida Olimpia y Álvaro Obregón; es un sitio en el cual es factible interceptar un caudal medio de 199.43 l/s, y tiene los siguientes costos:

Tabla 50. Alternativa 1 para planta de bombeo N° 2, avenida Olimpia

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (mdp)	IMPORTE (mdp)
Terreno	Lote	1	2.00	2.00
Instalaciones electromecánicas	Lote	1	6.00	6.00
Instalaciones eléctricas y de control	Lote	1	5.00	5.00
Estructura del cárcamo	Lote	1	3.00	3.00
Edificios	Lote	1	2.00	2.00
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	0.30	0.30
Obras complementarias	Lote	1	1.50	1.50
				21.60
L= 150 m; línea de intercepción e interconexión (ancho vialidad+ vía ffcc= 40 m) 20m de desnivel	Lote	1	3.00	3.00
Costo de inversión				24.60
Operación y mantenimiento anual	Lote	1		5.17

Fuente: elaboración propia

La alternativa 2, para ubicar la planta de bombeo N° 2, es la avenida Corinto y Álvaro Obregón; es un sitio en el que es factible interceptar 250.99 l/s, y tiene los siguientes costos:

Tabla 51. Alternativa 2 para planta de bombeo N° 2, avenida Corinto

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (mdp)	IMPORTE (mdp)
Terreno	Lote	1	2.00	2.00
Instalaciones electromecánicas	Lote	1	6.00	6.00
Instalaciones eléctricas y de control	Lote	1	5.00	5.00



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (mdp)	IMPORTE (mdp)
Estructura del cárcamo	Lote	1	3.50	3.50
Edificios	Lote	1	2.00	2.00
Rejilla y desarenador	Equipo	1	1.00	1.00
Grúas, polipasto y marco de izaje	Lote	1	0.50	0.50
Estructura de llegada	Estructura	1	1.00	1.00
Líneas de interconexión	Lote	1	0.30	0.30
Obras complementarias	Lote	1	1.50	1.50
Costo de inversión				22.80
L= 150 m; línea de intercepción e interconexión (ancho vialidad+ vía fcc= 90 m, 20m de desnivel)	Lote	1	5.50	5.50
			Total	28.30
Operación y mantenimiento anual	Lote	1		4.61

Fuente: elaboración propia

La alternativa 3, para ubicar la planta de bombeo N° 2, es en la avenida John F. Kennedy y Álvaro Obregón, sitio en el que es factible interceptar un caudal medio de 264 l/s, y tiene los siguientes costos:

Tabla 52. Alternativa 3 para planta de bombeo 3, avenida John F. Kennedy

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (mdp)	IMPORTE (mdp)
Terreno	Lote	1	2.00	2.00
Instalaciones electromecánicas	Lote	1	6.00	6.00
Instalaciones eléctricas y de control	Lote	1	5.00	5.00
Estructura del cárcamo	Lote	1	3.50	3.50
Edificios	Lote	1	2.00	2.00
Rejilla y desarenador	Equipo	1	1.00	1.00
Grúas, polipasto y marco de izaje	Lote	1	0.50	0.50
Estructura de llegada	Estructura	1	0.40	0.40
Líneas de interconexión	Lote	1	0.30	0.30
Obras complementarias	Lote	1	1.50	1.50
			Total	22.20
L= 230 m; línea de intercepción e interconexión ((ancho vialidad+ vía ferrocarril= 50) m	Lote	1	3.50	3.50
Costo de inversión			Total	25.70
Operación y mantenimiento anual	Lote	1		5.57

Fuente: elaboración propia

Comparación de alternativas:

Tabla 53. Comparación de alternativas para planta de bombeo N° 2

Concepto de comparación	Alternativa de PBAR-2		
	1 (Olimpia)	2 (Corinto)	3 (J F Kennedy)
Costo inversión (millones de pesos)	24.60	28.30	25.70
Operación y mantenimiento anual			5.57
Longitud de interconexión al colector (m)	150	150	230
Caudal máximo interceptado actual (l/s)	177.37	228.93	264.17
Caudal adicional interceptado futuro (l/s)	22.06	22.06	51.73
Caudal total al año 2050	199.43	250.99	315.9
Carga estática (m)	92	70	100
Longitud emisor (km)	6.3	6.75	6.58

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

En este caso se busca captar el mayor volumen de aguas residuales, por lo que, por ubicación, la alternativa que presenta la mejor opción, desde el punto de vista de caudales interceptados, es la alternativa 3.

Tabla 54. Dimensionamiento de la PBAR 2 – Alternativa 2

PBAR-2 (ALTERNATIVA 2, CALLE JOHN F. KENNEDY)						
Conducto	EMISOR ALISOS II					
Material del tubo	PVC			PEAD		
Caudales	Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)	Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)
		250.00	328.50	492.00	1,291.15	2,801.79
Carga estática (m)	100					
Carga dinámica (m)	105.29	109.1	120.48	109.40	116.10	136.41
Potencia requerida (hp)	507.96	690.59	1,143.91	527.81	735.82	1,245.14

Fuente: elaboración propia

3.2.3 Dimensionamiento de alternativas para plantas de tratamiento

Como ya se mencionó, la demanda de capacidad de tratamiento al año 2050 es de 1648 l/s, y actualmente se cuenta con una capacidad de 729; con las ampliaciones previstas a corto plazo, se contaría con 1154 l/s de capacidad de tratamiento, por lo que se requiere construir una nueva planta de aproximadamente 500 l/s, la cual podría edificarse en los terrenos de la PTAR Los Alisos, que cuenta con un terreno de casi 40 hectáreas y sólo se ocupan alrededor de 4 ha, entre el campo fotovoltaico y la planta de tratamiento, incluyendo todas sus instalaciones.

Como se describió en el subcapítulo 3.1.3, el incremento de capacidad para el corto y mediano plazo depende de las siguientes alternativas:

1.- Equipar el tercer módulo de la PTAR Los Alisos, que cuenta con la obra civil y sólo falta equiparla para disponer de 110 l/s adicionales a la capacidad actual.

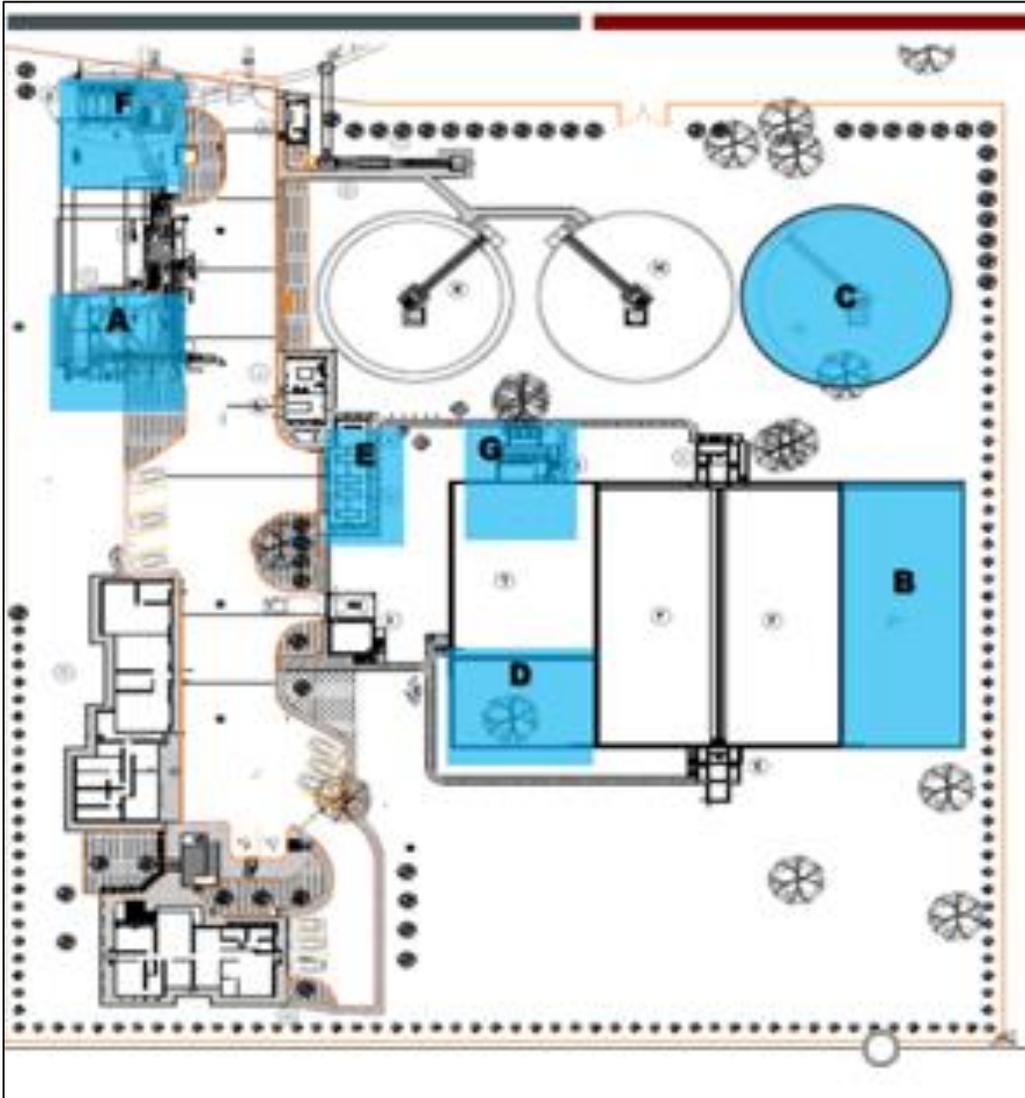
El equipamiento requerido para el tercer módulo, de 110 l/s de la planta Los Alisos, consiste en lo siguiente:

Tabla 55. Equipamiento del tercer módulo de 110 l/s de la PTAR Los Alisos

REQUERIMIENTO DEL PROCESO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPAMIENTO
A Pretratamiento	Suministro e instalación del equipo del sistema desarenador
B Equipamiento del tercer reactor	Suministro e instalación del sistema de inyección de aire en tanques
C Equipamiento del tercer clarificador	Suministro e instalación de mecanismo clarificador secundario, incluyendo tuberías de conexión
D Equipamiento de digestor	Suministro e instalación del sistema de inyección y distribución de aire
E Sistema de sopladores	Instalación de un tercer equipo de sopladores para aumentar la capacidad de inyección de aire
F Equipamiento del cárcamo de llegada	Suministro e instalación de un equipo de bombeo
G Equipamiento del cárcamo de retorno	Suministro e instalación de bomba sumergible para bombeo de lodos

Elaboración propia con información del OOMAPAS Nogales

Ilustración 27. Diagrama de instalaciones a equipar en el tercer módulo de la PTAR Los Alisos



Fuente: OOMAPAS Nogales

La inversión requerida para este equipamiento es de 34.62 mdp.

Rehabilitar y ampliar la PTAR de La Mesa, ya que liberaría 70 l/s a la PTAR Los Alisos, pues se ubica muy cerca de esta y es relativamente sencillo construir las interconexiones.

Esta PTAR se encuentra construida y operó durante un corto tiempo; estaba equipada para 30 l/s de capacidad de tratamiento, pero dejó de operar porque carecía de permiso de descarga y fue clausurada por la CONAGUA. Ahora ya tiene el citado permiso, pero está dañada y le falta equipamiento. Puede equiparse hasta para 70 l/s.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Una vez realizado el equipamiento de la segunda etapa de la PTAR Los Alisos, esta planta tendría capacidad para tratar 330 l/s, con lo que la acción de rehabilitar esta PTAR permitiría contar con una capacidad de tratamiento de 400 l/s en el área sur de la ciudad.

Esta rehabilitación y ampliación con equipamiento para 70 l/s, juntamente con las obras necesarias para aprovechar la capacidad de la planta, se estima en 30 mdp.

Sin estas acciones no se avanzará en el incremento de capacidad en el corto plazo, lo que compromete la capacidad de tratamiento de la PITAR de Nogales, Arizona.

Adicionar un cuarto módulo de 110 l/s a la PTAR Los Alisos, como lo propone el OOMAPAS Nogales, lo cual está sujeto a realizar adecuaciones a la planta, ya que el diseño original sólo considera tres módulos de 110 l/s, cada uno. De concretarse este proyecto, la planta tendría capacidad de 440 l/s.

El manual de operación, volumen II de la PTAR Los Alisos, señala los siguientes datos de diseño de las instalaciones de la planta, por lo que es factible que esta pudiera soportar un cuarto módulo:

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Los Alisos” en Nogales, SO, fue construida en la primera etapa para tratar un flujo medio de aguas residuales de 220 l/s, pero su diseño fue realizado para un flujo medio de 330 l/s.

Tabla 56. Flujos de aguas residuales utilizados para el diseño de las instalaciones de la PTAR

Flujo medio de diseño 1ra etapa =	220	lps
Flujo mínimo 1ra etapa =	110	lps
Flujo máximo de diseño 1ra etapa =	396	lps
Flujo máximo extraordinario 1ra etapa =	594	lps
Flujo medio de diseño 2da etapa =	330	lps
Flujo máximo de diseño 2da etapa =	594	lps
Flujo máximo extraordinario 2da etapa =	891	lps

Fuente: elaboración propia

El costo de inversión para agregar un cuarto módulo de 110 l/s en la PTAR Los Alisos, se estima en 45 mdp.

Para las zonas identificadas, que aún no disponen del servicio de alcantarillado, como es el caso de la colonia Colinas del Sol, se requiere construir una pequeña planta de tratamiento que se identifica como Peñitas, ya que la zona se ubica en un sector difícil de conectar a la red de alcantarillado existente.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

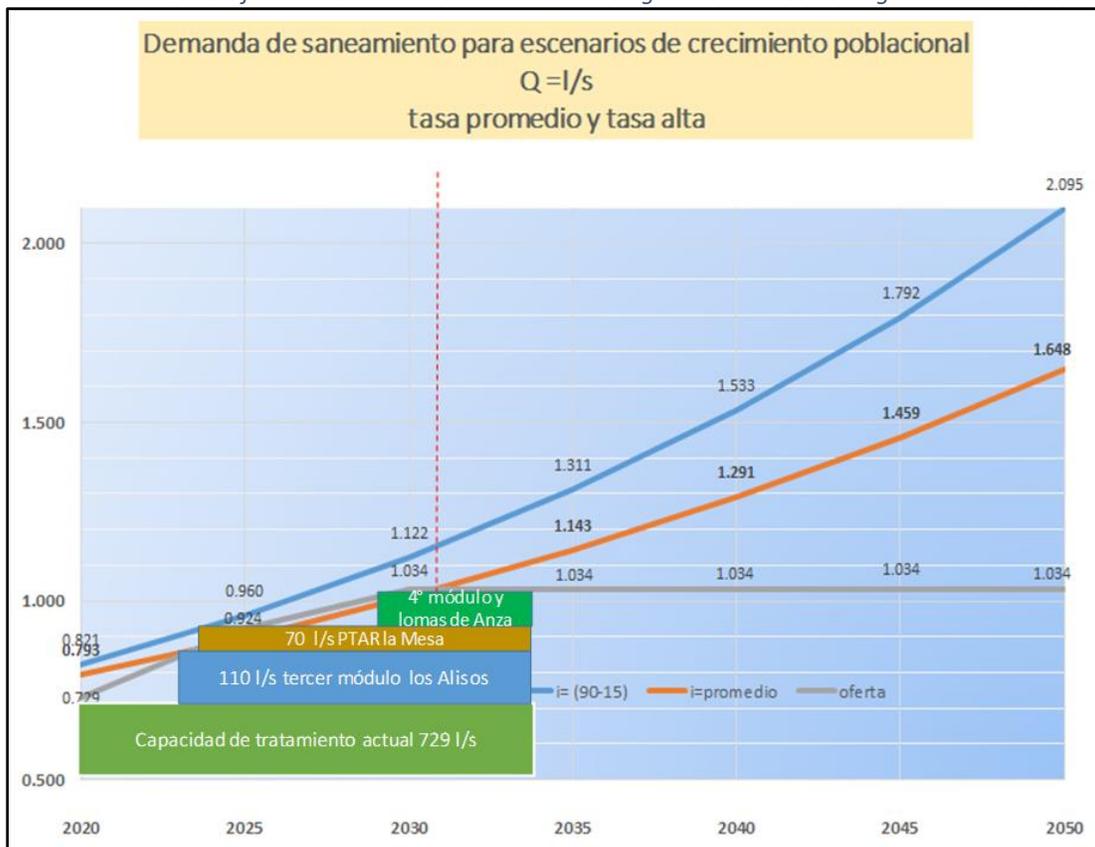
Realizar la ampliación de la PTAR Puerta de Anza, para transferir caudales de la PTAR Lomas del Sol a la PTAR Puerta de Anza y dar el servicio a las áreas de crecimiento del sector oriente.

La planta de Puerta de Anza tiene construidos 12 módulos de 15 l/s, cada uno, y actualmente están equipados tres de ellos. Se propone equipar en el corto plazo otro módulo de 15 l/s, para incrementar a 60 l/s; en el largo plazo podría equiparse hasta los 180 l/s para dar servicio al sector oriente, fuera de la cuenca del arroyo Los Nogales.

De concretarse las ampliaciones identificadas para las plantas de tratamiento, se requiere una **PTAR adicional de 500 l/s de capacidad, para satisfacer la demanda de 1648 l/s al año 2050**. Con esto se tendría una capacidad total de tratamiento de 1654 l/s; es decir, 1154 l/s actuales, y 500 l/s adicionales de una nueva PTAR al sur de la ciudad.

El impacto de las acciones descritas se ilustra en la siguiente figura, en la que se observa que aun concretándose todas ellas, se requerirá incrementar la capacidad de tratamiento a partir del año 2030 con una nueva planta de tratamiento en el sur de la ciudad.

Ilustración 28. Gráfica de demanda de tratamiento de aguas residuales de Nogales al año 2050



Fuente: elaboración propia

Capacidad de tratamiento para atender el crecimiento de Nogales al 2050



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Es recomendable que las fuentes de financiamiento para operación y mantenimiento de la nueva PTAR de Nogales sean consideradas y garantizadas vía tarifa, o una fuente de ingresos alterna, antes de comenzar su construcción. Si el financiamiento para este rubro es insuficiente, las tecnologías de menor costo deben ser evaluadas y posiblemente incorporadas, al menos en una etapa inicial en el programa de inversiones.

La contribución de la planta al medioambiente debe verse no sólo como una mejora de la calidad del agua en el cuerpo receptor, sino también como un beneficio asociado con la reutilización del agua (ej., sustitución de fuentes alternativas), generación de energía del biogás y el uso de bio sólidos como fertilizantes (ej., sustitución de fertilizantes sintéticos).

El análisis y la selección de los procesos es uno de los aspectos más importantes y difíciles en el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales. La selección adecuada del proceso de tratamiento no sólo garantizará que los requisitos de calidad del efluente final se cumplan, sino que además este sea viable desde un punto de vista operacional y económico. Por lo tanto, son varios los aspectos que deben considerarse para dicha selección; por ejemplo, los de tipo económico, operacional, requisitos de área, confiabilidad del proceso para alcanzar la calidad del efluente final, etcétera. Por otra parte, también es importante considerar factores adicionales a los procesos, como la generación de subproductos provenientes de estos, los cuales, en su mayoría, tienen un potencial de aprovechamiento que desde el inicio del proyecto deben ser tomados en cuenta.

Uno de los requisitos a evaluar es, sin duda, el área requerida, ya que existen alternativas de tratamiento secundario que necesitan largos tiempos de retención hidráulica y, por tanto, extensas áreas para su desarrollo. Es por ello por lo que este factor es evaluado dentro del análisis inicial de alternativas, con el fin de descartar tecnologías de tratamiento que no se ajusten al área disponible.

Para el caso de la ciudad de Nogales, la disponibilidad de espacios es reducida; la condición topográfica y la configuración del sistema limitan las opciones. Como ya se mencionó, se dispone de una superficie de alrededor de 35 hectáreas en la zona donde ya opera la PTAR Los Alisos, y la ciudad ha adquirido practica en un proceso de lodos activados convencional; hasta hoy la experiencia es que se han obtenido buenos resultados en el tratamiento de las aguas residuales que trata, por lo que la primera alternativa será considerar una planta similar en el proceso, pero ahora sería de mayor capacidad.

El proceso de tratamiento de aguas residuales con lodos activados es el más comúnmente utilizado en el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales. Es un proceso estable y con altas eficiencias de remoción de materia orgánica. Las modificaciones al proceso convencional son atractivas por su flexibilidad, sobre todo en la aceptación de cargas orgánicas variables. Es el sistema más utilizado en Estados Unidos, principalmente para plantas de gran capacidad. En México un gran porcentaje son plantas de tratamiento de lodos activados.

Para la ciudad de Nogales se propone, como primera alternativa, construir una planta de lodos activados y considerar alguna de las variantes que tenga como base el tratamiento con lodos activados, considerando la experiencia adquirida por el personal y la escasa disponibilidad de terrenos susceptibles de utilizar para la construcción de una nueva planta de tratamiento.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Algunas de las variaciones de tratamiento de aguas residuales con lodos activados se enlistan en la tabla 3.18.

Tabla 57. Ventajas y desventajas de algunas de las variaciones de la tecnología de lodos activados

TECNOLOGÍA/ VENTAJAS	DESVENTAJAS
Lodos activados convencionales. Son sistemas compactos que ocupan poca superficie. Muy baja concentración de sólidos suspendidos en el efluente (tratamiento secundario genera pocos sedimentos).	La temperatura ambiental afecta poco el rendimiento. Requiere tratamiento preliminar y sedimentación primaria. Alto consumo de energía eléctrica para aireación en tratamiento secundario. Alto costo de mantenimiento y operación. Requiere operadores calificados. Alta generación de lodos y costo elevado en etapa de tratamiento de lodos.
Lodos activados aireación extendida. Alta remoción de carga orgánica (tratamiento secundario eficiente). Tecnología probada y confiable. Poco consumo de productos químicos. Sólo para la etapa de desinfección.	Altos costos energéticos. Requiere alta calificación del operador para el manejo de la planta. Baja eficiencia en cuanto a la remoción de patógenos (tratamiento secundario no elimina muchas bacterias).
Zanjas de oxidación. Requerimientos operacionales reducidos y a bajos costos de operación y mantenimiento. Produce menos lodos que otros sistemas, debido a la extensa actividad biológica durante el proceso.	Pocos lodos en etapa de tratamiento de lodos. Las concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente son relativamente altas. Tratamiento secundario genera muchos sedimentos, comparado con variantes de lodos activados. Requiere una superficie de terreno mayor que otras tecnologías de lodos activados.

Elaboración propia

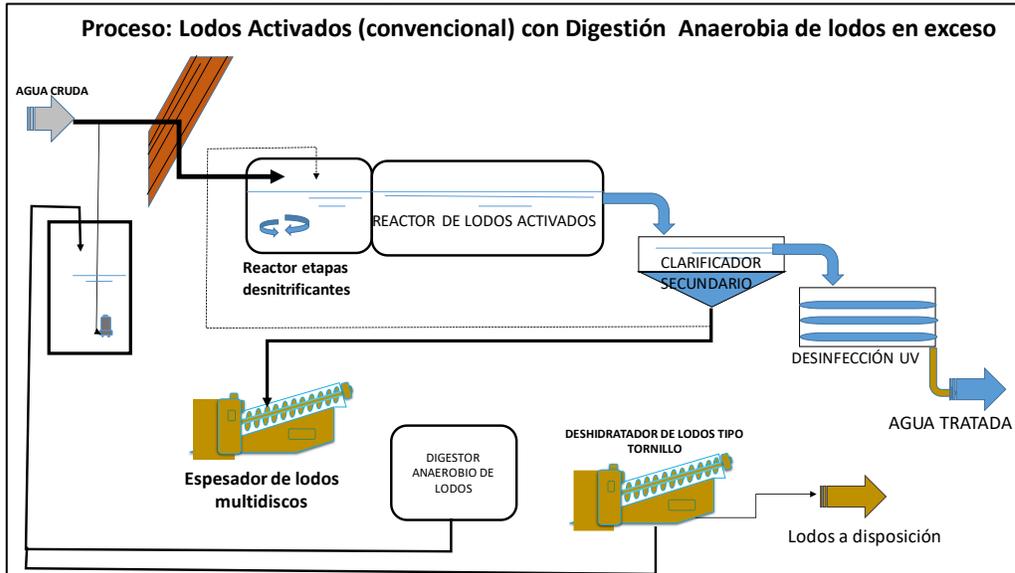
Las alternativas que se proponen, con base en un tratamiento de lodos activados, son una opción que considere dos módulos de 250 l/s, con lodos activados convencionales, o bien un tratamiento que considere un reactor de alta carga/baja carga

Tabla 58. Descripción de los procesos de una planta de tratamiento con base en lodos activados

Alternativa 1	Nombre de Principales Procesos
2 módulos de 250 l/s	+ Lodos activados (convencional) + Digestión anaerobia de lodos en exceso
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO	
Pretratamiento	Cribado fino a 3 mm mecanizado Desarenado-desengrasado aireado Clasificación de grasas y arenas.
Tratamiento primario	No aplica
Tratamiento secundario	Reactor de lodos activados en concreto armado Aireación por turbo sopladores y difusores tipo panel.
Desinfección	Sistema de luz UV de alta eficiencia.
Producción de energía	750 KW
Tratamiento de lodos	Espesado tipo volute Digestión anaerobia Desaguado tipo volute

Elaboración propia

Ilustración 29. Diagrama del proceso de tratamiento con base en lodos activados



Fuente: elaboración propia

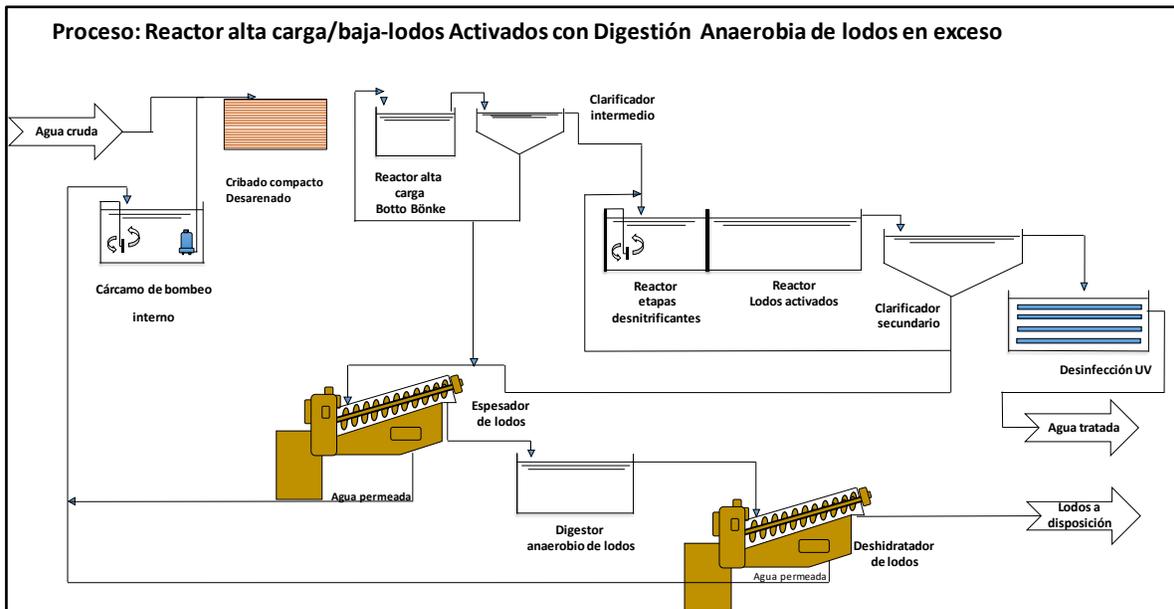
Una segunda opción, o alternativa 2, será utilizar lodos activados en alguna variante de alta, media o baja carga.

Tabla 59. Descripción de los procesos de una planta de tratamiento con base en lodos activados y reactor de alta carga/baja carga

Alternativa 2	Nombre de principales procesos
2	+ Reactor de alta carga/baja carga + Digestión anaerobia de lodos en exceso
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO	
Pretratamiento	Cribado fino a 3 mm mecanizado Desarenado-desengrasado aireado Clasificación de grasas y arenas.
Tratamiento primario	No aplica
Tratamiento secundario	Reactor de alta carga Reactor de lodos activados de baja carga Digestión anaerobia de lodos
Desinfección	Sistema de luz UV de alta eficiencia.
Producción de energía	2,000 KW
Tratamiento de lodos	Espesado tipo volute Digestión anaerobia Desaguado tipo volute

Fuente: elaboración propia

Ilustración 30. Diagrama de procesos; reactor de alta carga/baja-lodos activados con digestión anaerobia



Fuente: elaboración propia

En este segundo caso se propuso una alternativa de alta carga y lodos activados. La edad del lodo es menor a un día (0,25 a 0,5 días), la reducción de contaminación se debe únicamente al efecto contacto, por lo que los rendimientos no son muy elevados, alrededor del 60 % en eliminación de DBO₅, y 80 % en eliminación de SST. Debido a esto es frecuente su empleo como una primera etapa.

Como parte del proceso se instala un decantador como clarificador, y se pasa directamente a la siguiente etapa. Posteriormente se mejora calidad del efluente, en una segunda etapa de menor carga. Se usa para reducir contaminaciones altas por encima de 400-500 ppm en DBO₅, antes de entrar en el proceso biológico.

Los diferentes procesos se diferencian, fundamentalmente, en la edad del lodo; es decir, el tiempo que los microorganismos permanecen en el tratamiento. La depuración en estos procesos se debe a dos fenómenos diferenciados: contacto y estabilización. Precisamente el menor o mayor grado de estabilización se debe a un menor o mayor tiempo de permanencia en el depósito de lodos activados.

3.2.4 Dimensionamiento de alternativas para infraestructura para el reúso de agua

En una ciudad como Nogales, con una disponibilidad cada vez más limitada de agua potable, existe la necesidad de buscar nuevas fuentes de suministro de agua y una mejor gestión de los recursos. Las aguas residuales pueden ser entonces una opción para el uso eficiente de agua con beneficios adicionales.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

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

A reserva de que se estudien las opciones de reúso, mediante la metodología planteada en el subcapítulo 3.1.4, en el sentido de que se busquen los usuarios potenciales y se estudien las posibilidades, en una segunda fase, dependiendo del censo y características de los usuarios potenciales, derivará la calidad del efluente requerida y podrán determinarse los costos de tratamiento y traslado de las aguas regeneradas, así como los aspectos legales y administrativos que habrá que cumplir.

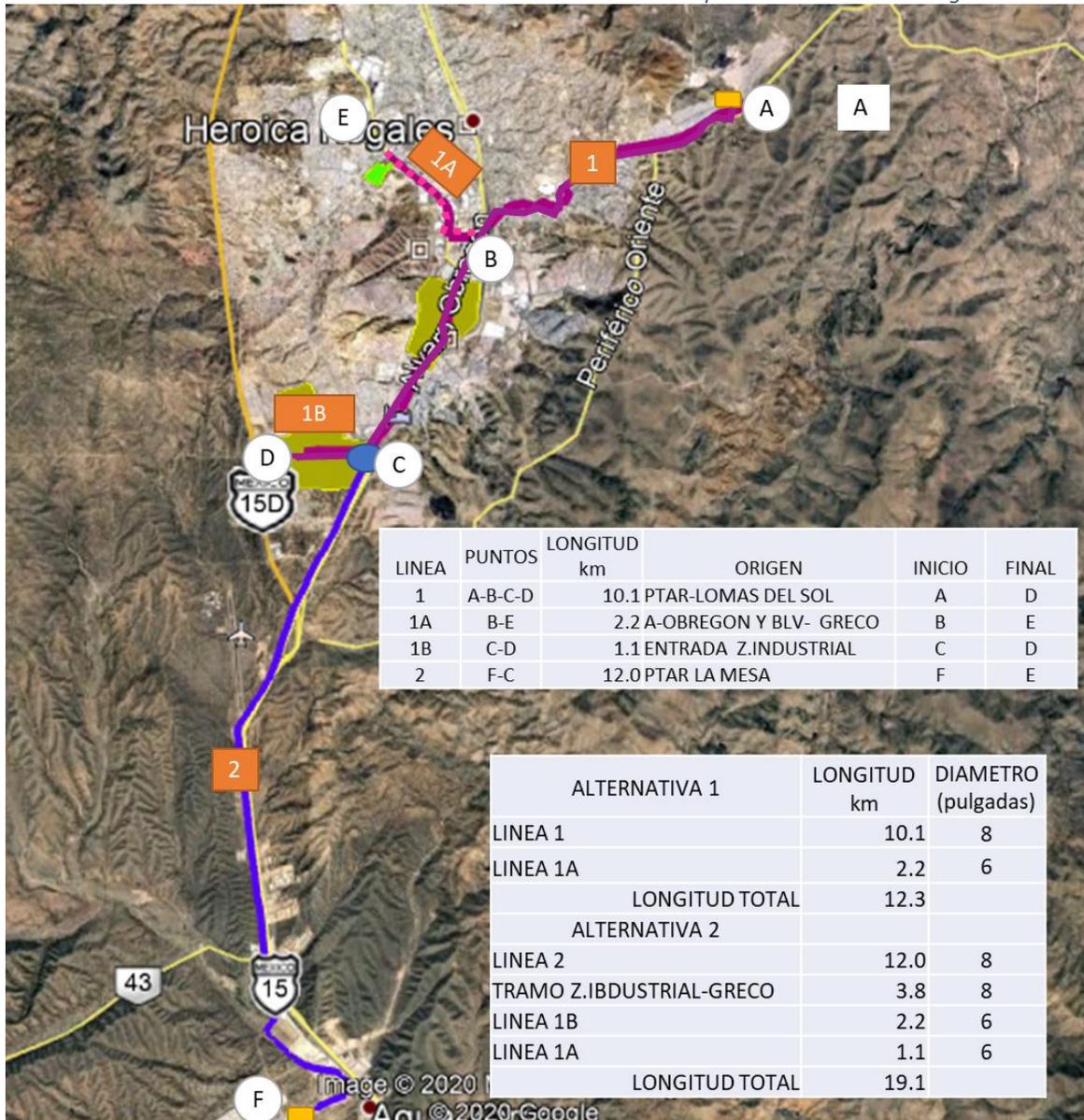
Concluidas estas fases de estudio y planeación, será necesario definir alternativas de tratamiento; escala de los proyectos; modulación, de ser requerida; redes de distribución; instalaciones especiales, como plantas de bombeo; financiamiento, y recuperación de inversiones.

Considerando el planteamiento para las alternativas, se observa lo siguiente:

La alternativa 1, que consiste en derivar aguas residuales tratadas de las PTAR Lomas del Sol y Puerta de Anza, ambas localizadas en el sector oriente de la ciudad, y que pudieran ser fuente de una línea morada para dotar de agua para diversos usos en parques, camellones, áreas comerciales y deportivas, hasta llegar a dos zonas industriales por la avenida Álvaro Obregón, requiere una línea morada de 8 pulgadas de diámetro, para conducir hasta 30 l/s; tendría un desarrollo de 12.1 km.

La alternativa 2, que consiste en derivar aguas residuales tratadas de la PTAR La Mesa, para conducir las hacia el norte hasta la misma zona de aprovechamiento potencial de la alternativa 1, tendría un desarrollo de 19.1 kilómetros, con una tubería principal de 20.32 cm (8 pulgadas) de diámetro y derivaciones de 15.6 cm (6 pulgadas) de diámetro.

Ilustración 31. Alternativas de localización de líneas moradas a partir de las PTAR de Nogales



Fuente: elaboración propia

3.2.5 Dimensionamiento de alternativas para infraestructura complementaria e instrumentación

Alternativas para el control de azolves en la cuenca del arroyo Tecnológico.

Como ya se describió, el arrastre de azolves, y su acumulación en los conductos de atarjeas y colectores, es un problema recurrente que mantiene la atención del OOMAPAS, pues provoca taponamientos, en algunos casos y, por otra parte, es causa de desgaste prematuro en los equipos de bombeo de la estación Estadio, por lo cual se pretende resolver esta problemática mediante la adquisición de equipo mecánico de desazolve, por una parte; y por otra parte, con medidas



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

estructurales en la cuenca y en la infraestructura de los colectores y la planta de bombeo. La magnitud del problema y las estructuras necesarias serán parte de los resultados del estudio de arrastre y sedimentación de azolves.

Alternativas de desazolve de conductos del alcantarillado en Nogales

Para el caso de los equipos de desazolve montado sobre camión, que el organismo operador plantea adquirir, se estima que se requieren tres de ellos con las siguientes características:

El camión deberá estar equipado con tanque de almacenamiento de lodos, resistente a la abrasión y corrosión, con capacidad mínima de cinco yardas cúbicas, resistencia de 50,000 **psi**, y sistema para prevenir el sobrellenado y compuerta trasera de apertura total, y sistema hidráulico. Deberá contar también con carrete frontal para alojamiento de manguera de alta presión de 600 pies y una pulgada de diámetro, montada sobre una estructura independiente y ensamblada al chasis, fabricado en acero de $\frac{1}{4}$ " ,como mínimo, operado con motor hidráulico.

Bomba de alta presión con flujo continuo de 80 galones por minuto, a una presión de 2000 psi, operada por el motor del camión con toma de fuerza independiente, con capacidad de operar sin agua por 30 minutos sin dañarse. Sistema de succión con un diámetro de 8"; el sistema de vacío deberá contener un sistema de retardo de vacío automático.

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

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

Por lo anterior se consideró conveniente, en primer término, abordar un ejercicio de evaluación mediante una presentación "sintética", más que una presentación "amplia", para observar en forma desagregada el impacto que las alternativas y proyectos tienen sobre distintos aspectos que refieren diferentes impactos del proyecto.

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

El criterio de "castigar" las obras de infraestructura de más largo plazo responde exclusivamente al hecho de no disponer de estimaciones coherentes sobre dimensiones y costos, ya que conforme se concrete el desarrollo de zonas más alejadas, seguramente los proyectos habrán de sufrir cambios y adecuaciones.

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



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

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

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

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

Red de atarjeas, subcolectores y colectores

Con el propósito de mantener operando la red de alcantarillado en condiciones aceptables para un buen servicio, como se ha planteado, las condiciones actuales de la misma hacen necesarias diversas acciones de reemplazo o rehabilitación de algunos tramos de tuberías que han sufrido desgaste o daño, debido a su antigüedad. Estos tramos de atarjeas, colectores y subcolectores han sido identificados y se han propuesto para su reparación por el OOMAPAS Nogales, por lo que no se evaluará comparativamente el método de rehabilitación, ni la diferencia en costo de usar uno u otro material, ya que circunstancialmente se han predefinido ambas condiciones, método constructivo y tipo de material.

En el primer caso, el OOMAPAS prefiere usar el método de rehabilitación, el tradicional de zanja abierta, comparado con el de encamisado o el de rompimiento, debido a que, para las condiciones urbanas de Nogales (molestias y cantidad de tráfico vehicular), representa menor costo y asegura las reparaciones de las descargas.

En cuanto al tipo de material, el más utilizado desde hace varias décadas es el PVC por las facilidades de reparación y conocimiento de su comportamiento físico, por lo que únicamente se considera la lista de proyectos y su costo.

Las acciones prioritarias, en lo relativo a la red de atarjeas, colectores y subcolectores, se enfocan, además de la sustitución de líneas que se encuentran deterioradas, en llevar el servicio de alcantarillado a las zonas de la ciudad que aún no cuentan con este. Los proyectos requieren ser programados para el corto plazo, ya que cada uno de ellos representa la atención de un problema latente que en cualquier momento puede ser causa de algún derrame de aguas residuales, contaminación o daño a la salud.

Estas obras y el costo para llevarlas a cabo, se presenta en la siguiente relación:



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 60. Proyectos de rehabilitación de colectores.

CONCEPTO	COSTO (MDP)
Rehabilitación del emisor internacional de Nogales	25.18
Rehabilitación de colector Ruiz Cortines de 30", con una longitud de 3152 m, entre la calle Héroes y calle Tepic, con tubería de PVC sanitario de 30", serie 20. Construcción de 29 pozos de visita, suministro e instalación de 194 descargas domiciliarias de aguas negras.	22.80
Rehabilitación de pozos de visita en emisor a gravedad Los Alisos, Nogales, SO	2.45
Rehabilitación de siete sistemas de la red de alcantarillado sanitario, con tubería de 8" de diámetro y material de PVC, en las colonias: Kennedy, Esperanza, Granja, Prolongación del Valle, CTS-CROC, 5 de Mayo y Manlio Fabio Beltrones.	6.70
Rehabilitación de sistemas de la red de alcantarillado sanitario con tubería de 8" de diámetro y material de PVC, en las calles: Estado Quintana Roo, Arcadia, Callejón Michoacán y San Marcos.	0.72
Rehabilitación de la red de alcantarillado sanitario, sector ITN (desde el sector ITN hasta el entronque con avenida Tecnológico)	0.97
Construcción del colector de 24", en el arroyo Los Nogales. Tramo: Colegio Militar a calle Primavera. Consiste en la reubicación del colector de 24", ubicado en el arroyo Los Nogales para mejorar su funcionamiento.	15.15
Rehabilitación de 5.8 km de la red de alcantarillado de 8" de diámetro con material PVC, deteriorado por antigüedad, en el sector centro de la ciudad, Nogales, SO.	23.00
Rehabilitación de ocho redes de alcantarillado con tuberías de 8" de diámetro, con material PVC, ubicadas en las calles: Cananea, Brasil, Priv. Del Nogal, Estado de Colima, Sierra Aconchi, Jalapa, Cajeme y Amatista 2.	6.68
Reposición de 14.2 km de atarjeas de la red de alcantarillado (8, 10 y 12 pulgadas de diámetro), de tubería que cumplió su vida útil, sector centro de la ciudad, Nogales, SO.	70.00
Reposición de 20 km de atarjeas de la red de alcantarillado (8, 10 y 12 pulgadas de diámetro), de tubería que cumplió su vida útil, sector centro de la ciudad, Nogales, SO.	100.00
Construcción para reubicación de 3 km del emisor a gravedad Los Alisos de 24" de diámetro, material de PVC, (margen derecha de la Carretera Federal 15)	32.60
Construcción de la red de alcantarillado sanitario, de acuerdo con el Proyecto Ejecutivo, en la colonia Colinas del Sol, Nogales, SO.	7.50
Construcción de un sistema de la red de alcantarillado, con tubería de 8" de diámetro, material de PVC, en la calle Sierra Madre Occidental.	5.00
Construcción de la red de alcantarillado para la comunidad rural de Mascareñas.	13.56

Elaboración propia

Colectores, subcolectores y emisores para cubrir la demanda por crecimiento de la población

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.

La ubicación se consideró para proponer la configuración de la red, y para la selección del tipo de material se estimará el costo y los aspectos cualitativos del comportamiento del material de los conductos, así como 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 con 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 61. Costos índice por diámetro para la construcción de líneas de colectores en zonas de expansión de la ciudad de Nogales, SO, (material PVC)

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

Elaboración propia

Tabla 62. Costos índice por diámetro para la construcción de líneas de colectores en zonas de expansión de la ciudad de Nogales, SO, (material PEAD)

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

Elaboración propia

Con la configuración planteada para cubrir las áreas de expansión, que darán servicio a las áreas de crecimiento urbano de la ciudad de Nogales, los costos de inversión necesarios para construir la infraestructura, utilizando cualquiera de los tipos de materiales considerados, son los siguientes:



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 63. Inversión en colectores por zona de la ciudad en áreas de crecimiento al año 2050 (PVC)

N°	Colector/Subcolector/ Emisor	Diámetro	Longitud	costo/ km PVC	Costo de inversión
		(pulgadas)	(km)	(millones pesos)	
ZONA SUROESTE, SURESTE Y SUR					
1	EMISOR PBAR	24	6.58	13.10	\$ 86.20
2	SUBCOLECTOR RECINTO FISCAL	18	3.01	10.38	\$ 31.28
3	COLECTOR UTN-AEROPUERTO	20	3.98	11.23	\$ 44.67
4	SUBOLECTOR LOS ALTOS	18	1.78	10.38	\$ 18.46
5	SUBCOLECTOR PERIFERICO ORIENTE A	18	0.94	10.38	\$ 9.75
6	COLECTOR PERIFERICO ORIENTE	20	2.17	11.23	\$ 24.31
7	SUBCOLECTOR PEDREGOSO	18	1.07	10.38	\$ 11.15
8	COLECTOR PEDREGOSO	20	3.07	11.23	\$ 34.49
9	SUBCOLECTOR EL ALAMO	18	2.05	10.38	\$ 21.29
10	COLECTOR LOS ALISOS II	42	15.22	19.68	\$ 299.49
ZONA NOROESTE Y OESTE					
11	PROLONGACION SUBCOLECTOR REFORMA	18	1.21	10.38	\$ 12.55
12	PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR ENSUEÑO	18	0.29	10.38	\$ 3.00
13	PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR 5 DE FEBRERO	18	0.55	10.38	\$ 5.71
14	PROL. SUBCOLECTOR LOS PIRINEOS-RODOLFO CAMPODONICO	18	1.96	10.38	\$ 20.35
15	PROL. SUBCOLECTOR RICARDO FLORES MAGON-LAGO PLATA	18	1.10	10.38	\$ 11.45
16	PROLONGACION SUBCOLECTOR TECNOLOGICO	18	2.05	10.38	\$ 21.24
ZONA ESTE Y NORESTE					
17	SUBCOLECTOR UNISON (EXISTENTE)	18	1.34	10.38	\$ 13.86
18	PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR BUHOS	18	1.93	10.38	\$ 20.08
19	SUBCOLECTOR SAN CARLOS 1	18	1.97	10.38	\$ 20.43
20	SUBCOLECTOR SAN CARLOS 2	18	1.65	10.38	\$ 17.12
21	SUBCOLECTOR SAN CARLOS 3	18	1.03	10.38	\$ 10.64
22	SUBCOLECTOR SAN CARLOS 4	20	0.87	11.23	\$ 9.80
23	COLECTOR PEÑITAS	18	1.82	10.38	\$ 18.91
24	COLECTOR PUERTA DE ANZA	18	2.71	10.38	\$ 28.16
25	COLECTOR MASCAREÑAS	18	1.31	10.38	\$ 13.57
					\$ 807.98

Fuente: elaboración propia

Tabla 64. Costos de operación y mantenimiento de la red, zonas de crecimiento, alternativa 1 (tubería PVC)

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	IMPORTE (mdp)	
			Mes	año
Personal	6.0	PERSONA	0.12	1.44
Operación vehículos	4.00	VEHÍCULOS	0.12	1.44
Limpieza de pozos de visita	320	POZOS	0.16	1.92
Materiales y equipo diversos	1	LOTE	0.25	3.00
				7.80

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 65. Inversión en colectores por zona de la ciudad en áreas de crecimiento al año 2050 (PEAD)

N°	Colector/Subcolector/ Emisor	Diámetro PEAD (pulgadas)	Longitud (km)	Alternativa 2	
				costo /km (PEAD) (millones pesos)	Costo de Inversión PEAD (millones pesos)
ZONA SUROESTE, SURESTE Y SUR					
1	EMISOR PBAR	30	6.58	11.47	\$ 75.47
2	SUBCOLECTOR RECINTO FISCAL	18	3.01	7.87	\$ 23.72
3	COLECTOR UTN-AEROPUERTO	18	3.98	8.65	\$ 34.39
4	SUBCOLECTOR LOS ALTOS	20	1.78	7.87	\$ 14.00
5	SUBCOLECTOR PERIFERICO ORIENTE A	20	0.94	7.87	\$ 7.40
6	COLECTOR PERIFERICO ORIENTE	18	2.17	8.65	\$ 18.72
7	SUBCOLECTOR PEDREGOSO	20	1.07	7.87	\$ 8.46
8	COLECTOR PEDREGOSO	18	3.07	8.65	\$ 26.55
9	SUBCOLECTOR EL ALAMO	20	2.05	7.87	\$ 16.15
10	COLECTOR LOS ALISOS II	48	15.22	16.10	\$ 245.04
ZONA NOROESTE Y OESTE					
11	PROLONGACION SUBCOLECTOR REFORMA	18	1.21	7.87	\$ 9.51
12	PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR ENSUEÑO	18	0.29	7.87	\$ 2.27
13	PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR 5 DE FEBRERO	18	0.55	7.87	\$ 4.33
14	PROL. SUBCOLECTOR LOS PIRINEOS-RODOLFO CAMPODONICO	18	1.96	7.87	\$ 15.43
15	PROL. SUBCOLECTOR RICARDO FLORES MAGON-LAGO PLATA	18	1.10	7.87	\$ 8.68
16	PROLONGACION SUBCOLECTOR TECNOLOGICO	18	2.05	7.87	\$ 16.11
ZONA ESTE Y NORESTE					
17	SUBCOLECTOR UNISON (EXISTENTE)	18	1.34	7.87	\$ 10.51
18	PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR BUHOS	18	1.93	7.87	\$ 15.23
19	SUBCOLECTOR SAN CARLOS 1	18	1.97	7.87	\$ 15.49
20	SUBCOLECTOR SAN CARLOS 2	18	1.65	7.87	\$ 12.98
21	SUBCOLECTOR SAN CARLOS 3	18	1.03	7.87	\$ 8.07
22	SUBCOLECTOR SAN CARLOS 4	20	0.87	8.65	\$ 7.54
23	COLECTOR PEÑITAS	20	1.82	7.87	\$ 14.34
24	COLECTOR PUERTA DE ANZA		2.71	7.87	\$ 21.35
25	COLECTOR MASCAREÑAS		1.31	7.87	\$ 10.29
				TOTAL	\$ 642.03

Fuente: elaboración propia

Tabla 66. Costos de operación y mantenimiento de la red, zonas de crecimiento, alternativa 2 (tubería PEAD)

CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	IMPORTE (mdp)	
			Mes	año
Personal	8.0	PERSONA	0.16	1.92
Operación vehículos	4.00	VEHICULOS	0.12	1.44
Limpieza de pozos de visita	320.00	POZOS	0.16	1.92
Materiales diversos	1	LOTE	0.40	4.80
				10.08

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Comparación de alternativas

Para comparar ambas alternativas se utilizó el método del costo capitalizado (CC o P), el cual hace referencia directa al valor presente de un proyecto, cuya vida útil durará para siempre, o que se considera en forma perpetua, como es el caso de los sistemas de distribución de servicios vitales.

La fórmula para calcular el costo capitalizado (CC) = A/i

Tabla 67. Costos capitalizados de operación y mantenimiento de la red en zonas de crecimiento.

CONCEPTO	CANTIDAD	PVC	PEAD
Tasa de interés anual (I)	i=	10%	10%
Costo O&M en mdp (A)	A	7.80	10.08
Ciclo de vida en años (n)	n	50	50

Fuente: elaboración propia

Se supone que a lo largo de la vida útil los equipos de la PTAR requerirán al menos dos inversiones puntuales, al año 20 y 40 del periodo considerado, debido a rehabilitaciones en el sistema: para un sistema con tuberías con PVC y para el caso de la tubería PEAD.

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

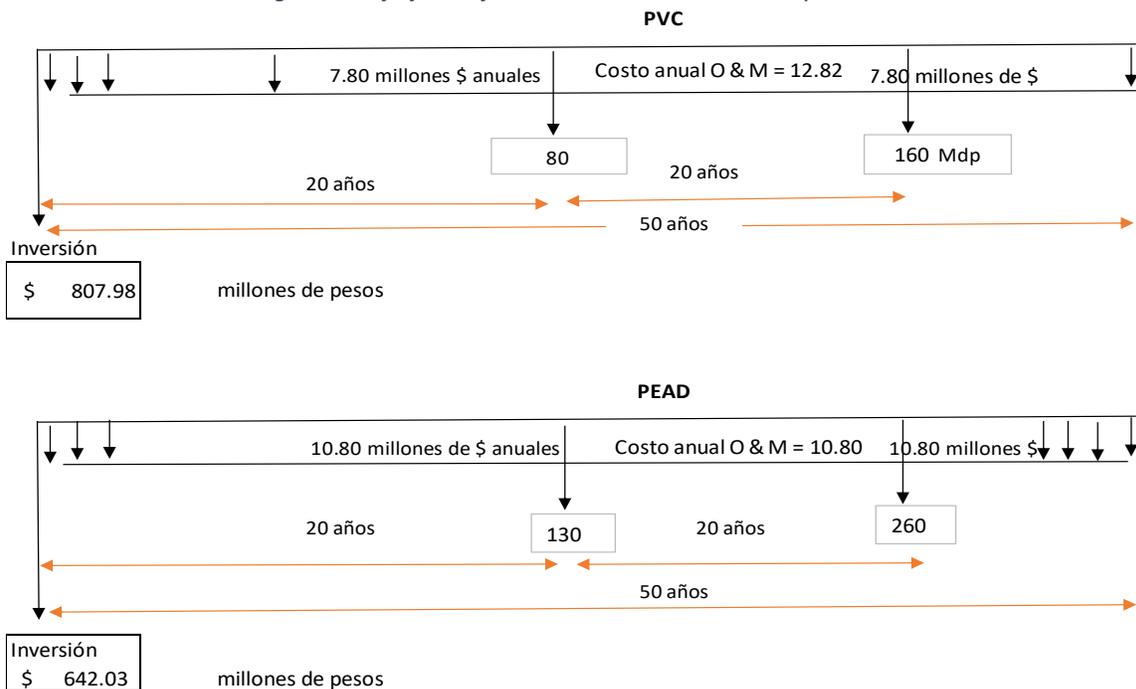
1. Diagrama de flujo de efectivo que muestra todos los costos no recurrentes (una vez) y los costos recurrentes (periódicos).

El flujo representa para cada alternativa de usar PVC o PEAD la inversión total que implica la construcción de la red (807.98 y 642.03 mdp); los costos de operación y mantenimiento anual de 7.80 y 10.08 mdp, para cada caso, y dos inversiones puntuales para rehabilitación o reposición de tramos dañados a los 20 y 40 años.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 32. Diagrama de flujo de efectivo: costos no recurrentes y recurrentes



Fuente: elaboración propia

2. Se encontrará el valor presente (P) de las cantidades no recurrentes, incluida la inversión inicial, además de traer al presente los costos puntuales a los 20 y 40 años, para el PVC y el PEAD.

P/F		PVC	P/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
		PEAD	P/F
$(P/F, 10, 20) = F(1/(1+i)^n)$	$i=10\%, n=20$	130	19.32
$(P/F, 10, 40) = F(1/(1+i)^n)$	$i=10\%, n=40$	260	5.74

Fuente: elaboración propia

Costos no recurrentes (millones de pesos)		PVC	PEAD
Inversión actual	Periodo	807.98	642.0
Primer costo no recurrente 80 y 160	(20 años)	11.89	19.32
Segundo costo no recurrente 130 Y 260p	(40 años)	3.54	5.74
	P1	823.40	667.10

3. Se utilizará el valor anual uniforme equivalente (VA) durante un ciclo de vida de todas las cantidades, en este caso los costos de operación y mantenimiento, y se agregará este a todas las demás cantidades uniformes que ocurren en el año 1 hasta infinito, lo cual genera un valor anual uniforme equivalente total (VA).

Costos recurrentes (operación anual)	(50 años)	7.8	10.08
	P2	78.00	100.80

4. Se sumará el valor obtenido en el paso 2 al valor logrado en el paso 3.

VP= P1+P2 para las dos alternativas PVC, PEAD:

Valor presente	ALT 1	ALT 2
----------------	-------	-------



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

	PVC	PEAD
P1	823.40	667.10
P2	78.00	100.80
VP	901.40	767.90

El valor presente de los costos indica que la opción más económica es la de emplear PEAD; sin embargo, habrá que tomar en cuenta algunas desventajas de utilizar este tipo de tubería, de acuerdo con experiencias en diversas partes, que son las siguientes:

- 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 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 en ninguna circunstancia, ya que la contaminación de suelo y agua perjudica la salud y el bienestar de la población, además de ir en contra de la buena relación binacional con Estados Unidos. Es evidente y claro que no invertir en la renovación de las redes se convierte en un costo no sostenible ni a largo ni a corto plazo.

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 esto implicaría deterioros mayores, no sólo en la infraestructura hidráulica, sino en la infraestructura urbana, en su conjunto, como son: vialidades, edificaciones y equipamiento urbano en general.

3.3.2 Evaluación comparativa de alternativas para plantas de bombeo principales

El sistema de saneamiento de la ciudad de Nogales ha venido operando en los últimos 10 años con una sola planta de bombeo, mediante la cual es posible enviar parte de las aguas residuales que anteriormente eran conducidas para su tratamiento por el emisor internacional a la planta internacional de Río Rico, Arizona. Conforme pase el tiempo, y se vaya adecuando la capacidad de tratamiento en el corto plazo, se requiere contar con una segunda planta de bombeo y disminuir el caudal en exceso de aguas residuales que cruzan la frontera.

La planta de bombeo, conocida como estación de bombeo Estadio, cuenta con cinco equipos de bombeo y envía el agua residual del subcolector Tecnológico, mediante un emisor a presión al sur de la ciudad, a la PTAR Los Alisos. Cada equipo de bombeo tiene capacidad para enviar aproximadamente 127 l/s; el emisor está diseñado para transportar un caudal medio de casi 400 l/s, y un caudal máximo de 750 l/s; sin embargo, el colector Tecnológico conduce aproximadamente 250 l/s, y la PTAR Los Alisos, que actualmente tiene una capacidad de 220 l/s, recibe 171.29 l/s de varias procedencias; 120 l/s de la estación Estadio, 30 l/s se incorporan al emisor en el tramo de gravedad, y 21.29 provienen de la zona del poblado La Mesa, contiguo a la PTAR.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Por ahora no se puede incorporar un segundo equipo de bombeo en la estación Estadio, con lo que se podrían enviar 240 l/s por el emisor Los Alisos; sin embargo, esto rebasa la capacidad de la PTAR. Es por esta razón que el OOMAPAS ha venido impulsando el proyecto de ampliación de la PTAR Los Alisos, mediante el equipamiento del tercer módulo de 110 l/s, así como rehabilitar y ampliar a 70 l/s la planta de tratamiento La Mesa, ubicada muy cerca de la planta Los Alisos.

Con estas ampliaciones en las plantas, se contaría con una capacidad de 400 l/s, por lo que podría aprovecharse la capacidad de la infraestructura para reducir los caudales en exceso que cruzan la frontera.

Con lo anterior se estaría en posibilidades de ubicar y construir la segunda planta de bombeo e incrementar el caudal que se capta en el colector Ruíz Cortines, como se ilustra en el siguiente diagrama.

Elección de alternativa:

Como se aprecia, las alternativas 1 y 3 tienen un costo de inversión muy similar; sin embargo, la alternativa 3 tiene la ventaja de que pudiera interceptar un mayor caudal en las condiciones actuales; y en las ventajas comparativas que se enlistaron en el subcapítulo 3.2.2, se estableció también la flexibilidad que tendría el sistema por la posible interconexión entre las plantas de bombeo, una vez que se construya la planta N° 2, si se elige el sitio de la alternativa 3.

Por las razones anteriores, se propone la alternativa 3, que considera la PB-2; se ubicará en la calle Kennedy.

Tabla 68. Dimensionamiento de la PBAR 2 – Alternativa 3

PBAR-2 (ALTERNATIVA 3, CALLE JOHN F. KENNEDY)						
Conducto	EMISOR ALISOS II					
Material del tubo	PVC			PEAD		
Caudales	Q_{med} (l/s)	$Q_{max-inst}$ (l/s)	$Q_{max-ext}$ (l/s)	Q_{med} (l/s)	$Q_{max-inst}$ (l/s)	$Q_{max-ext}$ (l/s)
		250.00	328.50	492.00	1,291.15	2,801.79
Carga estática (m)	100					
Carga dinámica (m)	105.29	109.1	120.48	109.40	116.10	136.41
Potencia requerida (hp)	507.96	690.59	1,143.91	527.81	735.82	1,245.14

Fuente: elaboración propia

Tabla 69. Inversión requerida para la PBAR-2, equipamiento para emisor de PVC

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (mdp)	IMPORTE (mdp)
Terreno	Lote	1	2.00	2.00
Instalaciones electromecánicas	Lote	1	6.00	6.00
Instalaciones eléctricas y de control	Lote	1	5.00	5.00
Estructura del cárcamo	Lote	1	3.50	3.50
Edificios	Lote	1	2.00	2.00
Rejilla y desarenador	Equipo	1	1.00	1.00
Grúas, polipasto y marco de izaje	Lote	1	0.50	0.50
Estructura de llegada	Estructura	1	0.40	0.40
Líneas de interconexión	Lote	1	0.30	0.30
Obras complementarias	Lote	1	1.50	1.50
				22.20



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (mdp)	IMPORTE (mdp)
L= 230 m; línea de interconexión ((ancho vialidad+ vía ffc= 50) m	Lote	1	3.50	3.50
			Total	25.70

Fuente: elaboración propia

Tabla 70. Costos de operación y mantenimiento de la PBAR 2 (materia del emisor PVC)

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	IMPORTE (mdp)	
			Mes	año
Personal	PERSONA	5.0	0.10	1,20
Operación vehículos	VEHÍCULOS	2.00	0.03	0.36
Lodos	LOTE	1.00	0.50	6.00
Materiales y equipo diversos	LOTE	1	0.10	1,20
Consumo electricidad	CONSUMO/AÑO	1.00	2.21	2.21
				5.57

Fuente: elaboración propia

Tabla 71. Inversión requerida para la PBAR 2, equipamiento para emisor con PEAD

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (mdp)	IMPORTE (mdp)
Terreno	lote	1	2.00	2.00
Instalaciones electromecánicas	lote	1	6.50	6.50
Instalaciones eléctricas y control	lote	1	5.50	5.50
Estructura del cárcamo	lote	1	3.50	3.50
Edificios	lote	1	2.00	2.00
Rejilla y desarenador	Equipo	1	1.00	1.00
Grúas, polipasto y marco de izaje	lote	1	0.50	0.50
Estructura de llegada	Estructura	1	0.40	0.40
Líneas de interconexión	lote	1	0.30	0.30
Obras complementarias	lote	1	1.50	1.50
				23.20
L= 230 m; línea de interconexión ((ancho vialidad+ vía ffc= 50) m	lote	1	3.50	3.50
				26.70

Fuente: elaboración propia

Tabla 72. Costos de operación y mantenimiento de la PBAR 2 (materia del emisor PEAD)

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	IMPORTE (mdp)	
			Mes	año
Personal	PERSONA	5	0.10	1.20
Operación vehículos	VEHÍCULOS	2	0.03	0.36
Lodos	LOTE	1	0.50	0.60
Materiales y equipo diversos	LOTE	1	0.125	1.50
Consumo electricidad	CONSUMO/AÑO	1		2.29
				5.95

Fuente: elaboración propia

Tabla 73. Costos de las alternativas del emisor, según tipo de material PVC y PEAD

TUBERIA	DIÁMETRO (PULGADAS)	LONGITUD (KM)	COSTO/ KM (MDP)	IMPORTE (MDP)
EMISOR ALISOS II (PVC)	24	6.58	13.10	86.20
EMISOR ALISOS II (PEAD)	30	6.58	11.47	75.47

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

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 servicios vitales.

Tabla 74. Costos capitalizados de operación y mantenimiento de la red en zonas de crecimiento.

CONCEPTO	CANTIDAD	PVC	PEAD
Tasa de interés anual (I)	i=	10%	10%
Costo O&M en mdp (A)	A	5.57	5.95
Ciclo de vida en años (n)	n	30	30

Fuente: elaboración propia

Se supone que a lo largo de la vida útil de la PBAR-2 se requerirán al menos dos inversiones puntuales, al año 15 y 30 del periodo considerado, debido a reequipamientos del sistema, ya sea para un sistema con emisor de PVC, o 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:

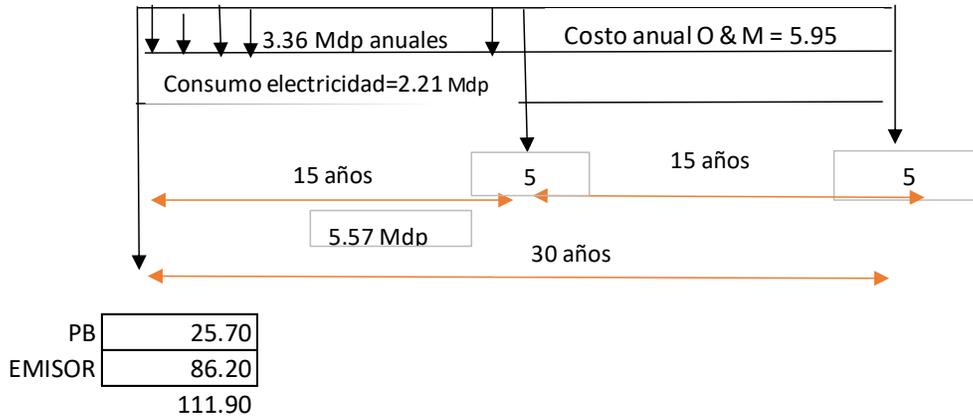
1. Diagrama de flujo de efectivo que muestra los costos no recurrentes (una vez) y los costos recurrentes (periódicos).

La construcción de la planta de bombeo y del emisor requeriría una inversión de 111.90 mdp, utilizando PVC, o bien 102.17 mdp, si se opta por PEAD; los costos anuales de operación y mantenimiento serían por 5.57 y 5.95, respectivamente, y además se necesitarían dos inversiones puntuales de 5 y 7 mdp para reequipamiento o reposición de equipos de la PBAR-2, a los 15 y 30 años.

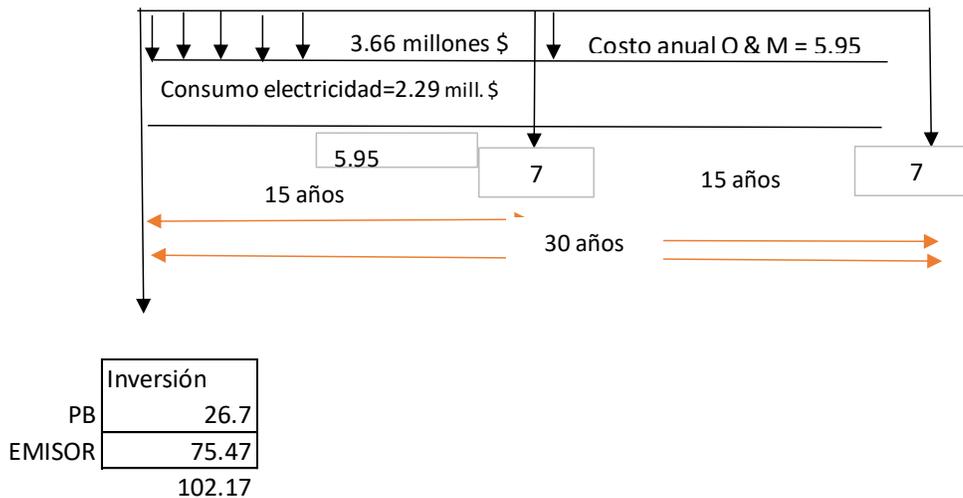


COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 33. Diagrama de flujo de efectivo: costos no recurrentes y recurrentes
PVC



PEAD



Fuente: elaboración propia

2. Se encontrará el valor presente (P) de las cantidades no recurrentes, incluida la inversión inicial, además de traer al presente los costos puntuales a los 15 y 30 años, para el PVC y el PEAD.

P/F		PVC	P
$(P/F, 10,20) = F(1/(1+i)^n)$	$i=10\%, n=15$	5.0	1.20
$(P/F, 10,40) = F(1/(1+i)^n)$	$i=10\%, n=30$	5.0	0.29
		PEAD	
$(P/F, 10,20) = F(1/(1+i)^n)$	$i=10\%, n=15$	7.0	1.68
$(P/F, 10,40) = F(1/(1+i)^n)$	$i=10\%, n=30$	7.0	0.40

Costos recurrentes (operación anual)		PVC	PEAD
Costos de operación anuales	(30 años)	5.57	5.95
	SUMA	5.57	5.95

Costos no recurrentes (millones de pesos)		PVC	PEAD
Inversión actual		111.90	102.17



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Primer costo no recurrente 5 y 7 millones \$	(15años)	1.20	1.68
Segundo costo no recurrente 5 y 7 millones \$	(30 años)	0.29	0.40
	P1	113.39	104.25

3. Se utilizará el valor anual uniforme equivalente (VA), durante un ciclo de vida de todas las cantidades, en este caso los costos de operación y mantenimiento, y se agregará este a las demás cantidades uniformes que ocurren en el año 1 hasta infinito, lo cual genera un valor anual uniforme equivalente total (VA).

Costos recurrentes (operación anual)		PVC	PEAD
Costos de operación anuales	(30 años)	5.57	5.95
	P2	55.7	59.5

4. Se sumará el valor obtenido en el paso 2 al valor logrado en el paso 3.

VP= P1+P2 para las dos alternativas PVC, PEAD:

Valor presente	PVC	PEAD
P1	92.12	80.2
P2	17.7	26.2
VP	109.82	106.41

El valor presente de los costos indica que la opción más económica es la alternativa 2, que aunque es un poco más consumidora de electricidad, y con un gasto de mantenimiento también un poco mayor, la diferencia sigue siendo favorable en costo; sin embargo, las desventajas operativas y de mantenimiento, en el mediano y largo plazos, indican que es menos ventajoso utilizar tubería de PEAD, ya que la eficiencia es mayor si se utiliza tubería de PVC.

3.3.3 Evaluación comparativa de alternativas para plantas de tratamiento

Para satisfacer la demanda de tratamiento de la ciudad de Nogales, se requiere, en primer término, equipar el tercer módulo de la PTAR Los Alisos, que es la principal planta de tratamiento del lado mexicano y es la única opción para disminuir los caudales en exceso que se están enviando hacia la planta internacional, localizada en Río Rico, Arizona.

En orden de prioridad y de facilidad para ejecutarse en el corto plazo, las acciones sobre la infraestructura, que requiere ser complementada o rehabilitada, son:

1. Equipamiento del tercer módulo de 110 l/s de la PTAR Los Alisos

El equipamiento requerido del tercer módulo de 110 l/s de la planta Los Alisos, cuya obra civil se encuentra terminada, es indispensable para disponer de capacidad en esta planta, con el fin de cubrir las necesidades actuales y evitar el aumento de los caudales que se conducen a la planta de tratamiento internacional.

La inversión requerida para este equipamiento es de 34.62 mdp.

2. Rehabilitación y ampliación de 30 a 70 l/s de la PTAR La Mesa, y de 45 a 60 l/s de la PTAR Puerta de Anza.

La acción complementaria, que permitiría contar con una capacidad de tratamiento de 400 l/s en el área sur de la ciudad, sería rehabilitar y ampliar de 30 a 70 l/s la planta de tratamiento de la comunidad La Mesa, que actualmente no funciona y envía un poco más de 20 l/s de aguas residuales a la planta Los Alisos.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Esta rehabilitación y ampliación con equipamiento para 70 l/s, juntamente con las obras necesarias para aprovechar la capacidad de la planta, se estima en 30 mdp.

Sin estas acciones no se avanzará en el incremento de la capacidad en el corto plazo, y se compromete la capacidad de tratamiento de la PITAR de Nogales, Arizona.

3. Cuarto módulo de 110 l/s para la PTAR Los Alisos

La construcción de un cuarto módulo de 110 l/s en la PTAR Los Alisos, mediante las adecuaciones que pudiera requerir para hacer factible esta opción, es una propuesta como alternativa de corto plazo para ampliar la capacidad de tratamiento de las aguas residuales que demanda el crecimiento de la ciudad de Nogales.

El costo de inversión para agregar un cuarto módulo de 110 l/s en la PTAR Los Alisos se estima en 45 mdp.

4. Construcción de la planta de tratamiento Peñitas, para una zona que aún no dispone del servicio de alcantarillado en la colonia Colinas del Sol, ya que se ubica en un sector difícil de conectar a la red de alcantarillado; es una acción que se plantea prioritaria para la ciudad.

5. Realizar la ampliación de la PTAR Puerta de Anza, para transferir caudales de la PTAR Lomas del Sol a la PTAR Puerta de Anza y dar el servicio a las áreas de crecimiento del sector oriente.

La ampliación de la PTAR Puerta de Anza es la opción que se ha planteado el OOMAPAS Nogales para dar servicio a un amplio sector del oriente de la ciudad. En el área existen dos plantas de tratamiento: Lomas del Sol, con capacidad de 30 l/s, y Puerta de Anza, con capacidad de 45 l/s, que se plantea sea ampliada a 60 l/s, en el corto plazo, y que en el futuro se aumente a 180 l/s, ya que la infraestructura con que cuenta consiste en 12 módulos con capacidad de tratamiento de 15 l/s, cada uno; es decir, la ampliación de más largo plazo sería de 120 l/s para aprovechar la capacidad total.

6. Construcción de una nueva PTAR en el sur de la ciudad de Nogales, para atender las necesidades de tratamiento de aguas residuales que demandará el crecimiento de la población al año 2050.

Si se realizan las obras y ampliaciones planteadas, enunciadas en los puntos anteriores, del 1 al 5, a futuro, a partir del año 2030 se requerirá construir una nueva planta de tratamiento con capacidad de 500 l/s, la cual se estima conveniente se construya en los terrenos disponibles de la PTAR Los Alisos, ya que presenta las siguientes ventajas:

- Se cuenta con una superficie de más de 30 hectáreas disponibles.
- Se aprovecharía el campo fotovoltaico de las instalaciones.
- Se facilitaría su operación y se vigilaría con menos personal al aprovechar la cercanía entre plantas.

Las alternativas consideradas para esta nueva PTAR son las siguientes:

Tabla 75. Comparación de alternativas de nueva PTAR en Nogales, SO

ALTERNATIVA	TECNOLOGÍA DE LA PTAR	UNIDAD	COSTO (mdp)	O&M (mdp)
-------------	-----------------------	--------	-------------	-----------



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

1	Lodos activados convencional (capacidad= 500 l/s)	planta	300.0	14.10
2	Reactor de alta carga/baja carga (capacidad= 500 l/s)	planta	482.0	9.54

Fuente: elaboración propia

Comparación de alternativas

Para comparar ambas alternativas se utilizó el método del costo capitalizado (CC o P), el cual hace referencia directa al valor presente de un proyecto cuya vida útil durará para siempre, o que se considera en forma perpetua, como es el caso de los sistemas de tratamiento.

La fórmula para calcular el costo capitalizado (CC) = A/i

Tabla 76. Costos capitalizados de operación y mantenimiento de la red en zonas de crecimiento.

CONCEPTO	CANTIDAD	PVC	PEAD
Tasa de interés anual (I)	i=	10%	10%
Costo O&M en mdp (A)	A	14.10	9.54
Ciclo de vida en años (n)	n	30	30

Fuente: elaboración propia

Se supone que a lo largo de la vida útil de las plantas de tratamiento se requerirán al menos dos inversiones puntuales, al año 15 y 30 del periodo considerado, debido a rehabilitaciones en el sistema, tanto para un sistema con tecnología de lodos activados convencional, como para el caso de un sistema de tratamiento con reactor de alta carga/baja con lodos activados.

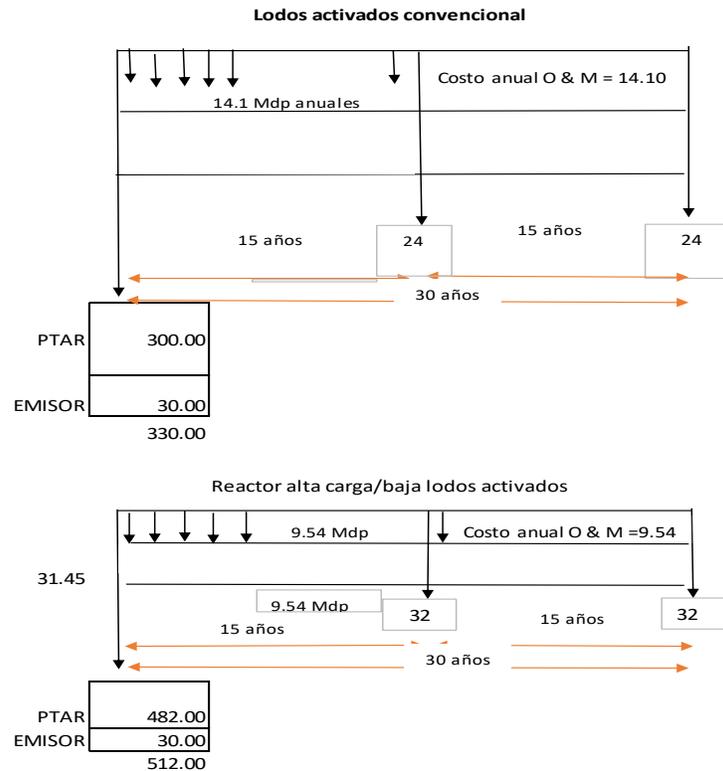
Para traer los costos al presente, el procedimiento seguido al calcular el costo capitalizado de una secuencia infinita de flujos de efectivo es el siguiente:

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



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 34. Diagrama de flujo de efectivo: costos no recurrentes y recurrentes



Fuente: elaboración propia

Para cada alternativa, de usar lodos activados convencional, o reactor de alta carga; la inversión que implica la construcción de la PTAR es por 300 y 482 mdp, respectivamente); los costos de operación y mantenimiento anual serían por 14.10 y 9.54 mdp, para cada caso, más dos inversiones puntuales para rehabilitación o reposición de equipos a los 15 y 30 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 el PVC y el PEAD.

P/F	Alternativa 1	P/F
	Lodos activados convencional	
$(P/F, 10, 15) F(1/(1+i)^n)$	24	5.75
$(P/F, 10, 30) F(1/(1+i)^n)$	24	1.38
	Alternativa 2	
	Reactor alta carga/baja y lodos activados	
$(P/F, 10, 15) F(1/(1+i)^n)$	32	7.66
$(P/F, 10, 30) F(1/(1+i)^n)$	32	1.83

Costos no recurrentes	Lodos activados	Reactor-alta carga/baja
Inversión actual (millones de pesos)	Inversión	512.00
Primer costo no recurrente 24 mdp	(15 años)	7.66
Segundo costo no recurrente 32 mdp	(30 años)	1.83
	P1	337.12
		521.49

3. Se utilizará el valor anual uniforme equivalente (VA) durante un ciclo de vida de todas las cantidades, en este caso los costos de operación y mantenimiento, y se agregará este a las demás



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

cantidades uniformes que ocurren en el año 1 hasta infinito, lo cual genera un valor anual uniforme equivalente total (VA).

Costos recurrentes (operación anual)		Lodos-Activados Convencionales	Reactor-alta carga/baja
Costos de operación anuales	(30 años)	14.1	9.54
	P2	141	95.4

4. Se suma el valor obtenido en el paso 2 al valor logrado en el paso 3.

$VP = P1 + P2$ para las dos alternativas lodos activados convencional, reactor de alta carga/baja:

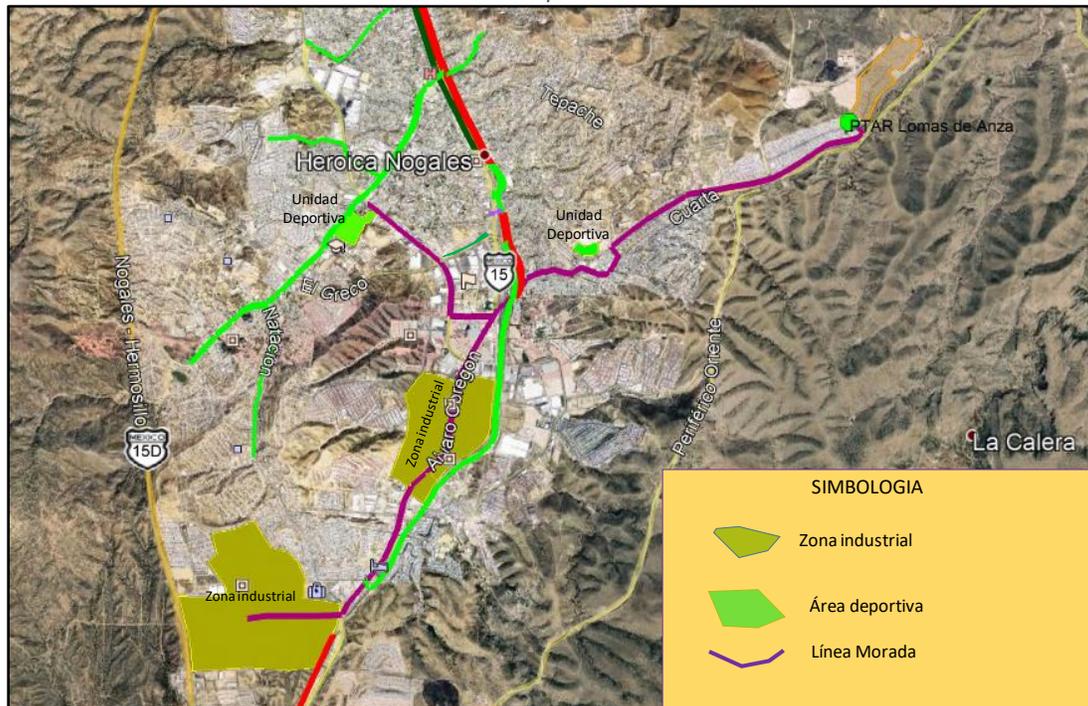
Valor presente	Lodos activados convencional	Reactor alta carga/baja lodos activados
P1	337.12	521.49
P2	141.00	95.40
VP	478.12	616.89

El valor presente de los costos para alternativa 1 (lodos activados convencional) es más bajo, por lo que desde el punto de vista de costos es más económica esta alternativa.

3.3.4 Evaluación de alternativas para infraestructura para el reúso de agua

De las alternativas para desarrollar una línea morada, la alternativa 1 tendría un menor desarrollo de longitud; saldría de la planta Lomas del Sol hacia el suroeste con rumbo a la avenida Álvaro Obregón y a las zonas industriales. De esta línea morada deriva otra hacia la Unidad Deportiva; en esa zona se ubican camellones de avenidas y algunos lavados de autos.

Ilustración 35. Alternativa de líneas moradas a partir de la PTAR Puerta de Anza



Fuente: elaboración propia

El costo de la alternativa 1



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

La fuente de esta alternativa es la PTAR Lomas del Sol, que tiene una capacidad de 30 l/s; sin embargo, relativamente cerca se encuentra la PTAR Puerta de Anza, que tiene una capacidad de equipamiento hasta de 180 l/s en el futuro; es decir, existe un volumen de potencial aprovechamiento importante. En el recorrido también es factible en el futuro buscar derivaciones a otros usuarios que pudieran utilizar aguas residuales tratadas para ampliar la red morada.

Tabla 77. Costos de inversión de la alternativa 1: línea morada desde la PTAR Lomas del Sol

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. (MDP)	COSTO (MDP)
Línea morada (tramo principal 8 ")	km	9.0	5.5	49.5
Línea morada derivación 1A (6")	km	3.3	5.2	17.0
Equipo de bombeo/instalaciones	lote	1.0	4.0	4.0
				70.5

Fuente: elaboración propia

Tabla 78. Costos de operación y mantenimiento de la alternativa 1

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO/MES	AÑO
Personal	C	2	40000.00	480,000.00
Materiales diversos	Lote	1	25000.00	300,000.00
Energía eléctrica	Consumo	1	40000.00	480,000.00
				1,260,000.00

Fuente: elaboración propia

La alternativa 2, cuya línea morada parte de la PTAR La Mesa, tendría un desarrollo longitudinal mayor, 19.1 km, mientras la alternativa 1 tendría 12.1 km. La PTAR La Mesa tiene como capacidad de tratamiento 70 l/s; sin embargo, se encuentra a 5 km al norte de la PTAR Los Alisos y del posible sitio de una nueva planta de tratamiento, por lo que el potencial de crecimiento es mayor que el de la alternativa de la planta Lomas del Sol.

Tabla 79. Costos de inversión de la alternativa 1: línea morada desde la PTAR La Mesa

CONCEPTO	UNIDAD	LONGITUD (M)	COSTO /KM (MDP)	COSTO (MDP)
Línea morada (tramo principal 8 ")	km	15.8	5.50	86.9
Línea morada derivación 1A (6")	km	3.3	5.15	17.0
Equipo bombeo/instalaciones	lote	1	5.00	5.0
				108.9

Tabla 80. Costos de operación y mantenimiento de la alternativa 1.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO/MES (mdp)	AÑO (mdp)
Personal	Persona	2	40000.00	480,000.00
Materiales diversos	Lote	1	20000.00	240,000.00
Energía eléctrica	Consumo	1	12500.00	150,000.00
				870,000.00

Fuente: elaboración propia

Lo conveniente es construir primero la alternativa 1, a partir de Lomas del Sol, que requiere menor inversión; y a futuro, si existe potencial de reuso, construir la alternativa 2, que representa un volumen de aprovechamiento mayor.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

3.3.5 Alternativas para infraestructura complementaria e instrumentación

Con el fin de definir las estructuras para evitar la entrada de azolve al subcolector Tecnológico, y de ahí al cárcamo de bombeo de la estación Estadio, se tiene en proceso un estudio de alternativas para el control de arrastre de sedimentos y entrada a los conductos, del cual deberá obtenerse una solución al problema.

La solución que se proponga puede considerar, total o parcialmente, obras en la llegada a la estación de bombeo Estadio, y obras distribuidas en la cuenca para disminuir la cantidad de material de arrastre, o bien estructuras a lo largo del subcolector Tecnológico y de los conductos que le aportan caudal.

Para el desazolve de atarjeas, colectores y subcolectores, el OOMAPAS Nogales pretende adquirir equipos electromecánicos para el apoyo en la limpieza y mantenimiento de la red de alcantarillado e instalaciones sanitarias, cuya base principal de funcionamiento es la succión de fluidos y algunos sólidos, dependiendo de su tamaño o masa, y del trabajo con el agua a alta presión.

En el mercado de este tipo de equipos se manejan diferentes marcas con varias características (Guzzler, Vac-Con, Vacall, Aquatech, Camel, Vactor, etcétera); cada uno de ellos cumple con las condiciones para realizar las acciones que se requieren para extraer la suciedad de los conductos que frecuentemente se azolvan y ven afectado su funcionamiento.

Ilustración 36. Equipos electromecánicos de desazolve sobre camiones



Fuente: Fotografías sitio web, camiones Vac-on y Vac-All

3.4 Selección de las alternativas más convenientes

Para la selección de las alternativas más convenientes, en un esquema de gran visión con escenarios de futuro complejos, en donde existe una elevada dosis de incertidumbre, y donde lo que se pone en juego es la satisfacción de necesidades básicas de la población y posibles conflictos e intereses, resulta muy importante tener en cuenta la necesidad de considerar la pluralidad de percepciones o perspectivas de los diferentes actores interesados.

Es un hecho que en la definición de los sistemas de saneamiento intervienen diferentes factores de orden económico, técnico, ecológico, etcétera, y asociados a cada factor en ocasiones se le suman 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.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

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 valoraron 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.

De la condición de ubicación en el sistema se deriva poder interconectar zonas o sistemas de redes colindantes; por ejemplo, entre las plantas de bombeo Estadio y la planta de bombeo N° 2, para flexibilizar un poco la operación del sistema.

De los dos tipos de materiales que se compararon, PVC y PEAD, que son de uso común y fácilmente se consiguen en el mercado, como tubos y piezas especiales, se seleccionó el PVC, debido a que es el material más utilizado en las redes de Nogales, y presenta características que en el largo plazo favorecen su utilización.

En la tabla 79 se incluyen algunas características y costos de esta alternativa 1, seleccionada:

Tabla 81. Alternativas de construcción de colectores, material de la alternativa 1 (tubería PVC)

N°	COLECTOR/SUBCOLECTOR/ EMISOR	DIÁMETRO PVC (IN)	LONGITUD (KM)	COSTO (MDP)
ZONA SUROESTE, SURESTE Y SUR				
1	EMISOR PBAR	24	6.58	\$ 86.20
2	SUBCOLECTOR RECINTO FISCAL	18	3.01	\$ 31.28
3	COLECTOR UTN-AEROPUERTO	20	3.98	\$ 44.67
4	SUBCOLECTOR LOS ALTOS	18	1.78	\$ 18.46
5	SUBCOLECTOR PERIFÉRICO ORIENTE A	18	0.94	\$ 9.75
6	COLECTOR PERIFÉRICO ORIENTE	20	2.17	\$ 24.31
7	SUBCOLECTOR PEDREGOSO	18	1.07	\$ 11.15
8	COLECTOR PEDREGOSO	20	3.07	\$ 34.49
9	SUBCOLECTOR EL ÁLAMO	18	2.05	\$ 21.29
10	COLECTOR LOS ALISOS II	42	15.22	\$ 299.49
ZONA NOROESTE Y OESTE				
11	PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR REFORMA	18	1.21	\$ 12.55
12	PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR ENSUEÑO	18	0.29	\$ 3.00
13	PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR 5 DE FEBRERO	18	0.55	\$ 5.71
14	PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR LOS PIRINEOS-R. CAMPODÓNICO	18	1.96	\$ 20.35
15	PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR R. FLORES MAGÓN-LAGO PLATA	18	1.10	\$ 11.45
16	PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR TECNOLÓGICO	18	2.05	\$ 21.24
ZONA ESTE Y NORESTE				
17	SUBCOLECTOR UNISON (EXISTENTE)	18	1.34	\$ 13.86
18	PROLONGACIÓN SUBCOLECTOR BÚHOS	18	1.93	\$ 20.08
19	SUBCOLECTOR SAN CARLOS 1	18	1.97	\$ 20.43
20	SUBCOLECTOR SAN CARLOS 2	18	1.65	\$ 17.12
21	SUBCOLECTOR SAN CARLOS 3	18	1.03	\$ 10.64
22	SUBCOLECTOR SAN CARLOS 4	20	0.87	\$ 9.80



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

23	COLECTOR PEÑITAS	18	1.82	\$ 18.91
24	COLECTOR PUERTA DE ANZA	18	2.71	\$ 28.16
25	COLECTOR MASCAREÑAS	18	1.31	\$ 13.57
				\$ 807.98

Fuente: elaboración propia

Aunque la alternativa de utilizar PEAD es más económica, considerando los costos de suministro e instalación, si se toman en cuenta algunas de las ventajas de utilizar PVC, esta alternativa es más atractiva.

El PVC es más fuerte, se somete a pruebas de control de calidad más rigurosas, presenta características hidráulicas más favorables, ofrece una mejor expansión y contracción, uniones más rápidas y fáciles, requisitos más estrictos de presión y pruebas de fugas, y una instalación de accesorios menos complicada, en comparación con el PE. Estas cualidades, se suman a determinadas ventajas especiales en la construcción.

Armado más rápido: Las uniones de PVC con guarnición estanca se arman fácilmente. Las uniones de PE 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.

3.4.2 Selección de alternativas para plantas de bombeo principales

Como ha quedado descrito en el desarrollo del presente documento, el sistema de alcantarillado y saneamiento de la ciudad de Nogales opera actualmente con una estación de bombeo ubicada a un costado del estadio de béisbol y es esta planta la que permite enviar un caudal importante de aguas residuales a la PTAR Los Alisos, que es la planta de tratamiento construida para reducir el caudal enviado para tratamiento a la planta internacional, en la que mediante el acuerdo firmado en el Acta 276 de la CILA se asignó un caudal de 434 l/s para ser tratado en Estados Unidos de América, caudal que sin embargo es excedido por diferentes causas, entre otras que la capacidad actual de tratamiento en Los Alisos no permite utilizar la capacidad de la planta de tratamiento existente, la cual dispone de cinco equipos de bombeo, con capacidad de 127 l/s, cada uno, pero generalmente opera con uno solo, ya que al operar dos de estos equipos se rebasa la capacidad actual.

Sin embargo, una vez que se incremente la capacidad de tratamiento en la parte sur de la ciudad, se requerirá, además de aumentar el caudal enviado desde la planta Estadio, dar flexibilidad al sistema, ya que la PITAR de Río Rico dispone de un reducido margen de capacidad, si se toma en cuenta los caudales en exceso que cruzan a través del emisor internacional Nogales.

La posibilidad de incrementar el caudal a tratar en la parte sur de la ciudad dependerá de las siguientes acciones.

1. Incremento de la capacidad de tratamiento en la zona sur, mediante la ampliación de las PTAR existentes.
2. Aprovechar al máximo la estación de bombeo Estadio.
3. Construir una segunda planta de bombeo (PBAR 2).



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

La segunda planta de bombeo propuesta se ha identificado como planta de bombeo N° 2, que se ubicaría a la altura de la calle Kennedy que, entre las opciones analizadas, presenta la ventaja de captar el mayor caudal del colector Ruíz Cortines (264 l/s), además de facilitar la interconexión del sistema con el correspondiente a la estación de bombeo Estadio y emisor Los Alisos.

Los requerimientos de los equipos de bombeo se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 82. Resumen de los requerimientos calculados para la PBAR N° 2, calle Kennedy

PBAR-2 (ALTERNATIVA 2, CALLE JOHN F. KENNEDY)			
Conducto	EMISOR ALISOS II		
Material del tubo a presión	PVC		
Caudales	Q _{med} (l/s)	Q _{max-inst} (l/s)	Q _{max-ext} (l/s)
	250.00	328.50	492.00
Carga estática (m)	100		
Carga dinámica (m)	105.29	109.1	120.48
Potencia requerida/EQUIPO (HP)	507.96	690.59	1,143.91

Fuente: elaboración propia

Tabla 83. Caudal medio, máximo y número de equipos de la planta de bombeo N° 2

PLANTAS DE BOMBEO	Q _{med} (l/s)/Equipo	Q _{max} (l/s)	N° Equipos	HP /equipo
Planta de bombeo N°2	250 l/s	1000.0	4	500

Fuente: elaboración propia

3.4.3 Selección de alternativas para plantas de tratamiento

Es importante subrayar que la PTAR Los Alisos es una planta de lodos activados que ha funcionado con buenos resultados, y el personal que opera ha adquirido experiencia en este tipo de plantas, por lo que de las alternativas para plantas de tratamiento comparadas, la tecnología de lodos activados convencionales, o con alguna de sus variantes, es la recomendable.

Dispone, asimismo, de un campo solar fotovoltaico, de aproximadamente 2 hectáreas de superficie, que además puede ampliarse.

El costo aproximado de la planta de tratamiento es de 300 mdp, y se plantea que se construya en dos etapas de 375 l/s, cada una.

Tabla 84. Planta de tratamiento para atender la demanda futura al año 2050 de Nogales, Son

CONCEPTO	INVERSIÓN (MDP)	INICIO	TÉRMINO
Construcción y puesta en marcha de la PTAR a base de lodos activados, modular para 750 l/s (primer módulo de 375 l/s)	150.00	2025	2026
Construcción y puesta en marcha de la PTAR a base de lodos activados, modular para 750 l/s (segundo módulo de 375 l/s)	150.00	2032	2032
	300.00		

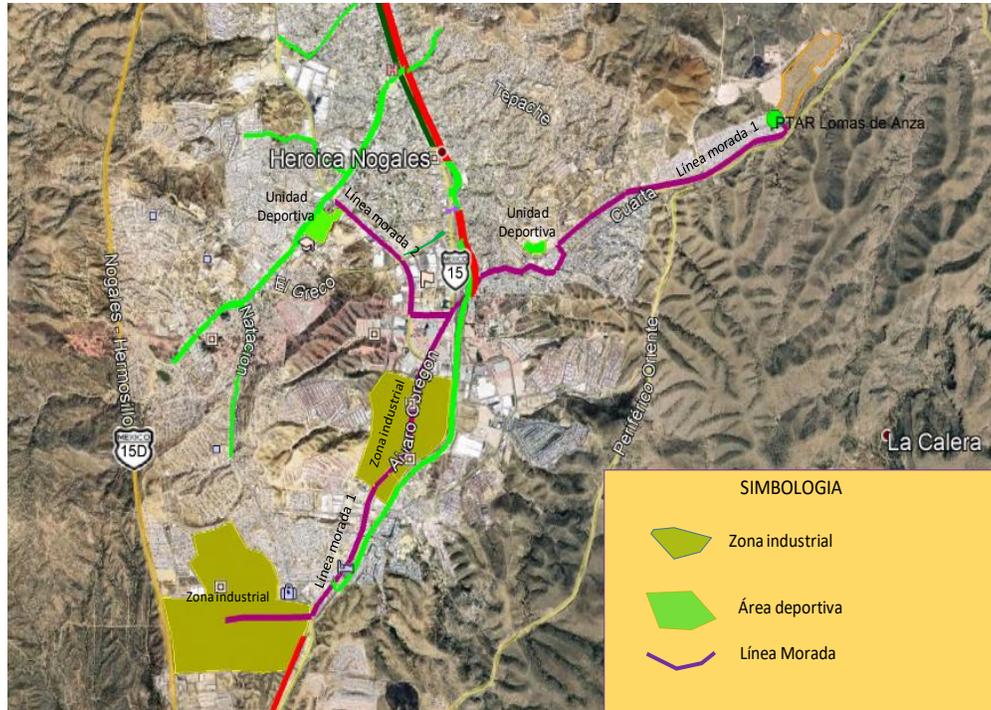
Fuente: elaboración propia

3.4.4 Selección de alternativas para infraestructura para el reúso de agua

La alternativa analizada considera aprovechar el agua tratada en las plantas del noreste de la ciudad y traerla mediante la línea morada 1, de 10.1 km y 20.3 cm (8 pulgadas) de diámetro, hasta las zonas

industriales de la ciudad, y derivar la línea morada 2, de 2.1 km de longitud y 15.6 cm (6 pulgadas) de diámetro, hacia la unidad deportiva de la avenida Tecnológico.

Ilustración 37. Alternativa de líneas moradas



Fuente: elaboración propia

En este trazo existe un mercado potencial para las aguas residuales tratadas, encontrándose negocios del tipo de lavados de autos, parques y jardines, unidades deportivas, zonas industriales y camellones con plantas.

3.4.5 Alternativas para infraestructura complementaria e instrumentación

Como ya se ha mencionado en este documento, uno de los problemas que se tienen en las atarjeas y colectores, es el azolve y basura arrastrada durante la temporada de lluvias, y que de alguna manera entra y obstruye los conductos. Para atender esta problemática, una de las soluciones es contar con equipo de desazolve móvil, que pueda desplazarse a cualquier zona de la ciudad.

La propuesta es adquirir camiones con equipo hidroneumático y disponer de estos equipos en la temporada de lluvias.

Para el caso del subcolector Tecnológico, se encuentra en estudio la posible solución estructural que permita disminuir la cantidad de arena que entra a los conductos y que llega a la estación de bombeo Estadio, provocando problemas de desgaste prematuro en los equipos.

Tabla 85. Alternativas de infraestructura complementaria

CONCEPTO	INVERSIÓN (MDP)	INICIO	TÉRMINO
Adquisición de equipo para mantenimiento y desazolve de redes de alcantarillado	12.00	2021	2021



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

CONCEPTO	INVERSIÓN (MDP)	INICIO	TÉRMINO
Construcción de sistema desarenador en la cuenca arroyo Tecnológico (protección cárcamo de bombeo de aguas residuales Estadio de Béisbol)	3.50	2021	2021
	15.50		

Fuente: elaboración propia

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 proveerlos de los recursos que se requieren para su ejecución.

La integración de la cartera de acciones y proyectos está sujeta a un proceso previo, bajo diversos criterios de priorización que pasan por la revisión y selección de alternativas, para obtener el soporte y maduración de cada proyecto, que incluye consensos, ingeniería básica, estudios, e ingeniería de detalle, para que puedan ejecutarse en el tiempo adecuado.

El proceso descrito incluye varias fases del proyecto, que van desde su identificación, hasta su ejecución; estas fases comprenden dos grandes conceptos: preinversión e inversión, y 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.

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 38. 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 todas 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.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

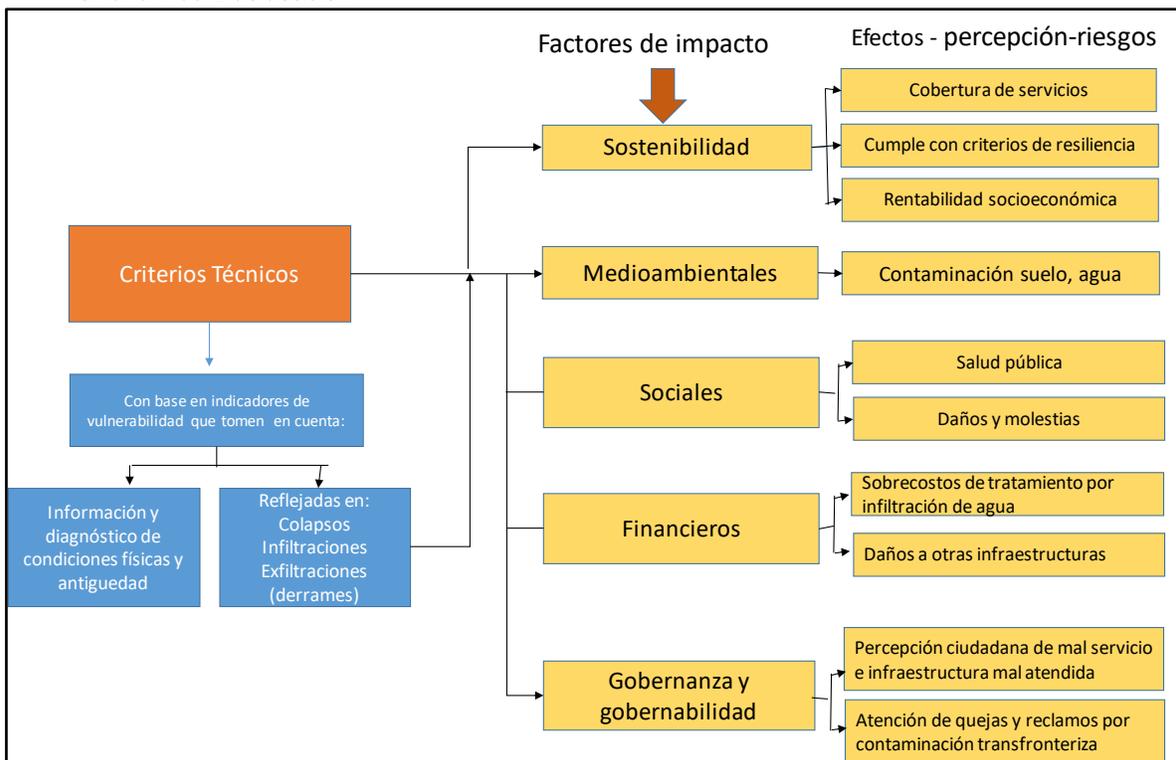
Por las razones expuestas, un esfuerzo inicial de planeación y de la estimación de aplicación de recursos, podría hacerse a partir de definir una parte del presupuesto anual a los siguientes conceptos:

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

Por supuesto la decisión estaría sujeta al análisis y a lo que decidan los responsables del servicio, municipio, estado y Federación, tomando en cuenta la opinión 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 una calificación de dichos efectos que indique que las infraestructuras incrementan lo positivo y evitan los efectos negativos, como se ilustra en la ilustración 3.16

Ilustración 39. Criterios y factores de impacto de la infraestructura propuesta que pudieran reflejarse en una matriz de decisión



Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

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

Las acciones y proyectos, relacionados con 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 requieren atención prioritaria para evitar colapsos en el sistema y que se produzcan problemas sanitarios en la población de Nogales, y que además sean susceptibles de causar daños en ambos lados de la frontera.

En este sentido, las acciones y proyectos prioritarios son los que se refieren a la reposición y rehabilitación de la infraestructura que se encuentra deteriorada o requiere ser reparada o modificada para mejorar su funcionamiento; asimismo considera la infraestructura que se necesita para incorporar al servicio de alcantarillado a zonas de la ciudad que carecen del mismo.

Tabla 86. Atarjeas, colectores y emisores que requieren reposición o rehabilitación

CONCEPTO	INVERSIONES EN MILLONES DE PESOS					PERÍODO	
	TOTAL	FEDERAL	ESTATAL -MPAL	BDAN	PRIVADO	INICIO	TÉRMINO
Rehabilitación del emisor internacional de Nogales	25.18	25.18	-	-	-	2021	2021
Rehabilitación de colector Ruiz Cortines de 30", con una longitud de 3152 m, entre calle Héroes y calle Tepic, tubería de PVC sanitario de 30", serie 20. Construcción de 29 pozos de visita y 194 descargas domiciliarias de aguas negras.	22.80	9.12	13.68	-	-	2021	2021
Rehabilitación de pozos de visita en el emisor a gravedad Los Alisos, Nogales, SO	2.45	0.98	1.47	-	-	2021	2021
Rehabilitación de la red de alcantarillado sanitario con tubería de 8" de diámetro de PVC, en las colonias: Kennedy, Esperanza, Granja, Prolongación del Valle, CTS-CROC, 5 de Mayo y Manlio Fabio Beltrones.	6.70	3.35	3.35	-	-	2021	2021
Rehabilitación de la red de alcantarillado sanitario, sector ITN (desde sector ITN hasta el entronque con la avenida Tecnológico)	0.97	0.39	0.58	-	-	2021	2021
Construcción del colector en el arroyo Los Nogales, de 24" de diámetro, material de PVC, con una longitud de 1.01 km. Tramo: de calle Colegio Militar a la calle Primavera, colonia Ferrocarrilera, Nogales, SO.	15.15	6.06	9.09	-	-	2022	2024
Rehabilitación de 5.8 km de la red de alcantarillado de 8" de diámetro, de material PVC, deteriorado por antigüedad, en el sector centro de la ciudad, Nogales, SO.	23.00	11.50	11.50	-	-	2021	2021
Rehabilitación de redes de alcantarillado con tuberías de 8" de diámetro, de material PVC, en las calles: Cananea, Brasil, Priv. del Noyal, Estado de Colima, Sierra Aconchi, Jalapa, Cajeme y Amatista 2.	6.68	2.672	4.008			2022	2024
Reposición de 14.2 km de atarjeas de la red de alcantarillado (8, 10 y 12 pulgadas de diámetro), de tubería que cumplió su vida útil, sector centro de la ciudad, Nogales, SO.	70.00	21	21	28		2025	2030
Reposición de 20 km de atarjeas de la red de alcantarillado (8, 10 y 12 pulgadas de diámetro), de tubería que cumplió su vida útil, sector centro de la ciudad, Nogales, SO.	100.00	30	30	40		2031	2050
Construcción para reubicación de 3 km del emisor a gravedad Los Alisos, de 24" de diámetro, material de PVC, (margen derecha de la Carretera Federal 15)	32.60	13.04	19.56	-	-	2021	2021



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

CONCEPTO	INVERSIONES EN MILLONES DE PESOS					PERÍODO	
	TOTAL	FEDERAL	ESTATAL -MPAL	BDAN	PRIVADO	INICIO	TÉRMINO
Rehabilitación de sistemas de la red de alcantarillado sanitario con tubería de 8" de diámetro y material de PVC, en calles: Estado Quintana Roo, Arcadia, Callejón Michoacán y San Marcos.	0.72	0.36	0.36	-	-	2022	2024
Construcción de la red de alcantarillado sanitario, de acuerdo con el Proyecto Ejecutivo, en la colonia Colinas del Sol, Nogales, SO.	7.50	3.00	4.50	-	-	2022	2024
Construcción de la red de alcantarillado con tubería de 8" de diámetro, material de PVC, en la calle Sierra Madre Occidental.	5.00	2.50	2.50	-	-	2022	2024
Construcción de la red de alcantarillado para la comunidad rural de Mascareñas.	13.56	5.42	8.14	-	-	2022	2024
TOTAL	332.31	134.58	129.74	68.00	-		

Fuente: elaboración propia

En las siguientes tablas se enlistan los colectores, subcolectores y emisores para las áreas de crecimiento de las zonas de expansión, suroeste, sureste, y sur de la ciudad; en estos se incluye la prolongación de los subcolectores existentes.

Tabla 87. Subcolectores, colectores y emisores de las zonas de crecimiento suroeste, sur y sureste de Nogales al año 2050

CONCEPTO	INVERSIONES EN MILLONES DE PESOS					PERÍODO	
	TOTAL	FEDERAL	ESTATAL -MPAL	BDAN	PRIVADO	INICIO	TÉRMINO
Construcción del colector sur Alisos II, de 15.22 kilómetros de longitud y 42" de diámetro de PVC.	299.49	89.85	59.90	149.75	-	2022	2024
Construcción del colector Hospital General Sur (UNISON), de 18" de diámetro de material de PVC, con una longitud de 1.02 km.	13.86	5.54	8.32	-	-	2025	2030
Construcción del emisor Alisos II (PBAR-2) de 24" de diámetro de material de PVC, con una longitud de 6.58 km.	86.20	34.48	51.72	-	-	2022	2030
Construcción del colector UTN-AEROPUERTO, de 20" de diámetro de material de PVC, con una longitud de 3,98 Km.	44.67	17.87	26.80	-	-	2031	2050
Construcción del subcolector Recinto Fiscal, de 18" de diámetro de material de PVC, con una longitud de 3.01 km.	31.28	12.51	18.77	-	-	2031	2050
Construcción del colector Periférico Oriente, de 20" de diámetro de material de PVC, con una longitud de 2,165.04 m.	24.31	9.72	14.59	-	-	2031	2050
Construcción del subcolector Periférico Oriente A, de 18" de diámetro de material de PVC, con una longitud de 939.58 m.	9.75	3.90	5.85	-	-	2031	2050
Construcción del colector Peñitas de 18" de diámetro de material de PVC, con una longitud de 1.82 Km.	18.91	7.56	11.35	-	-	2025	2030
Construcción del colector Pedregoso, de 20" de diámetro de material de PVC, con una longitud de 3.07 Km.	34.39	13.76	20.63	-	-	2031	2050
Construcción del subcolector Pedregoso de 18" de diámetro de material de PVC, con una longitud de 1.07 km.	11.15	4.46	6.69	-	-	2031	2050
Construcción de la prolongación del subcolector Búhos, de 18" de diámetro de material de PVC, con una longitud de 1.93 km.	20.08	8.03	12.05	-	-	2031	2050
Construcción del colector Los Altos, de 18" de diámetro de material de PVC, con una longitud de 1.78 km.	18.46	7.38	11.08	-	-	2031	2050
Construcción del colector El Álamo de 18" de diámetro de material de PVC, con una longitud de 2.051 km.	21.29	8.52	12.77	-	-	2031	2050



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

CONCEPTO	INVERSIONES EN MILLONES DE PESOS					PERÍODO	
	TOTAL	FEDERAL	ESTATAL -MPAL	BDAN	PRIVADO	INICIO	TÉRMINO
TOTAL	633.84	223.59	260.51	149.75			

Fuente: elaboración propia

Enseguida se enlistan los subcolectores de las áreas en crecimiento, localizados al noroeste y oeste, los cuales se conectarán a la infraestructura existente; se ubican en zonas que actualmente presentan asentamientos en proceso o con urbanización incipiente, por lo que posiblemente demandarán servicio de alcantarillado y saneamiento en el mediano plazo. Por otra parte, también se incluyen los subcolectores de las zonas de expansión al sureste, sur y suroeste de la ciudad, los cuales se desarrollarán en el mediano y largo plazos, ya que son las áreas de expansión de mayor amplitud, por lo que tardarán en desarrollarse un periodo más amplio.

Tabla 88. Subcolectores de las áreas de crecimiento noroeste y oeste de Nogales al año 2050

CONCEPTO	INVERSIONES EN MILLONES DE PESOS					PERÍODO	
	TOTAL	FEDERAL	ESTATAL -MPAL	BDAN	PRIVADO	INICIO	TÉRMINO
Construcción de la prolongación del subcolector Reforma de 18" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 1.21 km.	12.55	5.02	7.53	-	-	2022	2024
Construcción de la prolongación del subcolector Ensueño de 18" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 0.29 m.	3.00	1.20	1.80	-	-	2031	2050
Construcción de la prolongación del subcolector 5 de Febrero, de 18" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 0.55 km.	5.71	2.28	3.43	-	-	2022	2024
Construcción de la prolongación del subcolector Los Pirineos-Rodolfo Campodónico, de 8" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 1.96 km.	20.35	8.14	12.21	-	-	2022	2024
Construcción de la prolongación del subcolector Ricardo Flores Magón-Lago Plata, de 8" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 1.1 km.	11.45	4.58	6.87	-	-	2022	2024
Construcción de la prolongación del subcolector Tecnológico de 18" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 2.05 Km.	21.24	8.50	12.74	-	-	2022	2024
Construcción del subcolector San Carlos 1, de 18" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 1.97 km.	20.43	8.17	12.26	-	-	2025	2030
Construcción del subcolector San Carlos 2, de 18" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 1.65 km.	17.12	6.85	10.27	-	-	2025	2030
Construcción del subcolector San Carlos 3, de 18" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 1.03 km	10.64	4.26	6.38		-	2025	2030
Construcción del subcolector San Carlos 4, de 20" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 0.87 km.	9.80	3.92	5.88			2025	2030
Construcción del subcolector Puerta de Anza de 18" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 2.71 km.	28.16	11.26	16.90	-	-	2025	2030
Construcción del colector Mascareñas, de 18" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 1.31 km.	13.57	5.43	8.14	-	-	2025	2030
TOTAL	633.84	223.59	260.51	149.75			

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

3.5.2 Acciones y proyectos para plantas de bombeo principales

Tabla 89. Acciones y proyectos para plantas de tratamiento

CONCEPTO	INVERSIONES EN MILLONES DE PESOS					PERÍODO	
	TOTAL	FEDERAL	ESTATAL-MPAL	BDAN	PRIVADO	INICIO	TÉRMINO
Rehabilitación electromecánica y actualización de equipo eléctrico de la PBAR Estadio	2.5	1	1.5			2021	2021
Construcción de la planta de bombeo N° 2 en la avenida Kennedy; incluye equipamiento mecánico, eléctrico, hidráulico para un gasto medio de 250 l/s, y obra civil.	25.70	5.14	5.14	15.42		2031	2050
TOTAL	28.20	6.14	6.64	15.42			

Fuente: elaboración propia

3.5.3 Acciones y proyectos para plantas de tratamiento

En las condiciones actuales del sistema de saneamiento, la necesidad más urgente nos refiere a la ampliación de la PTAR Los Alisos, de la que depende una zona muy importante de la ciudad y de las zonas de crecimiento urbano.

Tabla 90. Acciones y proyectos para plantas de tratamiento de Nogales al año 2050

CONCEPTO	INVERSIONES EN MILLONES DE PESOS					PERÍODO	
	TOTAL	FEDERAL	ESTATAL-MPAL	BDAN	PRIVADO	INICIO	TÉRMINO
Equipamiento de la 2.ª etapa de la PTAR Los Alisos (110 l/s; la obra civil ya existe)	34.63	34.63	-	-	-	2021	2021
Rehabilitación y ampliación de la planta tratadora de 30 a 70 l/s en el fraccionamiento La Mesa. Equipo electromecánico y electrificación alta y media tensión, puesta en marcha y operación y ampliación de la capacidad de tratamiento de la PTAR	30.00	4.50	3.00	22.50		2021	2021
Ampliación del 4.º módulo de 110 l/s de la PTAR Los Alisos, (incremento de la capacidad de 330 a 440 l/s)	45.00	6.75	6.75	31.50		2022	2024
Ampliación de la PTAR Puerta de Anza, 2.ª etapa con un módulo de 15 l/s (de 45 a 60 l/s)	15.00	2.25	2.25	10.50		2021	2021
Construcción la PTAR Las Peñitas en la colonia Colinas del Sol	34.25	5.14	5.14	23.98		2022	2024
Construcción de la planta de tratamiento en la comunidad rural Mascareñas, Nogales, SO.	22.50	9.00	13.50		-	2022	2024
Construcción de la nueva planta de tratamiento de aguas residuales de lodos activados para 500 l/s (dos módulos 250 l/s)	300.00	45.00	45.00	-	210.00	2031	2050
Total	481.38	107.27	75.64	88.48	210.00		

Fuente: elaboración propia

Tabla 91. Estudios y proyectos de alcantarillado y saneamiento

CONCEPTO	INVERSIONES EN MILLONES DE PESOS					PERÍODO	
	TOTAL	FEDERAL	ESTATAL-MPAL	BDAN	PRIVADO	INICIO	TÉRMINO
Proyecto ejecutivo de la planta de tratamiento de la comunidad rural Mascareñas, Nogales, SO.	2.00	0.8	1.20	-	-	2021	2021
Proyecto ejecutivo de la red de alcantarillado y de la PTAR en la colonia Colinas del Sol	2.00	0.8	1.20	-	-	2022	2024
Total	4.00	1.6	2.40				

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

3.5.4 Acciones y proyectos para infraestructura para el reúso de agua

Una alternativa a considerar en las condiciones actuales consiste en desarrollar una red morada a partir de la planta de tratamiento de Lomas del Sol, que es la que requiere menor longitud a construir para acercar aguas residuales tratadas a usuarios potenciales en la ciudad de Nogales.

Si existe un retorno de la inversión adecuado, el organismo operador evaluará la posibilidad de realizar el proceso, buscando la fuente de recursos que convenga.

Tabla 92. Acciones y proyectos para reúso de aguas residuales tratadas (línea morada)

Concepto	Inversión (mdp)	Inicio	Término
Construcción de red morada en una longitud de 10.1 km, de 8 pulgadas de diámetro y 2.1 km de tubería de 6 pulgadas de diámetro, ambos tramos de PVC.	71.45	2025	2030

Fuente: elaboración propia

3.5.5 Acciones y proyectos para infraestructura complementaria e instrumentación

Tabla 93. Acciones y proyectos de infraestructura complementaria

Concepto	Inversión (mdp)	Inicio	Término
Construcción de sistema desarenador en la cuenca del arroyo Tecnológico (protección cárcamo de rebombeo de aguas residuales Estadio de Béisbol)	3.5	2021	2021

Fuente: elaboración propia

4 Organización y alternativas de financiamiento

Actualmente el presupuesto del sector público, en general, y el relacionado con el sector hídrico, en particular, conforme a lo observado en años recientes presenta problemas para enfrentar por sí solo los retos de inversión para ampliación y mejora de infraestructura, por lo que la búsqueda de diversas fuentes de inversión tendrá que ser un objetivo primordial.

Además de los recursos propios de los organismos, las fuentes de la banca de desarrollo y la participación del sector privado es un tema que debe profundizarse, para definir hasta dónde deberá incrementarse este tipo de inversiones, mediante la colaboración con el sector público en la provisión de servicios, ya sea de manera directa (proveedor), o a través de la inyección de recursos de capital que permitan el desarrollo de las obras de 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.

Entre las acciones que tendrían que impulsarse para la sostenibilidad de los sistemas de agua y saneamiento, se encuentran: el establecimiento de una política de recaudación más eficaz; la aplicación de tarifas más realistas, y la ampliación de los esquemas de administración descentralizada.

4.1 Análisis de opciones de organización y modalidades de financiamiento

El financiamiento de las obras de saneamiento generalmente encuentra muchas dificultades para la obtención adecuada para su desarrollo y mantenimiento, debido a varios factores, entre otros, que la infraestructura requerida para los servicios de saneamiento es muy costosa y se amortiza en



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

períodos prolongados y, una vez construida, representa un costo irrecuperable con poco valor 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.

El presente planteamiento para la ciudad de Nogales considera un monto de inversiones de 1,740 mdp en 54 acciones y proyectos, con los que se estima atender el déficit actual y la demanda futura de alcantarillado y saneamiento, con una organización del financiamiento como se muestra en el siguiente resumen:

Tabla 94. Inversiones por tipo de infraestructura y fuente de financiamiento

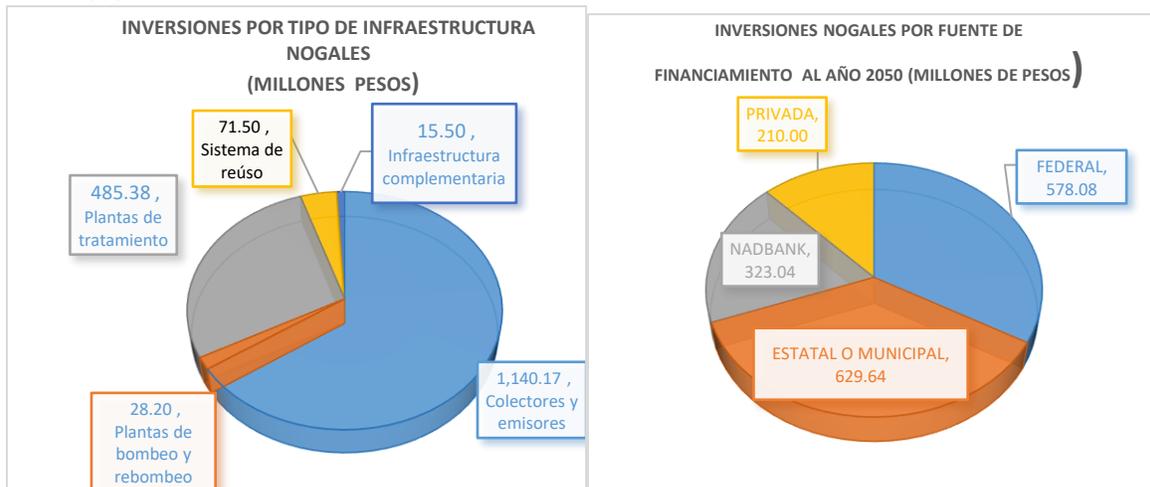
CONCEPTO	INVERSIÓN (mdp)	FUENTES DE FINANCIAMIENTO (mdp)			
		Federal	Estatal o Mpal.	NADBANK	Privado
Colectores y emisores	1,140.17	427.77	494.66	217.75	-
Rehabilitación	273.65	110.61	95.04	68.00	-
Ampliación		866.52	317.16	399.62	149.75
Plantas de bombeo y rebombeo	28.20	6.14	6.64	15.42	-
Rehabilitación	2.50	1.00	1.50	-	-
Ampliación	25.70	5.14	5.14	15.42	-
Plantas de tratamiento	485.38	108.87	78.04	88.48	210.00
Ampliación	481.38	107.27	75.64	88.48	210.00
Estudios y proyectos	4.00	1.60	2.40	-	-
Sistema de reúso	71.50	28.60	42.90	-	-
Ampliación	71.50	28.60	42.90	-	-
Infraestructura complementaria	15.50	6.70	7.40	1.40	-
Ampliación	15.50	6.70	7.40	1.40	-
TOTAL	1,740.75	578.08	629.64	323.04	210.00

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 40. Inversiones por tipo de infraestructura y fuente de financiamiento de Nogales al año 2050



Fuente: elaboración propia

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:

Recursos federales

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA): es un organismo del Gobierno federal que administra, emite normas relativas a los usos del agua en México y apoya con diversos programas la creación de infraestructura y acciones para el mejor desempeño de sistemas usuarios del agua; depende de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), que se encarga de apoyar y desarrollar normativas ambientales. Además, la CONAGUA es un órgano consultivo con respecto a las 13 regiones hidrológico-administrativas en que se subdivide la gestión del agua en el país.

BANOBRAS: es un organismo que se encarga de financiar o refinanciar proyectos de inversión en infraestructura (tanto públicos como privados) o servicios públicos de los Gobiernos federal, estatales y municipales. Es dependiente de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), y administra el Fondo Nacional de Infraestructura

Recursos locales (recursos propios, estatales y municipales)

GOBIERNOS ESTATALES/MUNICIPALES: son los responsables, a través de su organización administrativa, de los programas y acciones específicas en la prestación de los servicios para el suministro de agua potable y saneamiento. Disponen de participación en los organismos operadores y son decisivos a la hora de impulsar proyectos de inversión.

ORGANISMOS OPERADORES: son los encargados de proporcionar directamente a la población los servicios de agua potable, drenaje y alcantarillado. Planean y administran la infraestructura y recaudan recursos para operar los sistemas. Históricamente han presentado problemas de eficiencia, y en general tienen problemas de sostenibilidad financiera.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

CONCESIONARIAS: son empresas que en ocasiones se contratan para desarrollar en zonas designadas actividades vinculadas con el sistema comercial, infraestructura hidráulica y otras inherentes que forman parte de los servicios públicos de agua potable, drenaje y alcantarillado, así como de tratamiento de aguas residuales.

Otros organismos, instituciones y fuentes de financiamiento que apoyan el financiamiento de infraestructura

BANCO DE AMERICA DEL NORTE (BANDAN-NADBANK): es una fuente específica para la región de la frontera norte que se orienta al fortalecimiento de lazos y alianzas estratégicas entre México y Estados Unidos, para posibilitar estrategias orientadas a resolver problemas de interés en el ámbito socioambiental.

El BANDAN financia infraestructura a través de créditos, y a través de recursos no reembolsables; es decir, recursos sin contrapartida. Sin embargo, es posible observar cómo estas dos fuentes de financiamiento del banco pueden utilizarse conjuntamente para ofrecer un mayor porcentaje de recursos para financiar los proyectos de infraestructura.

Los recursos no reembolsables para proyectos de saneamiento se constituyen por fondos BEIF (por sus siglas en inglés), que es un fondo establecido por la 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 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 en el desarrollo de soluciones binacionales, consistentes en proyectos de infraestructura que dan solución a problemáticas ambientales que afectan 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 la de los noventa del siglo anterior. Estas asociaciones constituyen alianzas entre el sector público y uno o más socios privados en las que se establecen contratos de largo plazo con distribución de riesgos y responsabilidades entre las partes para la construcción, operación y administración de infraestructura para la provisión de un servicio público.

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

Los estudios y proyectos pueden ser realizados utilizando diversas fuentes de financiamiento, ya sea con recursos propios, o mediante los programas del Banco de América del Norte (BANDAN), o bien apoyándose en los programas como el PRODI, que tiene una componente de estudios e infraestructura en las que pueden incluirse estudios de:

- Eficiencia operativa y comercial.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

- 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.
- Asesorías Estratégicas.
- Plantas Desaladoras.
- Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).
- Sostenibilidad Operativa y Financiera.

4.1.2 Planteamiento de opciones de organización para la ejecución

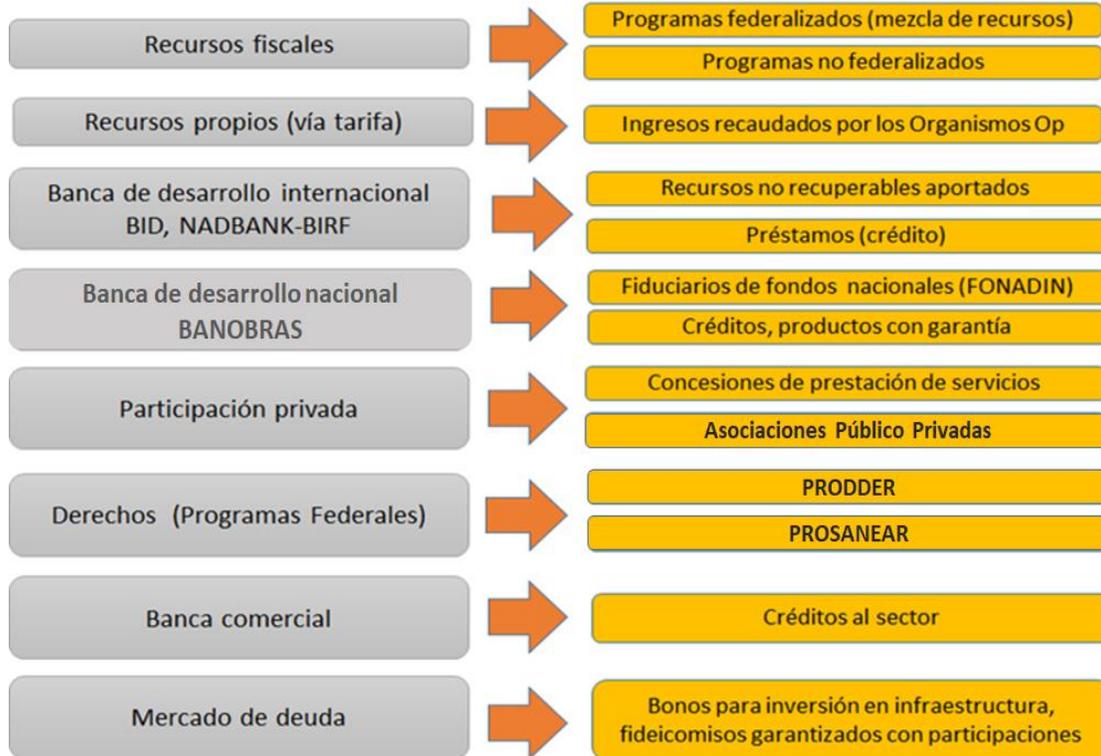
Ante el contexto actual, resulta evidente que los desafíos del financiamiento de la infraestructura son muy grandes y requerirán de una mayor complementación entre los recursos propios de los organismos operadores, el sector privado, el sector público y la banca de desarrollo, así como también motiva a encontrar nuevas fuentes e instrumentos para financiar la infraestructura de saneamiento en la región.

Una identificación general de fuentes de financiamiento se muestra en la siguiente figura.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 41. Identificación de fuentes de financiamiento en la región fronteriza norte de México



Fuente. Elaboración propia

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

Ilustración 42. Fuentes de financiamiento para la ejecución de obras



Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 95. 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 y Saneamiento (PRODI); Agua Limpia (AAL) y Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (APTAR).	Incrementar y sostener la cobertura y/o eficiencias de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, a través del apoyo al financiamiento de obras de infraestructura y acciones para el desarrollo de dichos servicios, en localidades urbanas y rurales del país.	Costo per cápita será hasta de \$7,164.00, Apoyo entre 30 y 40 % Poblaciones >500,000 hab	
	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 2,500 habitantes, que permitan avanzar en el cumplimiento del derecho al acceso, disposición y saneamiento del agua	Costo per cápita será hasta de \$7,164.00, Poblaciones >500,000 hab Apoyos entre 30 y 40 %	
	PRODI	Desarrollar capacidades técnicas, operativas, recaudatorias y administrativas para mejorar la calidad del servicio de agua potable en poblaciones, preferentemente entre 50,000 y 900,000 habitantes, La finalidad será impulsar su sostenibilidad operativa y financiera mediante la reducción de costos de operación, el incremento de los ingresos propios y la reducción de pérdidas físicas de agua.	Base = 40 % Monto de Programa Hasta 70 % en zonas de atención prioritaria	
	Programa financiado parcialmente con crédito externo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).	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



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 96. Programas con base en la devolución del pago de derechos: CONAGUA

Programa/Dependencia (tipo de recursos)	Descripción/(apartado)	Propósito	*Monto
PROSANEAR/CONAGUA Devolución de Derechos	El Programa de Saneamiento de Aguas Residuales (PROSANEAR), tiene como objetivo la asignación de recursos federales provenientes del pago de derechos por el uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la Nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales.	Apoyar acciones de construcción o implementación de infraestructura, operación y mejoramiento de eficiencia de saneamiento encaminadas a mejorar o mantener la calidad de las aguas residuales a fin de no rebasar los límites permisibles establecidos en los permisos correspondientes y la normatividad aplicable.	Recursos Federales=Monto del Pago de Derechos en el ejercicio fiscal al 15 de noviembre.
PRODDER/CONAGUA	El objetivo principal del Programa de Devolución de Derechos (PRODDER) es asignar recursos a los prestadores de servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento provenientes del pago de derechos para que realicen acciones de mejora de eficiencia.	Apoyo a los Prestadores de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento para incrementar eficiencias, coberturas y mejorar la prestación del servicio. Promoción de la inversión en infraestructura hídrica.	Recursos Federales=Monto del Pago de Derechos en el ejercicio fiscal al 15 de noviembre.

Fuente: elaboración propia

Tabla 97. Fuentes de financiamiento: recursos de la banca de desarrollo nacional e internacional

Programa/Banco	Descripción/(apartado)	Propósito	Monto
(FONADIN),BANOBRAS Banca de desarrollo nacional	Para impulsar obras de infraestructura social, (Banobras), implementa el Programa para la Modernización de Organismos Operadores de Agua (Promagua), destina apoyos no recuperables para el financiamiento parcial de estudios y proyectos a través del FONADIN.	Construcción de: Acueductos Plantas desaladoras Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Sostenibilidad operativa y financiera	Apoyos financieros hasta del 50 por ciento para la elaboración de estudios de preinversión, así como hasta del 49 por ciento del costo total del proyecto.
Banco de Desarrollo de América del Norte (NADBANK) Institución financiera bilateral en el marco del Tratado de Libre Comercio y capitalizada en partes iguales por México y Estados Unidos	Desarrollar proyectos sustentables desde un punto de vista ambiental y financiero, con amplio apoyo comunitario, en un marco de colaboración y coordinación estrechas entre los dos países.	Financiamiento a entidades públicas y privadas de la región fronteriza México y Estados Unidos, para apoyar la implementación de proyectos de infraestructura ambiental.	De acuerdo con las características del proyecto y las necesidades financieras del promotor, entre las cuales se incluyen créditos directos, líneas de crédito revolvente y participación en emisiones de bonos municipales.

Fuente: elaboración propia

4.1.3 Planteamiento de opciones de organización para la operación y mantenimiento

La operación y mantenimiento del sistema de alcantarillado y saneamiento corresponde al OOMAPAS Nogales, y los recursos que se aplican provienen de la recaudación por el cobro de los servicios. Los organismos operadores también reciben algunos recursos presupuestarios que provienen de devolución de impuestos o de subsidios federales, específicos para operación, como los del Programa de Devolución de Derechos (PRODDER).

En el 2019, del total ejercido por el OOMAPAS, el 65 por ciento correspondió a operación y mantenimiento.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 98. Gasto ejercido en el 2019 por el OOMAPAS Nogales

PARTIDA	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	ADMON	SISTEMA COMERCIAL	TOTAL
SUELDOS Y PRESTACIONES	81,975,616.76	26,208,168.58	50,310,311.23	158,494,096.57
MATERIALES Y SUMINISTROS	29,555,041.01	1,870,442.60	9,852,064.79	41,277,548.40
ENERGÍA ELÉCTRICA	86,207,518.16	473,323.00	168,355.00	86,849,196.16
PAGO DE DERECHOS DE AGUA Y DESGARGAS DE AGUA RESIDUAL	3,238,325.40	10,635.00	1,040.00	3,250,000.40
GASTOS POR SERVICIOS EXTERNOS (OUTSOURCING: LIMPIEZA, AUDITORÍAS, ETCÉTERA)	33,414,138.03	12,064,220.14	8,361,093.98	53,839,452.15
AMORTIZACIÓN DE CRÉDITOS	0.00	14,321,618.73	0.00	14,321,618.73
AYUDAS SOCIALES	0.00	104,256.12	133,434.98	237,691.10
ACTIVOS	1,151,262.27	375,856.78	557,942.27	2,085,061.32
TOTAL	235,541,901.63	55,428,520.95	69,384,242.25	360,354,664.83

Fuente: Información OOMAPAS-Nogales

Por lo anterior, la actualización tarifaria tendrá que ser una de las prioridades del organismo operador, conforme a los gastos reales, vinculada a estructuras de costos, finanzas e inversiones, para que pueda ser evaluada y modificada en cada ejercicio fiscal, de acuerdo con los escenarios y proyecciones que generen beneficios económicamente viables y socialmente aceptables, de acuerdo con las capacidades de pago de cada sector.

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 e impactar directamente en la salud pública de la población. Por eso ante un evento de este tipo es fundamental y prioritario garantizar la continuidad y calidad de los servicios de agua potable y saneamiento, lo que lleva a pensar en la necesidad de desarrollar procesos eficientes de coordinación, planeación y organización, orientados a la reducción del riesgo.

Para comprender el tema, ya que existen diversas formas de abordarlo, es necesario recordar tres conceptos que nos permitirán uniformar los criterios del análisis.

- **Amenaza:** la entenderemos como la probabilidad de que ocurra un fenómeno potencialmente dañino de origen diverso: natural, político o administrativo.
- **Vulnerabilidad:** entendida como la susceptibilidad física, económica, política o social que tiene una organización o una comunidad 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 en 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 medidas necesarias para la eliminación o disminución de riesgos, y mitigar los impactos.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

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 a 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 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.

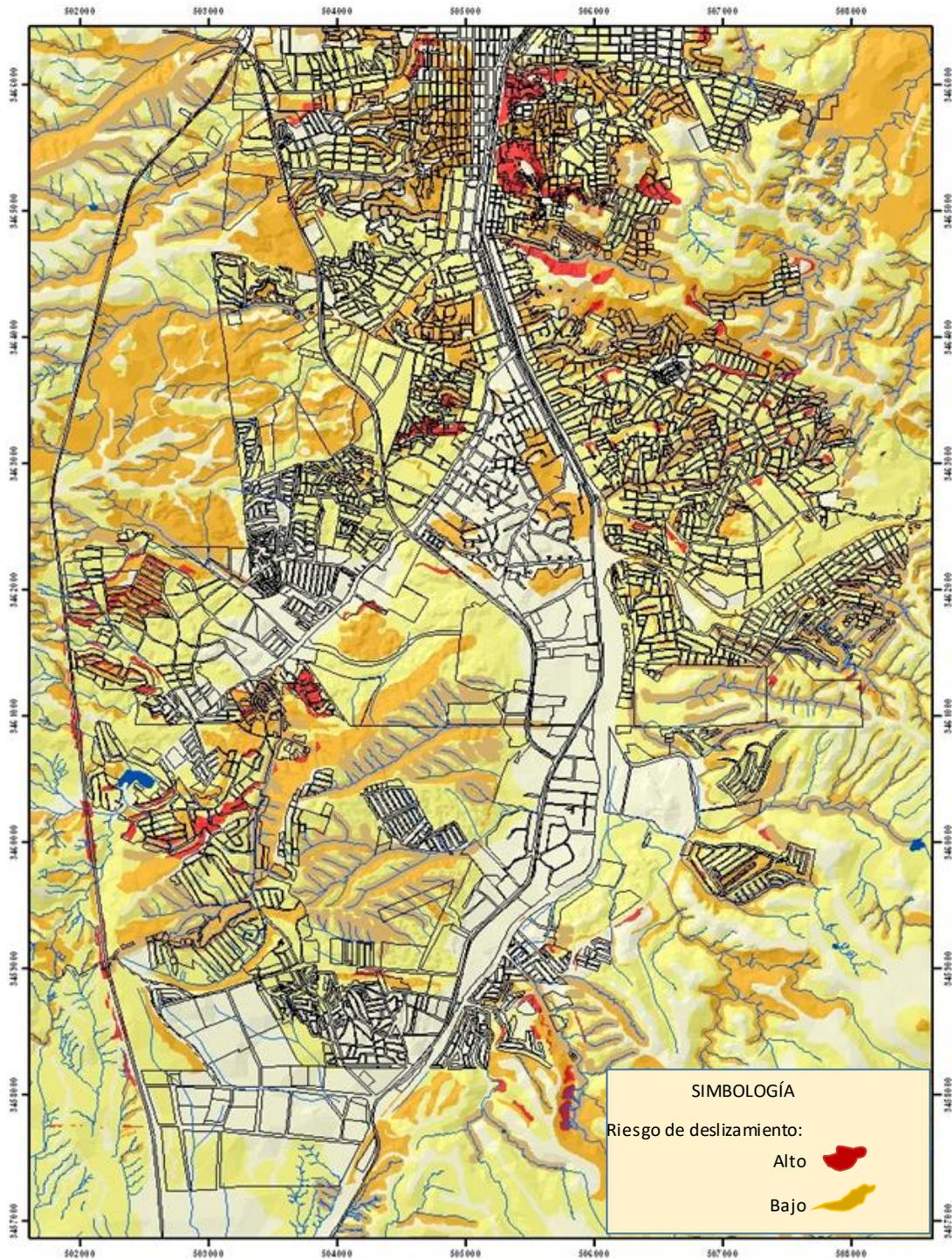
Riesgos naturales

De acuerdo con información del Atlas de Riesgos del Municipio de Nogales, este se localiza en una región de poca actividad sísmica y lo ubica como zona con bajo nivel de riesgo para un evento de gran magnitud.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 43. Mapa de riesgos sísmicos de Nogales, SO



Fuente: Atlas de Riesgos del Municipio de Nogales



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Por otra parte, un punto importante a destacar, son las principales causas de vulnerabilidad INSTITUCIONAL de los organismos operadores de agua y saneamiento, en cuanto a que 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, y a veces falta de actualización de leyes, y carencia de planes y programas actualizados y de largo alcance.

Derivado de esta debilidad institucional se identifican algunos riesgos, como los que se describen a continuación:

Riesgos de falta de planes, estudios y proyectos

También puede existir riesgo 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 estos sean incluidos en programas de inversión, no se tienen cubiertos los requisitos de cartera, para que le 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 de no realización, terminación o retraso en la finalización de las obras. Y pueden puntualizarse de la siguiente forma:

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

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 materias primas para ejecutar el proyecto, en caso de requerir equipos o materiales importados.

Riesgos relacionados con factores técnicos



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

En ese sentido, puede definirse el riesgo técnico como aquel que se materializa cuando los estudios técnicos de factibilidad del proyecto resultan incorrectos.

Principales riesgos a los que pudieran enfrentarse los proyectos de la cartera que se gestiona:

Tabla 99. Descripción del tipo de riesgo y formas de mitigarlos

Tipo de riesgo	Descripción	Forma de mitigación
Económico-financiero	No contar con suficiencia presupuestal federal o de la contraparte estatal o municipal, o privada. El presupuesto o de los recursos económicos requeridos no fueron autorizados en cualquiera de los tres niveles de gobierno o por la banca de desarrollo o Privada. 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 activas diversas fuentes. Ajustar tarifas de forma tal que permitan incrementar los recursos para inversión. Mantener alta la calificación crediticia del organismo operador.
Legal	Que no sea posible la adquisición de los terrenos seleccionados para las obras por temas legales, como falta de escrituras, intestados, etcétera. Falta de permisos de paso o de 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.	Preparar los proyectos con la anticipación adecuada para detectar problemáticas legales y buscar alternativas.
Administrativo	Que el proceso sea muy extensivo para la aceptación y certificación del proyecto por parte del BDAN. Proceso muy extensivo para la aceptación e incorporación en la cartera de proyectos de la Unidad de Inversiones de la SHCP. Problemática social que pudiera presentarse por la aplicación de ordenamientos legales en materia de agua.	Mantener actualizada la cartera en la unidad de inversiones.
Social	Oposición de los habitantes por la obra. Malestar social por las afectaciones en el proceso de construcción y operación de las obras. Que el proyecto no cuente con la aceptación social, por afectaciones a los vecinos.	Considerar a los beneficiarios como posibles afectados durante la maduración de proyectos. Mantener comunicación con la población del área para detectar inconformidades.
Político/administrativo	Que el proyecto no corresponda con los proyectos planteados en el Plan Municipal de Desarrollo (compromisos de campaña). Obras o proyectos cuya terminación trascienda en el término de la administración municipal o estatal. Adquisición equivocada de bienes o equipamiento y periféricos, o en malas condiciones de operación.	Vigilar la correcta alineación estratégica de los proyectos. Cubrir requisitos para la multianualidad de los proyectos.
Técnico	Incumplimiento de las empresas contratadas para realizar los trabajos. 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.	Buscar transferencia del riesgo mediante seguros. Aplicar la afectación de fianzas y sanciones.
Ambiental y natural	Que no se cuente con las aprobaciones en materia de impacto ambiental. Los trabajos representen un riesgo para el medio ambiente. La ocurrencia de un sismo fuerte.	Tomar en cuenta en los programas de obra las contingencias del clima. Vigilar que se cuente con todos los estudios y trámites en materia ambiental.

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

4.2.1 Evaluación de riesgos:

Tabla 100. Tipo y grado de riesgos de proyectos de reposición o rehabilitación de líneas de alcantarillado

CONCEPTO	INVERSIÓN (MDP)	TIPO Y GRADO DE RIESGO						
		1	2	3	4	5	6	7
Rehabilitación del emisor internacional de Nogales	25.18	B	B	M	B	B	B	B
Rehabilitación del colector Ruíz Cortines de 30", con una longitud de 3152 m, entre calle Héroes y calle Tepic, tubería de PVC sanitario de 30", serie 20. Construcción de 29 pozos de visita, y suministro e instalación de 194 descargas domiciliarias de aguas negras.	22.80	M	M	M	M	M	B	M
Rehabilitación de pozos de visita en emisor a gravedad Los Alisos, Nogales, SO.	2.45	M	M	M	M	M	B	M
Rehabilitación de la red de alcantarillado sanitario con tubería de 8" de diámetro y material de PVC, en las colonias: Kennedy, Esperanza, Granja, Prolongación del Valle, CTS-CROC, 5 de Mayo y Manlio Fabio Beltrones.	6.70	M	B	M	M	M	B	M
Rehabilitación de la red de alcantarillado sanitario, sector ITN (desde sector ITN hasta el entronque con la avenida Tecnológico).	0.97	M	B	M	B	B	B	B
Construcción del colector Arroyo Los Nogales, de 24" de diámetro, material de PVC, con una longitud de 1.01 km. Tramo: de la calle Colegio Militar a la calle Primavera, colonia Ferrocarrilera, Nogales, Son.).	15.15	M	M	M	M	M	B	B
Rehabilitación 5.8 km de la red de alcantarillado de 8" de diámetro, de material PVC, deteriorado por antigüedad, en el sector centro de la ciudad, Nogales, SO.	23.00	A	B	M	B	M	B	B
Rehabilitación de ocho redes de alcantarillado con tuberías de 8" de diámetro, de material PVC, ubicadas en las calles: Cananea, Brasil, Priv. Del Nogal, Estado de Colima, Sierra Aconchi, Jalapa, Cajeme y Amatista 2.	6.68	M	M	M	M	M	B	B
Reposición de 14.2 km de atarjeas de la red de alcantarillado (8, 10 y 12 pulgadas de diámetro), de tubería que cumplió su vida útil, sector centro de la ciudad, Nogales, SO.	70.00	M	M	M	B	M	B	B
Reposición de 20 km de atarjeas de la red de alcantarillado (8, 10 y 12 pulgadas de diámetro), de tubería que cumplió su vida útil, sector centro de la ciudad, Nogales, SO.	100.00	M	B	M	M	M	B	M
Construcción para reubicación de 3 km del emisor a gravedad Los Alisos de 24" de diámetro, material de PVC, (margen derecha de la Carretera Federal 15).	32.60	B	B	B	B	B	B	B
Rehabilitación de la red de alcantarillado sanitario con tubería de 8" de diámetro y material de PVC, en calles: Estado de Quintana Roo, Arcadia, Callejón Michoacán y San Marcos.	0.72	M	M	M	B	M	B	M
Construcción la red de alcantarillado sanitario, de acuerdo con el proyecto ejecutivo en la colonia Colinas del Sol, Nogales, SO.	7.50	M	B	M	B	M	M	M
Construcción de un sistema de red de alcantarillado con tubería de 8" de diámetro, material de PVC, en calle Sierra Madre Occidental.	5.00	M	B	M	B	M	B	B
Construcción de la red de alcantarillado para la comunidad rural de Mascareñas.	13.56	M	B	M	B	B	B	M

Fuente: elaboración propia

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



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 101. Clasificación de riesgos por grado y tipo de riesgo

RIESGOS					
CLASIFICACION (Grado de riesgo)		TIPOS			
		1	Económico	5	Político/ Administrativo
A	Riesgo alto	2	Legal	6	Técnico
M	Riesgo medio	3	Administrativo.	7	Ambiental
B	Riesgo Bajo	4	Social		

Fuente: elaboración propia

Colectores y emisores de las áreas de expansión urbana que deriva del crecimiento poblacional:

Tabla 102. Colectores y emisores para atender el crecimiento urbano de Nogales al año 2050.

CONCEPTO	Inversión Millones de pesos	TIPO Y GRADO DE RIESGO						
		1	2	3	4	5	6	7
AMPLIACIÓN/CONSTRUCCIÓN/EQUIPAMIENTO	633.84							
Construcción del colector sur Alisos II, de 15.22 kilómetros de longitud y 42" de diámetro de PVC.	299.49	M	M	M	M	M	B	M
Construcción del colector Hospital General Sur (UNISON), de 18" de diámetro de material de PVC, con una longitud de 1.02 km.	13.86	M	M	M	B	B	B	M
Construcción del emisor Alisos II (PBAR-2) de 24" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 6.58 km.	86.20	M	M	M	B	B	B	M
Construcción del colector UTN-AEROPUERTO, de 20" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 3.98 km.	44.67	M	M	M	B	B	B	M
Construcción del subcolector Recinto Fiscal, de 18" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 3.01 k m.	31.28	M	B	M	B	B	B	M
Construcción del colector Periférico Oriente, de 20" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 2,165.04 m.	24.31	M	B	M	B	B	B	M
Construcción del subcolector Periférico Oriente A, de 18" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 939.58 m.	9.75	M	B	M	B	B	B	M
Construcción del colector Peñitas de 18" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 1.82 Km.	18.91	M	M	M	B	B	B	M
Construcción del colector Pedregoso, de 20" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 3.07 Km.	34.39	M	M	M	B	B	B	M
Construcción del subcolector Pedregoso de 18" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 1.07 km.	11.15	M	M	M	M	B	M	M
Construcción de la prolongación del subcolector Búhos, de 18" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 1.93 km.	20.08	M	M	M	M	B	M	M
Construcción del colector Los Altos, de 18" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 1.78 km.	18.46	M	M	M	M	B	M	M
Construcción del colector El Álamo de 18" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 2.051 km.	21.29	M	B	M	B	B	B	M

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 103. Clasificación de riesgos por grado y tipo de riesgo

RIESGOS					
CLASIFICACION (Grado de riesgo)		TIPOS			
		1	Económico	5	Político/ Administrativo
A	Riesgo alto	2	Legal		
M	Riesgo medio	3	Administrativo.	6	Técnico
B	Riesgo Bajo	4	Social	7	Ambiental

Fuente: elaboración propia

Tabla 104. Colectores y subcolectores en las áreas de crecimiento de las zonas noroeste y oeste de Nogales

CONCEPTO	INVERSION MILLONES DE PESOS	TIPO Y GRADO DE RIESGO						
		1	2	3	4	5	6	7
AMPLIACIÓN/CONSTRUCCIÓN/EQUIPAMIENTO	174.02							
Construcción de la prolongación del subcolector Reforma de 18" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 1.21 km.	12.55	M	M	M	M	B	M	M
Construcción de la prolongación del subcolector Ensueño de 18" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 0.29 m.	3.00	M	M	M	M	B	M	M
Construcción de la prolongación del subcolector 5 de Febrero, de 18" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 0.55 km.	5.71	M	B	M	B	B	B	M
Construcción de la prolongación del subcolector Los Pirineos-Rodolfo Campodónico, de 8" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 1.96 km.	20.35	M	M	M	B	B	B	M
Construcción de la prolongación del subcolector Ricardo Flores Magón-Lago Plata, de 8" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 1.1 km.	11.45	M	M	M	B	B	B	M
Construcción de la prolongación del subcolector Tecnológico de 18" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 2.05 Km.	21.24	M	M	B	M	B	B	M
Construcción del colector Mascareñas, de 18" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 1.31 km.	13.57	M	M	M	B	B	B	B
Construcción del subcolector San Carlos 1, de 18" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 1.97 km.	20.43	B	M	M	B	B	B	B
Construcción de Subcolector San Carlos 2, de 18" de diámetro de material de PVC, con una longitud de 1.65 km.	17.12	M	B	M	B	B	B	M
Construcción del subcolector San Carlos 3, de 18" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 1.03 km.	10.64	M	M	M	B	B	B	M
Construcción del subcolector San Carlos 4, de 20" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 0.87 km.	9.80	M	M	M	B	B	B	M
Construcción del subcolector Puerta de Anza de 18" de diámetro, de material de PVC, con una longitud de 2.71 km.	28.16	M	M	B	M	B	B	M

Fuente: elaboración propia



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Proyectos de rehabilitación y construcción de plantas de bombeo.

Tabla 105. Plantas de bombeo

CONCEPTO	Inversión millones de pesos	TIPO Y GRADO DE RIESGO						
		1	2	3	4	5	6	7
REHABILITACIÓN	2.5							
Rehabilitación electromecánica y actualización de equipo eléctrico de la PBAR Estadio	2.5	M	M	M	M	B	B	B
AMPLIACIÓN/CONSTRUCCIÓN/EQUIPAMIENTO	29.20							
Construcción del sistema desarenador en la cuenca del arroyo Tecnológico (protección del cárcamo rebombeo de aguas residuales Estadio de Béisbol)	3.5	M	M	M	M	B	B	B
Construcción de planta de bombeo N° 2 en la avenida Kennedy; incluye equipamiento mecánico, eléctrico, hidráulico, para un gasto medio de 250 l/s, y obra civil.	25.70	M	M	M	M	M	M	M
Gran Total	31.70							

Fuente: elaboración propia

Proyectos y acciones relacionados con las adecuaciones a las plantas para incrementar la capacidad de tratamiento de aguas residuales, en condiciones actuales, y para atender el crecimiento de la ciudad.

Tabla 106. Acciones de equipamiento, rehabilitación y ampliación de plantas de tratamiento

CONCEPTO	INVERSIÓN MDP	TIPO Y GRADO DE RIESGO						
		1	2	3	4	5	6	7
Equipamiento de 2.ª etapa de la PTAR Los Alisos (110 l/s; la obra civil ya existe).	34.63	M	B	M	B	B	B	B
Rehabilitación y ampliación de planta tratadora de 30 a 70 l/s en el fraccionamiento La Mesa. Consiste en cambio de tuberías, equipo electromecánico y electrificación, alta y media tensión, puesta en marcha y operación.	30.00	M	M	M	B	M	M	M
Ampliación de 4.º módulo de la PTAR Los Alisos, con capacidad de 110 l/s (incremento de la capacidad de 330 a 440 l/s).	45.00	M	M	M	M	B	A	M
Ampliación de la PTAR Puerta de Anza, 2.ª etapa con un módulo de 15 l/s (de 45 a 60 l/s).	15.00	M	M	M	B	B	M	B
Construcción de la PTAR Las Peñitas en la colonia Colinas del Sol.	34.25	M	M	M	B	B	M	B
Construcción de la planta de tratamiento en la comunidad rural Mascareñas, Nogales, SO.	22.50	M	B	M	B	M	B	B
Construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales de lodos activados modular para 500 l/s (módulo 1-500 l/s).	300.00	M	M	M	M	M	M	M
ESTUDIOS Y PROYECTOS	4.00							
Proyecto ejecutivo de planta de tratamiento de la comunidad rural Mascareñas, Nogales, SO.	2.00	M	B	M	B	M	B	B
Proyecto ejecutivo de la red de alcantarillado y de la PTAR en la colonia Colinas del Sol.	2.00	M	M	M	M	M	M	M
AMPLIACIÓN/CONSTRUCCIÓN/EQUIPAMIENTO	481.38							

Fuente: elaboración propia

4.2.2 Propuesta de mecanismos de mitigación

Algunas medidas de mitigación de riesgos son:

- Priorizar obras sobre la base de proyectos integrales,



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

- 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 AGUA POTABLE 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 MECANICAS*. 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 Gestion por comparación*. Noigales, Sobnora: 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.
- Minjarez Sosa, I. (2004). *ATLAS DE RIESGOS, PELIGROS NATURALES DE NOGALES SONORA*. Nogales, Sonora: Gobierno de Sonora.
- NAVARRO LOPEZ, 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 AMERICA DE LA DISTRIBUCION DE LAS AGUAS INTERNACIONALES DE LOS RIOS COLORADO, TIJUANA Y BRAVO, . *Tratado de Aguas*. Washington, D.C., EE.UU.: CILA.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Acrónimos

BANOBRAS	Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos S.N.C.
BDAN	Banco de Desarrollo del Norte
CEA	Comisión Estatal del Agua de Sonora
CILA	Comisión Internacional de Límites y Aguas
cm	Centímetros
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONAPO	Consejo Nacional de Población
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DOF	Diario Oficial de la Federación
EE. UU.	Estados Unidos de América
EPA	Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos
FONADIN	Fondo Nacional de Infraestructura (BANOBRAS)
hab/ha	Habitantes por hectárea
ha	Hectáreas
hab/km ²	Habitantes por kilómetro cuadrado
Hm ³	Hectómetro cúbico
HP	Caballos de Fuerza (Horse Power)
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
km	Kilómetros
km ²	Kilómetros cuadrados
LAN	Ley de Aguas Nacionales
l/hab-día	Litros por habitante por día
l/s	Litros por segundo
MAPAS	Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento, CONAGUA
m	Metros
m/d	Metros por día
mg/L	Miligramos por litro
m ³	Metros cúbicos
m ³ /s	Metros cúbicos por segundo
mm	Milímetros
Mm ³	Millones de metros cúbicos
msnm	Metros sobre el nivel medio del mar
NH ₄	Nitrógeno proteico
NO ₂	Nitritos
NO ₃	Nitratos
NOM	Norma Oficial Mexicana
NPM	Número más probable
O&M	Operación y Mantenimiento
PBAR	Planta de bombeo de aguas residuales
PEAD	Polietileno de alta densidad
pH	Potencial de Hidrógeno
PITAR	Planta internacional de tratamiento de aguas residuales
PNH	Programa Nacional Hídrico
POE	Periódico Oficial del Estado de Sonora
PROMAGUA	PROMAGUAP Programa para la Modernización de Organismos Operadores de Agua
PRODDER	Programa de Devolución de Derechos (Comisión Nacional del Agua)
PRODI	Programa de Desarrollo Integral de Organismos Operadores (Recursos del Banco Interamericano de Desarrollo)
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
PVC	Policloruro de vinilo
REPDA	Registro Público de Derechos de Agua
SLRC	San Luis Río Colorado
SST	Sólidos Suspendidos Totales
UV	Ultravioleta



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Glosario de términos

Aerobio: Un proceso que ocurre en presencia del oxígeno, tal como la digestión de la materia orgánica por las bacterias en una charca de oxidación.

Anaerobio: Proceso que se desarrolla con ausencia total de oxígeno, como la fermentación.

Aguas negras: Aguas residuales resultantes del consumo y descarga de los diferentes usos del agua.

Aguas pluviales: Aguas resultantes de los escurrimientos provenientes de precipitaciones pluviales.

Aguas residuales: Cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada por influencia de un proceso o una actividad. Las aguas residuales incluyen las aguas usadas, domésticas, urbanas y los residuos líquidos industriales o mineros eliminados, o las aguas que se mezclaron con las anteriores.

Aguas residuales industriales: Se originan de los desechos de procesos industriales o manufactureros y, debido a su naturaleza, pueden contener elementos tóxicos, tales como plomo, mercurio, níquel, cobre, solventes, grasas y otros, que requieren ser removidos antes de ser vertidos al sistema de alcantarillado.

Alcantarillado: Conjunto de obras e instalaciones construidas en una población para la evacuación de las aguas negras y pluviales.

Atarjea: Es la tubería que recoge las aguas residuales de las descargas domiciliarias o albañal exterior para entregarlas al colector por medio de un pozo de visita.

Caudal: Es la cantidad de fluido, medido en volumen, que se mueve en una unidad de tiempo.

Colector: Es la tubería que recoge las aguas residuales de las atarjeas. Puede terminar en un interceptor, en un emisor, en una planta de bombeo, o en una planta de tratamiento de aguas residuales.

Conducción por gravedad: Procedimiento de evacuación en que el desplazamiento del agua se debe, exclusivamente, a la pendiente del alcantarillado, es decir por acción de la fuerza de gravedad.

Conducción a presión: Procedimiento de evacuación o transporte de agua o cualquier fluido en el que el desplazamiento se debe, exclusivamente, a la acción de medios mecánicos.

Desarenador: Equipo donde por acción de la gravedad se consigue la sedimentación de los sólidos más pesados, especialmente la arena.

Desbaste: Consiste en eliminar componentes sólidos del agua por medio de rejas que están formadas por barrotes paralelos.

Efluente: Salida del agua tratada mediante un proceso de tratamiento.

DBO (Demanda Biológica de Oxígeno): Es la cantidad de oxígeno (medido en el mg/l) que es requerido para la descomposición de la materia orgánica por los organismos unicelulares, bajo condiciones de prueba. Se utiliza para medir la cantidad de contaminación orgánica en aguas residuales



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

DBO5 (Demanda Biológica de Oxígeno 5): Consumo de oxígeno disuelto por organismos aerobios en un tiempo de cinco días, requerida para la estabilización de materia orgánica. Indicador de contaminación del agua y que representa el contenido de sustancias bioquímicamente degradables existentes en el agua.

Emisor: Conducto que recibe las aguas de un colector o de un interceptor. No recibe ninguna aportación adicional en su trayecto y su función es conducir las aguas negras a la caja de entrada de la planta de tratamiento. También se le denomina emisor al conducto que lleva las aguas tratadas (efluente) de la caja de salida de la planta de tratamiento al sitio de descarga.

Interceptor: Es la tubería que intercepta las aguas negras de los colectores y termina en un emisor o en la planta de tratamiento.

PTAR (planta de tratamiento de aguas residuales): Conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales.

Tratamiento preliminar: Es el tratamiento donde se remueven los sólidos de mayor tamaño y las arenas presentes en las aguas negras que pueden provocar daños al funcionamiento de los equipos involucrados en los diferentes procesos y operaciones que conforman el sistema de tratamiento.

Tratamiento primario: Es el tratamiento donde se remueve una fracción de los sólidos sedimentables y en suspensión por medios físicos o químicos. El efluente del tratamiento primario suele tener una cantidad alta de materia orgánica y una DBO alta.

Tratamiento secundario: Es el tratamiento de las aguas residuales donde se transforma la materia orgánica biodegradable por la acción biológica en materia estable. Está principalmente diseñado a la eliminación de los sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos; en algunos casos se incluye desinfección en esta etapa.

Tratamiento terciario o avanzado: Son tratamientos adicionales que siguen a los tratamientos secundarios convencionales de las aguas residuales, para la eliminación de nutrientes, compuestos tóxicos y excesos de materia orgánica o de sólidos en suspensión.

Desarenadores: Son estructuras utilizadas para separar arenas y otros sólidos de densidad superior a la del líquido cloacal que, por su naturaleza, interfieren en la operación y mantenimiento de las unidades que siguen en el tratamiento, evitan la paralización del sistema por fallas en las bombas.

Trituradores: Equipos constituidos por cilindros giratorios que se colocan para desmenuzar sólidos para la protección de las estaciones de bombeo u otras unidades de la planta de tratamiento que requieran dicha protección.



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Índice de tablas

Tabla 1. Cobertura de servicios y eficiencias del sistema, Nogales, SO	5
Tabla 2. Situación del sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Nogales, SO.....	6
Tabla 3 Resumen problemática, solución e inversión, Nogales, SO.	8
Tabla 4.Población en el municipio de Nogales, SO	9
Tabla 5. Información recopilada.....	10
Tabla 6. Caudales estimados por colector	14
Tabla 7. Situación de las plantas de tratamiento de aguas residuales en Nogales, SO	16
Tabla 8. Límites máximos permisibles (NOM-002-SEMARNAT-1996)	17
Tabla 9. Límites de los parámetros NOM-003-SEMARNAT-1997.....	22
Tabla 10. Parámetros principales de calidad del efluente de la PTAR Nogales (muestreado el 13 de julio del 2013).....	23
Tabla 11. Parámetros principales de calidad del efluente de la PTAR Nogales	23
Tabla 12. Costos de volúmenes tratados y costos de operación en la PITAR Nogales	25
Tabla 13. Costos de operación en las plantas de tratamiento en Nogales	25
Tabla 14. Tarifa de uso doméstico: exclusiva para uso habitacional (no incluye servicio de drenaje)	26
Tabla 15. Tarifa de uso comercial, servicios, Gobierno y organizaciones públicas (no incluye denaje)	26
Tabla 16. Tarifa de uso industrial (no incluye denaje)	27
Tabla 17. Ingresos anuales del OOMAPAS Nogales (\$MXN), año 2019	28
Tabla 18. Egresos anuales OOMAPAS Nogales (\$MXN), al año 2019	28
Tabla 19. Red de los principales colectores y subcolectores de la ciudad de Nogales, Son	31
Tabla 20. Tasas de crecimiento para diferentes periodos	39
Tabla 21. Proyecciones de población para la ciudad de Nogales, SO, modelo geométrico	39
Tabla 22. Proyecciones de población para la ciudad de Nogales, SO, modelo geométrico	40
Tabla 23. Situación de las plantas de tratamiento de aguas residuales en Nogales.....	41
Tabla 24. Capacidad de los conductos de la red de aportación al subcolector Tecnológico (zona 2), Nogales, SO	43
Tabla 25. Capacidad de los conductos de la red de aportación al colector Ruíz Cortines (zona 3 de alcantarillado), Nogales, SO	43
Tabla 26. Capacidades y aportaciones de los conductos con descarga al emisor internacional Los Nogales (zona 1 de alcantarillado)	44
Tabla 27. Demanda de tratamiento para dos escenarios de demanda de Nogales al año 2050.....	46
Tabla 28. Plantas de tratamiento de aguas residuales en Nogales.....	47
Tabla 29. Comparación de la oferta y demanda de capacidad actual de tratamiento en las PTAR de Nogales.....	47
Tabla 30. Longitud estimada de atarjeas deterioradas a reponerse en los próximos 10 años	49
Tabla 31. Reposición de atarjeas de la red de alcantarillado zona centro de la ciudad	49
Tabla 32. Requerimiento de rehabilitación de la red de atarjeas y colectores de la ciudad de Nogales	50



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 33. Acciones que inciden en la ampliación de la capacidad de tratamiento de aguas residuales	52
Tabla 34. Acciones de reforzamiento del sistema de alcantarillado y saneamiento de Nogales	52
Tabla 35. Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos.	53
Tabla 36. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos peligrosos en lodos y biosólidos	53
Tabla 37. Reposición y rehabilitación de redes de atarjeas y colectores.....	60
Tabla 38. Relación de infraestructura requerida para dar servicio a las nuevas áreas de Nogales al año 2050.....	60
Tabla 39. Sitios de alternativas de ubicación para la PB-2 de aguas residuales, Nogales, SO	62
Tabla 40. Comparación de alternativas de ubicación para la PB-2 de aguas residuales, Nogales, SO	63
Tabla 41. Capacidad de tratamiento y posibilidades de ampliación.....	64
Tabla 42. Criterios y puntaje de impacto de la obra para priorización programática de inversiones	73
Tabla 43. Rangos de puntaje de priorización de proyectos asociados a periodos de ejecución	73
Tabla 44. Localización de colectores en las zonas de expansión urbana noroeste y oeste al año 2050, Nogales, Son.....	74
Tabla 45. Colectores de las zonas de expansión urbana suroeste, sureste y sur al año 2050, Nogales, Son.....	75
Tabla 46. Colectores de la zona de expansión urbana este al año 2050, Nogales, Son.....	76
Tabla 47. Características de diferentes tipos de tuberías rígidas (ventajas e inconvenientes para su uso	79
Tabla 48. Características de diferentes tipos de tuberías rígidas (ventajas e inconvenientes para su uso).....	80
Tabla 49. Cálculos hidráulicos y revisión de la capacidad.....	82
Tabla 50. Alternativa 1 para planta de bombeo N° 2, avenida Olimpia.....	86
Tabla 51. Alternativa 2 para planta de bombeo N° 2, avenida Corinto	86
Tabla 52. Alternativa 3 para planta de bombeo 3, avenida John F. Kennedy.....	87
Tabla 53. Comparación de alternativas para planta de bombeo N° 2	87
Tabla 54. Dimensionamiento de la PBAR 2 – Alternativa 2	88
Tabla 55. Equipamiento del tercer módulo de 110 l/s de la PTAR Los Alisos	88
Tabla 56. Flujos de aguas residuales utilizados para el diseño de las instalaciones de la PTAR	90
Tabla 57. Ventajas y desventajas de algunas de las variaciones de la tecnología de lodos activados	93
Tabla 58. Descripción de los procesos de una planta de tratamiento con base en lodos activados	93
Tabla 59. Descripción de los procesos de una planta de tratamiento con base en lodos activados y reactor de alta carga/baja carga	94
Tabla 60. Proyectos de rehabilitación de colectores.	100
Tabla 61. Costos índice por diámetro para la construcción de líneas de colectores en zonas de expansión de la ciudad de Nogales, SO, (material PVC)	101



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 62. Costos índice por diámetro para la construcción de líneas de colectores en zonas de expansión de la ciudad de Nogales, SO, (material PEAD)	101
Tabla 63. Inversión en colectores por zona de la ciudad en áreas de crecimiento al año 2050 (PVC)	102
Tabla 64. Costos de operación y mantenimiento de la red, zonas de crecimiento, alternativa 1 (tubería PVC)	102
Tabla 65. Inversión en colectores por zona de la ciudad en áreas de crecimiento al año 2050 (PEAD)	103
Tabla 66. Costos de operación y mantenimiento de la red, zonas de crecimiento, alternativa 2 (tubería PEAD)	103
Tabla 67. Costos capitalizados de operación y mantenimiento de la red en zonas de crecimiento.	104
Tabla 68. Dimensionamiento de la PBAR 2 – Alternativa 3	107
Tabla 69. Inversión requerida para la PBAR-2, equipamiento para emisor de PVC	107
Tabla 70. Costos de operación y mantenimiento de la PBAR 2 (materia del emisor PVC)	108
Tabla 71. Inversión requerida para la PBAR 2, equipamiento para emisor con PEAD.....	108
Tabla 72. Costos de operación y mantenimiento de la PBAR 2 (materia del emisor PEAD).....	108
Tabla 73. Costos de las alternativas del emisor, según tipo de material PVC y PEAD	108
Tabla 74. Costos capitalizados de operación y mantenimiento de la red en zonas de crecimiento.	109
Tabla 75. Comparación de alternativas de nueva PTAR en Nogales, SO	112
Tabla 76. Costos capitalizados de operación y mantenimiento de la red en zonas de crecimiento.	113
Tabla 77. Costos de inversión de la alternativa 1: línea morada desde la PTAR Lomas del Sol.....	116
Tabla 78. Costos de operación y mantenimiento de la alternativa 1	116
Tabla 79. Costos de inversión de la alternativa 1: línea morada desde la PTAR La Mesa	116
Tabla 80. Costos de operación y mantenimiento de la alternativa 1.	116
Tabla 81. Alternativas de construcción de colectores, material de la alternativa 1 (tubería PVC). 118	
Tabla 82. Resumen de los requerimientos calculados para la PBAR N° 2, calle Kennedy	120
Tabla 83. Caudal medio, máximo y número de equipos de la planta de bombeo N° 2.....	120
Tabla 84. Planta de tratamiento para atender la demanda futura al año 2050 de Nogales, Son ..	120
Tabla 85. Alternativas de infraestructura complementaria	121
Tabla 86. Atarjeas, colectores y emisores que requieren reposición o rehabilitación	124
Tabla 87. Subcolectores, colectores y emisores de las zonas de crecimiento suroeste, sur y sureste de Nogales al año 2050	125
Tabla 88. Subcolectores de las áreas de crecimiento noroeste y oeste de Nogales al año 2050... 126	
Tabla 89. Acciones y proyectos para plantas de tratamiento	127
Tabla 90. Acciones y proyectos para plantas de tratamiento de Nogales al año 2050	127
Tabla 91. Estudios y proyectos de alcantarillado y saneamiento	127
Tabla 92. Acciones y proyectos para reúso de aguas residuales tratadas (línea morada)	128
Tabla 93. Acciones y proyectos de infraestructura complementaria	128
Tabla 94. Inversiones por tipo de infraestructura y fuente de financiamiento	129



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 95. Fuentes de financiamiento: programas federales CONAGUA.....	134
Tabla 96. Programas con base en la devolución del pago de derechos: CONAGUA.....	135
Tabla 97. Fuentes de financiamiento: recursos de la banca de desarrollo nacional e internacional	135
Tabla 98. Gasto ejercido en el 2019 por el OOMAPAS Nogales.....	136
Tabla 99. Descripción del tipo de riesgo y formas de mitigarlos	140
Tabla 100. Tipo y grado de riesgos de proyectos de reposición o rehabilitación de líneas de alcantarillado.....	141
Tabla 101. Clasificación de riesgos por grado y tipo de riesgo	142
Tabla 102. Colectores y emisores para atender el crecimiento urbano de Nogales al año 2050...	142
Tabla 103. Clasificación de riesgos por grado y tipo de riesgo	143
Tabla 104. Colectores y subcolectores en las áreas de crecimiento de las zonas noroeste y oeste de Nogales.....	143
Tabla 105. Plantas de bombeo.....	144
Tabla 106. Acciones de equipamiento, rehabilitación y ampliación de plantas de tratamiento....	144



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Localización de la ciudad de Nogales, SO	9
Ilustración 2. Zonas de captación y flujo de las aguas residuales	13
Ilustración 3. Estación de bombeo Estadio, desde donde se bombea agua a la PTAR Los Alisos	15
Ilustración 4. Vista aérea de la PITAR en Río Rico, Arizona.....	19
Ilustración 5. Ubicación de las PTAR que atienden a la ciudad de Nogales, SO.....	21
Ilustración 6. Proceso de la PTAR Los Alisos, Nogales, SO	22
Ilustración 7. Ampliación de la PTAR Los Alisos con un tercer módulo de 110 l/s (capacidad total 330 l/s)	29
Ilustración 8. Condiciones generales de la red de atarjeas, colectores y emisores (semáforo)	32
Ilustración 9. Plantas de tratamiento de aguas residuales Los Alisos y La Mesa.....	32
Ilustración 10. Semáforo de estado de la infraestructura de alcantarillado sanitario y saneamiento para la ciudad de Nogales, SO	33
Ilustración 11. Descarga de la PTAR Los Alisos, Nogales, Sonora.....	36
Ilustración 12. Proyección del crecimiento de la población de Nogales, SO al año 2050.....	40
Ilustración 13. Proyección de la demanda de capacidad de tratamiento en Nogales, SO al año 2050	42
Ilustración 14. Ubicación de la rehabilitación de líneas de atarjeas y colectores de Nogales.....	51
Ilustración 15. Identificación de zonas de crecimiento y expansión de Nogales al año 2050	56
Ilustración 16. Zonas de expansión urbana de Nogales al año 2050	58
Ilustración 17. Red primaria que requiere rehabilitación y nuevos conductos para dar servicio a las zonas de expansión y crecimiento urbano de Nogales.....	59
Ilustración 18. Localización de tres sitios alternativos para ubicar la planta de bombeo de aguas residuales N° 2.....	63
Ilustración 19. Ubicación del sitio de la calle John F. Kennedy para la planta de bombeo N° 2.....	64
Ilustración 20. Proceso de proyectos de reúso de aguas residuales tratadas	67
Ilustración 21. Alternativas de redes de reúso en Nogales, SO	68
Ilustración 22. Esquemas de solución posibles.....	70
Ilustración 23. Colectores de las zonas de expansión urbana noroeste y oeste de Nogales al 2050	74
Ilustración 24. Colectores de las zonas de expansión urbana suroeste, sureste y sur de Nogales al 2050.....	75
Ilustración 25. Colectores de la zona de expansión urbana este de Nogales al año 2050	76
Ilustración 26. Recomendaciones para cárcamos de bombeo	84
Ilustración 27. Diagrama de instalaciones a equipar en el tercer módulo de la PTAR Los Alisos.....	89
Ilustración 28. Gráfica de demanda de tratamiento de aguas residuales de Nogales al año 2050..	91
Ilustración 29. Diagrama del proceso de tratamiento con base en lodos activados	94
Ilustración 30. Diagrama de procesos; reactor de alta carga/baja-lodos activados con digestión anaerobia	95
Ilustración 31. Alternativas de localización de líneas moradas a partir de las PTAR de Nogales	97
Ilustración 32. Diagrama de flujo de efectivo: costos no recurrentes y recurrentes.....	105
Ilustración 33. Diagrama de flujo de efectivo: costos no recurrentes y recurrentes.....	110



COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Ilustración 34. Diagrama de flujo de efectivo: costos no recurrentes y recurrentes.....	114
Ilustración 35. Alternativa de líneas moradas a partir de la PTAR Puerta de Anza	115
Ilustración 36. Equipos electromecánicos de desazolve sobre camiones	117
Ilustración 37. Alternativa de líneas moradas.....	121
Ilustración 38. Proceso de maduración de los proyectos elegibles para inversión pública.....	122
Ilustración 39. Criterios y factores de impacto de la infraestructura propuesta que pudieran reflejarse en una matriz de decisión	123
Ilustración 40. Inversiones por tipo de infraestructura y fuente de financiamiento de Nogales al año 2050.....	130
Ilustración 41. Identificación de fuentes de financiamiento en la región fronteriza norte de México	133
Ilustración 42. Fuentes de financiamiento para la ejecución de obras	133
Ilustración 43. Mapa de riesgos sísmicos de Nogales, SO.....	138