

APIA INGENIERIA

ESTUDIO DE ANALISIS COSTO BENEFICIO

PLANTA TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES NORTE



CHIHUAHUA, CHIHUAHUA

MAYO 2020



CONTENIDO

1 Contenido

TABLAS.....	5
FIGURAS	6
1 Resumen ejecutivo	7
2 Situación actual del programa o proyecto de inversión	11
2.1 Diagnóstico de la situación actual.....	11
2.1.1 Alcantarillado sanitario.....	12
2.1.2 Saneamiento	16
2.1.3 Generación de aguas residuales	17
2.1.4 Calidad del agua.....	26
2.1.5 Problemática que se pretende resolver.....	26
2.2 Análisis de la oferta o infraestructura existente.....	28
2.3 Análisis de la demanda actual	28
2.4 Diagnóstico de la interacción de la oferta-demanda.....	30
2.1 Situación sin el programa o proyecto de inversión	30
2.1.1 Optimizaciones	32
3 Situación con el programa o proyecto de inversión.....	35
3.1 Descripción general.....	35
3.1.1 Pretratamiento:.....	36
3.1.2 Proceso de tratamiento:.....	36
3.1.3 Desinfección:.....	36
3.1.4 Lodos:.....	37
3.2 Alineación estratégica.....	37
3.3 Localización geográfica	37
3.4 Calendario de actividades.....	39



APIA INGENIERIA

3.5	Monto total de inversión.....	41
3.6	Financiamiento	43
3.7	Capacidad instalada	43
3.8	Metas anuales	43
3.9	Vida útil.....	44
3.10	Aspectos más relevantes para llevar a cabo el proyecto.....	44
3.10.1	Evaluación técnica.....	44
3.10.2	Evaluación ambiental.....	45
3.10.3	Evaluación legal	46
3.11	Análisis de la Oferta a lo largo del horizonte de evaluación	46
3.12	Análisis de la Demanda a lo largo del horizonte de evaluación.....	48
3.13	Diagnóstico de la interacción de la oferta-demanda a lo largo del horizonte de evaluación.....	48
4	Evaluación del Programa o Proyecto de Inversión(aquí).....	50
4.1	Costos del proyecto de inversión	51
4.1.1	Costo por consumo de Energía eléctrica	53
4.1.2	Costo de mano de obra	53
4.1.3	Costo por manejo de disposición de lodos.....	54
4.1.4	Costo de mantenimiento, consumibles y servicios de laboratorio	54
4.2	Identificación, cuantificación y valoración de los beneficios del programa o proyecto de inversión	54
4.2.1	Beneficio por excedente agrícola.....	55
4.2.2	Beneficio ecológico.....	56
4.3	Análisis de sensibilidad y riesgos.....	60
4.3.1	Variación de los costos de inversión.....	60
4.4	Variación de los costos de operación y mantenimiento.....	60
4.5	Beneficio por excedente agrícola.....	61



APIA INGENIERIA

4.6	Riesgos del proyecto	61
5	Conclusiones y recomendaciones	62
5.1	Recomendaciones	62
6	Limitaciones y supuestos	63
7	Referencias	63



TABLAS

TABLA 1. LONGITUD DE LA RED DE ATARJEAS EN LA CIUDAD DE DELICIAS. FUENTE: JMAS DELICIAS.	15
TABLA 2. LONGITUD DE LA RED DE ATARJEAS EN LA CIUDAD DE DELICIAS. FUENTE: JMAS DELICIAS.	16
TABLA 3. AFOROS REALIZADOS POR LA JCAS EN EL 2019. FUENTE: (JCAS, 2019).	21
TABLA 4. DISTRIBUCIÓN DE ESTRATOS SOCIOECONÓMICOS EN DELICIAS, CHIH. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE INEGI).	22
TABLA 5. PARÁMETROS CLIMÁTICOS PROMEDIO DE DELICIAS. (ELABORACIÓN PROPIA).....	22
TABLA 6. CLASIFICACIÓN DEL CLIMA CON BASE EN LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL. FUENTE: CONAGUA 2015.	23
TABLA 7. DOTACIÓN ASIGNADA PARA FINES CONSULTIVOS CON BASE EN AL CLIMA. FUENTE CONAGUA.....	23
TABLA 8. PROYECCIÓN DE POBLACIÓN AL 2040 Y DETERMINACIÓN DE LA APORTACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE DELICIAS Y A LAS ZONAS DE COBERTURA DE LAS PTAR PONIENTE (33% DE LA POBLACIÓN) Y PTAR NORTE (67% DE LA POBLACIÓN). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	24
TABLA 9. CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL EN PUNTOS DE MUESTREO. FUENTE: (JCAS, 2019).	26
TABLA 10. DEMANDA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PERA LA PTAR NORTE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	29
TABLA 11. INTERACCIÓN OFERTA DEMANDA PARA LA SITUACIÓN ACTUAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	31
TABLA 12. CALENDARIO DE ACTIVIDADES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON INFORMACIÓN DE LA JCAS.....	40
TABLA 13. COSTOS DE INVERSIÓN PTAR NORTE. FUENTE: JCAS (JUNTA CENTRAL DE AGUA Y SANEAMIENTO DEL ESTADO DE CHIHUAHUA, 2019).	41
TABLA 14. METAS ANUALES PARA LA PTAR NORTE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	43
TABLA 15. OFERTA-DEMANDA Y PARA EL PROYECTO DE LA PTAR NORTE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	47
TABLA 16. MARCO NORMATIVO APLICABLE Y CALIDAD OBJETIVO EFLUENTE. FUENTE (JCAS, 2019).	47
TABLA 17. VALOR DE LA INTERACCIÓN DE LA OFERTA Y LA DEMANDA A LO LARGO DEL PERIODO DE EVALUACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	50
TABLA 18. COSTOS DE INVERSIÓN DE LA PTAR NORTE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	51
TABLA 19. COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PTAR NORTE. FUENTE ELABORACIÓN PROPIA.....	52
TABLA 20. CULTIVOS VIABLES A SER PRODUCIDOS CON AGUA RESIDUAL TRATADA EN EL MÓDULO 4.	55
TABLA 21. PRODUCCIÓN DE AGUA RESIDUAL TRATADA Y LODOS ESTABILIZADOS EN LA PTAR NORTE.	57
TABLA 22. INDICADORES DE RENTABILIDAD SOCIAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	58
TABLA 23. FLUJO DE EFECTIVO SOCIAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	59
TABLA 24. VARIACIÓN DE LA INVERSIÓN PARA HACER LA TIR NULA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	60
TABLA 29 VARIACIÓN DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO Y SU EFECTO EN LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO, FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	61



FIGURAS

FIGURA 1. DIAGRAMA CAUSA EFECTO DE LA CARENCIA DE INFRAESTRUCTURA DE SANEAMIENTO EN LA ZONA NORTE DE DELICIAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN INFORMACIÓN DEL (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2015).....	12
FIGURA 2. ALCANTARILLADO DE DIÁMETRO MAYOR A 24 PLG Y MENOR A 48 PLG. FUENTE: JMAS DELICIAS.	13
FIGURA 3. ALCANTARILLADO DE DIÁMETROS DE 8 PLG A 18 PLG. FUENTE: JMAS DELICIAS.....	14
FIGURA 4. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE TUBERÍAS DE ALCANTARILLADO. FUENTE: JMAS DELICIAS.....	15
FIGURA 5. LOCALIZACIÓN DE LAS DESCARGAS DE AGUAS NEGRAS EN LA CIUDAD DE DELICIAS. FUENTE: JMAS DELICIAS.	16
FIGURA 6. ZONA DE CAPTACIÓN DE AGUA RESIDUAL CONDUcida A LA PTAR NORTE DE DELICIAS. FUENTE: (JUNTA CENTRAL DE AGUA Y SANEAMIENTO DEL ESTADO DE CHIHUAHUA., 2019)	17
FIGURA 7. LOCALIZACIÓN DE DESCARGAS Y PREDIO PARA LA PTAR NORTE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	18
FIGURA 8. PREDIO PTAR NORTE. FUENTE: APIA INGENIERÍA.....	19
FIGURA 9. DESCARGA DE COLECTOR TRES COLONIAS. FUENTE: APIA INGENIERÍA.	19
FIGURA 10. DESCARGA COLECTOR TRES COLONIAS. FUENTE: APIA INGENIERÍA.	19
FIGURA 11. DESCARGA LOTES URBANOS DOS. FUENTE: APIA INGENIERÍA.	19
FIGURA 12. DESCARGA SAN PEDRO Y LAGUNA SECA. FUENTE: APIA INGENIERÍA.	20
FIGURA 13. DESCARGA LOTES URBANOS 1. FUENTE: APIA INGENIERÍA.....	20
FIGURA 14. DESCARGA CARMONA. FUENTE: APIA INGENIERÍA.....	20
FIGURA 15. CAJA UNIÓN. FUENTE: APIA INGENIERÍA.....	20
FIGURA 16. PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN DE DELICIAS EN EL HORIZONTE DE EVALUACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	25
FIGURA 17. PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA POTABLE, APORTACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN DELICIAS Y APORTACIÓN DE AGUAS RESIDUALES A LA PTAR NORTE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	25
FIGURA 18. INTERACCIÓN OFERTA DEMANDA PARA SITUACIÓN ACTUAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	32
FIGURA 19. COMPORTAMIENTO DE LA OFERTA CONSIDERANDO LA SITUACIÓN SIN PROYECTO. ELABORACIÓN PROPIA.....	34
FIGURA 21. UBICACIÓN DE DELICIAS EN EL TERRITORIO NACIONAL Y EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN CARTOGRAFÍA DE GOOGLE.....	38
FIGURA 22. COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA A LO LARGO DEL HORIZONTE DE AVALUACIÓN: FUENTE ELABORACIÓN PROPIA..	48
FIGURA 23. INTERACCIÓN OFERTA DEMANDA PARA EL HORIZONTE DE EVALUACIÓN DE LA PTAR NORTE. ELABORACIÓN PROPIA.	49



1 Resumen ejecutivo

Se presenta el origen y la visión global del proyecto, se describen de forma concisa los aspectos más relevantes del proyecto que justifican su rentabilidad social. El presente estudio tiene como objetivo identificar los costos y beneficios atribuibles a la **Planta Tratadora de Aguas Residuales Norte**, que se localizará en la ciudad de Delicias en el Estado de Chihuahua, cuantificarlos y valorarlos a lo largo de su vida útil, con el fin de emitir un juicio sobre la conveniencia para el país de realizar este proyecto.

La ciudad de Delicias actualmente no cuenta con tratamiento de aguas residuales, a inicios del 2020 se inició la construcción de la PTAR Poniente, misma que permitirá tratar el 33% de la totalidad de las aguas residuales producidas en la ciudad, el 67% (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua , 2012) verificado y corroborado por la JMAS Delicias restante será tratado por la PTAR Norte que tendrá una capacidad de tratamiento de 300 l/s y que permitirá cubrir la demanda al 2041 que corresponde al horizonte de planeación de 20 años.

La necesidad de tratamiento de aguas residuales en la ciudad fue identificada desde el 2012 por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua , 2012), previo a este estudio la población ya solicitaba el tratamiento de aguas residuales, sin embargo, y debido a que los principales beneficiados del agua residual son los agricultores la JMAS Delicias no hizo lo necesario para gestionar la construcción de las PTAR requeridas.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR Norte) se construirá en la ciudad de Delicias, Chihuahua, que contaba con una población de 145,048 habitantes en el 2015, misma que se proyecta al 2041 en 174,856 habitantes. El perfil socioeconómico de la población de Delicias, con base en los registros de INEGI (INEGI, 2015), es residencial en un 89%, el resto es medio. Delicias se localiza en la parte central del estado de Chihuahua y forma parte de la tercera zona metropolitana más importante de Chihuahua, justo detrás de las zonas metropolitanas de Ciudad Juárez y de Chihuahua.

La actividad económica de la ciudad de Delicias está basada fundamentalmente en el sector manufacturero, comercial, de servicios en virtud de su modernidad. Delicias destaca a nivel nacional e internacional en la fabricación de muebles. La agricultura es una de las actividades intensivas de Delicias, se destaca el cultivo de nogal, chile, además se



APIA INGENIERIA

beneficia por cultivos, como el tomate, cebolla, cacahuete, siendo también el Municipio de Delicias, el principal productor de leche bovina del estado.

Los servicios de agua potable, y alcantarillado en Delicias presentan coberturas superiores por mucho a la media nacional, en el caso de los servicios de abasto de agua potable el 100% de los habitantes de Delicias tienen servicio continuo en su domicilio, con una presión media de 1.6 kgf/cm². En el caso del alcantarillado sanitario sucede lo mismo, la cobertura del servicio de recolección de aguas residuales es para el 100% de los domicilios de la ciudad.

No es el caso del tratamiento de las aguas residuales producidas, pues no existe infraestructura para su tratamiento y disposición a cuerpos receptores de aguas.

Con la construcción de la PTAR Norte se pretende en primera instancia evitar la descarga de aguas residuales crudas al Río San Pedro, lo que implica un beneficio ambiental para la región, reducir la generación de fauna que es nociva para la salud además de evitar los malos olores. Se busca también reusar el agua residual tratada para la siembra de cultivos con mayor utilidad económica.

Se evaluaron cinco alternativas de solución, todas dando cumplimiento a la NOM-001- SEMARNAT-1996 para cuerpos tipo "B" "Ríos con uso público urbano". Las alternativas evaluadas se enlistan a continuación:

1. Lagunas parcialmente mezcladas con sedimentación integrada
2. Reactor de alta carga con lagunas parcialmente mezcladas
3. Reactor de flujo ascendente con lagunas parcialmente mezcladas.
4. Sedimentación primaria con lagunas parcialmente mezcladas.
5. Reactor aerobio de baja carga con clarificación secundaria.

Problemática, objetivo y descripción de la Obra

Objetivo del PPI

Evaluar la relación costo-beneficio de la inversión para la construcción de la Planta Tratadora de Aguas Residuales Delicias Norte

Problemática Identificada

La ciudad de Delicias, Chih., de acuerdo con las proyecciones de crecimiento, en su



región norte aportará un total de 267.8 l/s de aguas residuales. Para el 2041, esta aportación se proyecta en 293.90 l/s. La totalidad de esta agua se emplea para riego de cultivos forrajeros y luego se vierte sin tratamiento alguno al Río San Pedro, lo que representa un foco de contaminación al Río además de molestias para los habitantes aledaños a las descargas.

Breve descripción del PPI

Construcción de una PTAR con capacidad de tratamiento para 300 l/s.

Horizonte de evaluación, costos y beneficios de la Obra

Horizonte de Evaluación

Veinte

Descripción de los principales costos de la Obra

Construcción de colectores faltantes para llevar la totalidad del agua residual producida en la zona norte hasta la PTAR.
Construcción de la PTAR con capacidad para 300 l/s
Construcción de emisor de la PTAR hasta el río San Pedro.

Descripción de los principales beneficios de la Obra

Incrementar la productividad económica del módulo 5 "Ejido Terrazas"
Mejorar la calidad del agua descargada al río San Pedro
Evitar la molestia que ocasiona actualmente la descarga del agua residual al río San Pedro

Monto total de inversión (con IVA)

Costo de Construcción de la PTAR Norte = \$194,959,521.55

Riesgos asociados a la Obra

Entre los riesgos identificados está el que no contar con el presupuesto programado a tiempo, lo que desfazaría la ejecución del proyecto, es necesario que se garanticen los recursos con oportunidad y con los montos programados.
Asimismo, es necesario tomar en cuenta que el monto de inversión, para el proyecto está sometido a una licitación de carácter público, lo que traerá como consecuencia una posible variación tanto en el monto de inversión como



en el tiempo de ejecución. Además, es necesario se mantenga un estricto control con el contratista para que el proyecto se realice de acuerdo con las especificaciones técnicas y en el tiempo establecido.

La tarea de mantener un estricto control y seguimiento de estos riesgos no influirá de manera negativa en la rentabilidad, por lo que el dictamen se puede considerar como válido.

Indicadores de Rentabilidad de la Obra

Costo Anual Equivalente,
Primera alternativa "Lagunas
parcialmente mezcladas con
sedimentación integrada"

\$ 31,449,460.97

Costo Anual Equivalente,
Segunda alternativa "Reactor
de alta carga con lagunas
parcialmente mezcladas"

\$33,127,073.49

Costo Anual Equivalente,
Tercera alternativa "Reactor
de flujo ascendente con
lagunas parcialmente
mezcladas"

\$32,217,056.80

Costo Anual Equivalente,
Cuarta alternativa
"Sedimentación primaria con
lagunas parcialmente
mezcladas"

\$31,677,222.09

Quinta alternativa "Reactor
aerobio de baja carga con
clarificación secundaria"

\$30,793,328.04

**Sexta Alternativa "Reactor
aerobio de baja carga con
clarificación secundaria"**

\$29,991,621.34



Conclusión

Conclusión del Análisis de la Obra

Se concluye que el proyecto en su alternativa 6 es viable, técnica, económica, social, legal y ambientalmente y se recomienda su ejecución. Por esta razón y de acuerdo al Lineamiento de la SHCP (DOF, 2013) se procede a evaluar el proyecto con base en los criterios de Análisis Costo Beneficio Simplificado.

2 Situación actual del programa o proyecto de inversión

Delicias no cuenta con plantas de tratamiento de aguas residuales operando. Actualmente está en proceso de construcción la Planta Poniente, con una capacidad de diseño de 150 l/s, esta planta se prevé entre en operación a finales del año 2021. De este modo, se considera que la cobertura de saneamiento es del 0%.

2.1 Diagnóstico de la situación actual

Actualmente la ciudad de Delicias no cuenta con infraestructura de tratamiento de aguas residuales, es el único de los servicios hídricos en la ciudad de Delicias con cobertura cero. Produce a la fecha 392.17 l/s de aguas residuales de los cuales el 67% corresponde a la cobertura de la PTAR Norte, es decir, 262.74 l/s. No todo este flujo de agua residual tratada se vierte inmediatamente al río San Pedro, 1,000,000 de m³ anuales (63.5 l/s) están concesionados al Módulo 4 del ejido "Terrazas". La diferencia de agua residual que vierte sin tratamiento al río San Pedro sería entonces 219.3 l/s.

Si no se realiza el proyecto de la PTAR Norte de Delicias, al 2041 la cantidad de aguas residuales que se producirá por el 67% de la población correspondiente a la Planta será igual a 293.9 l/s que implica un incremento del 11% respecto a los 264.7 que se producen actualmente pero que tampoco se tratan. De tal forma que la construcción de la PTAR Norte representa tratar el 100% de las aguas residuales producidas.

Como se muestra en el diagrama causa efecto mostrado en la Figura 1, la carencia de infraestructura de saneamiento para atender la cobertura del 67% de la población cuyas aguas vierten a la zona norte debido a la topografía de la ciudad que encausa el drenaje a esa zona ocasiona, como principales efectos los mostrados. A su vez cada uno de estos desencadena un conjunto de efectos colaterales, todos ellos adversos para la población.



Es por esto que es importante considerar el proyecto de construcción de la PTAR Norte como relevante y sumamente importante para la ciudad de Delicias.

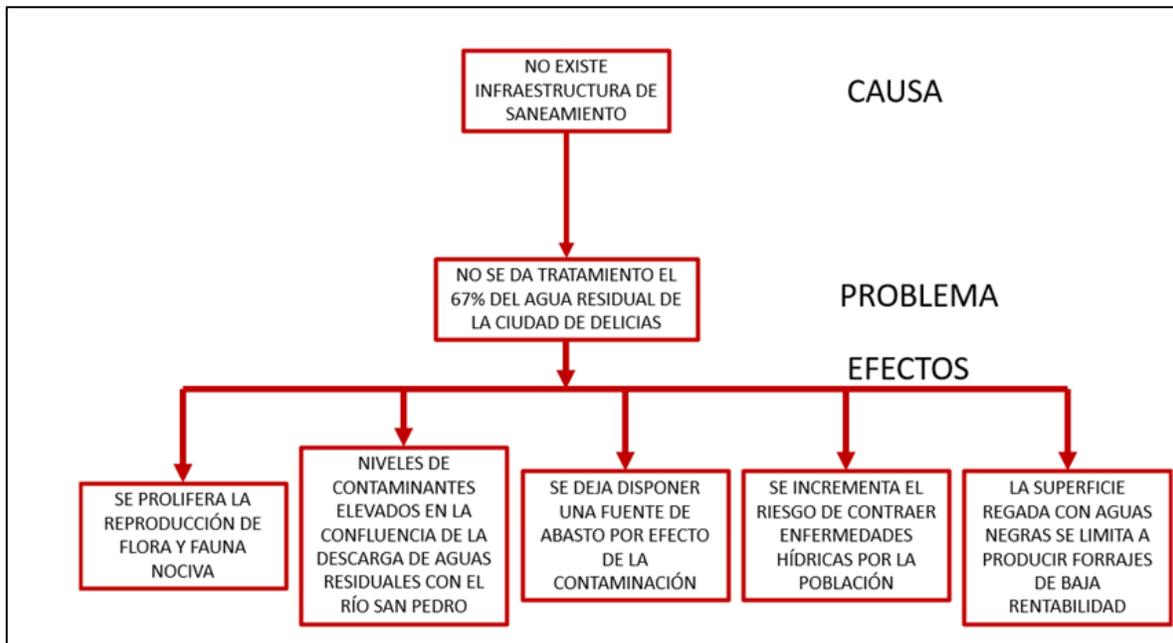


Figura 1. Diagrama causa efecto de la carencia de infraestructura de saneamiento en la zona norte de Delicias. Fuente: Elaboración propia con base en información del (Comisión Nacional del Agua, 2015).

La cobertura de los servicios de abastecimiento de agua potable en la ciudad es del 100%, la cobertura de alcantarillado sanitario es también del 100% de la población que vive en Delicias. El problema principal de esta población es el saneamiento, pues no cuenta con infraestructura para el tratamiento de las aguas residuales producidas en la ciudad, lo que ocasiona un problema social que en los últimos años se ha venido incrementando. A continuación, se presenta la descripción de la situación alrededor del saneamiento en Delicias.

2.1.1 Alcantarillado sanitario

La cobertura de alcantarillado reportada para la ciudad de Delicias es del orden del 100% para ello se cuenta con la red de alcantarillado que se muestra en la Figura 2, que contiene las líneas de diámetro igual a 48, 42, 36, 30 y 24 plg de diámetro.

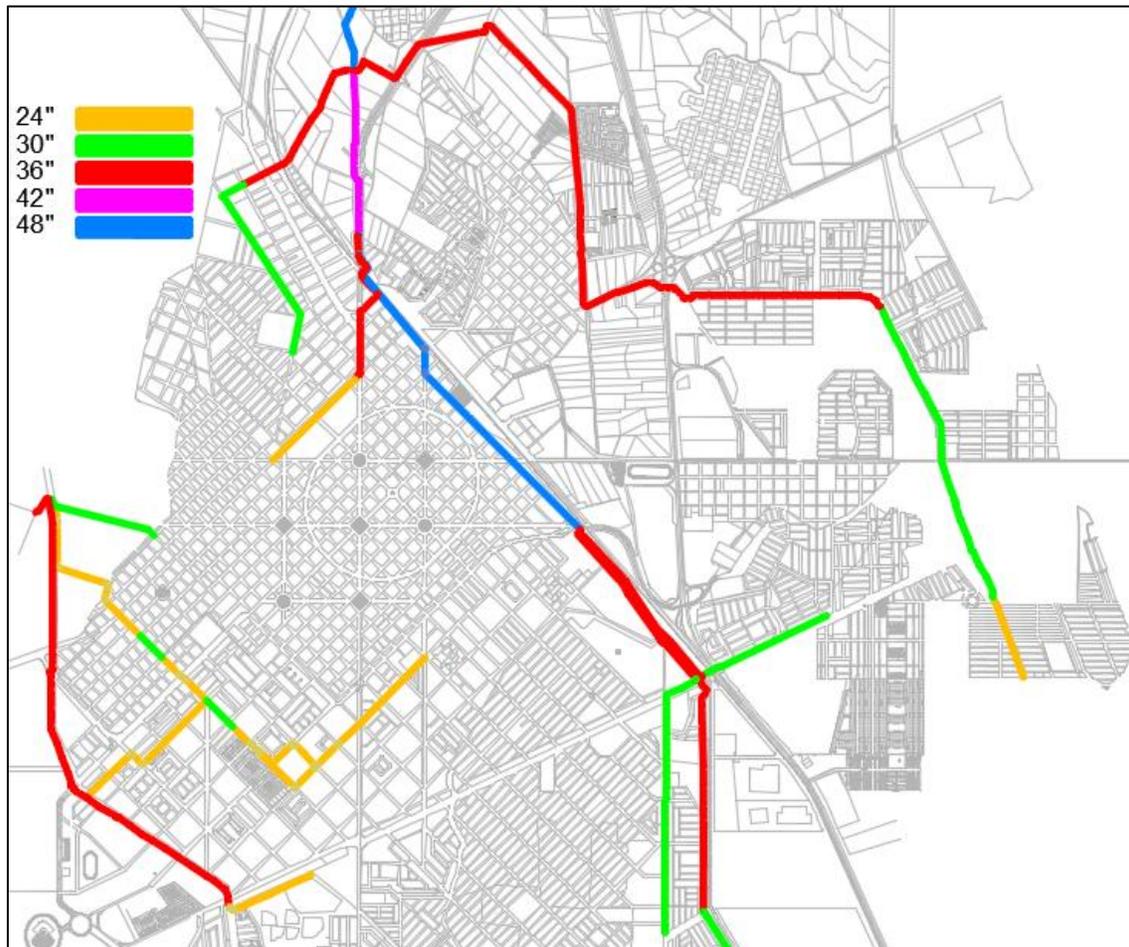


Figura 2. Alcantarillado de diámetro mayor a 24 plg y menor a 48 plg. Fuente: JMAS Delicias.

La Figura 3 incluye las líneas de 8 a 18 plg de diámetro nominal. Como se aprecia en la Figura, la mayor cobertura es a través de conducciones de alcantarillado de 8 pulgadas, siendo las de mayor diámetro aquellas que llevan el agua a los colectores.

Respecto al material de las líneas de alcantarillado sanitario la zona antigua de la ciudad tiene instalada tubería de barro tal como se observa en la Figura 4. Esta zona de la ciudad se construyó hace aproximadamente 80 años por lo cual es muy probable que su estado de conservación no sea el más favorable y que sea muy probable que requiera de sustitución.

Las tuberías de concreto están instaladas en las zonas que se iniciaron a desarrollar en los años 80, lo que implica que la mayoría de las tuberías tengan una antigüedad del orden de los 40 años.

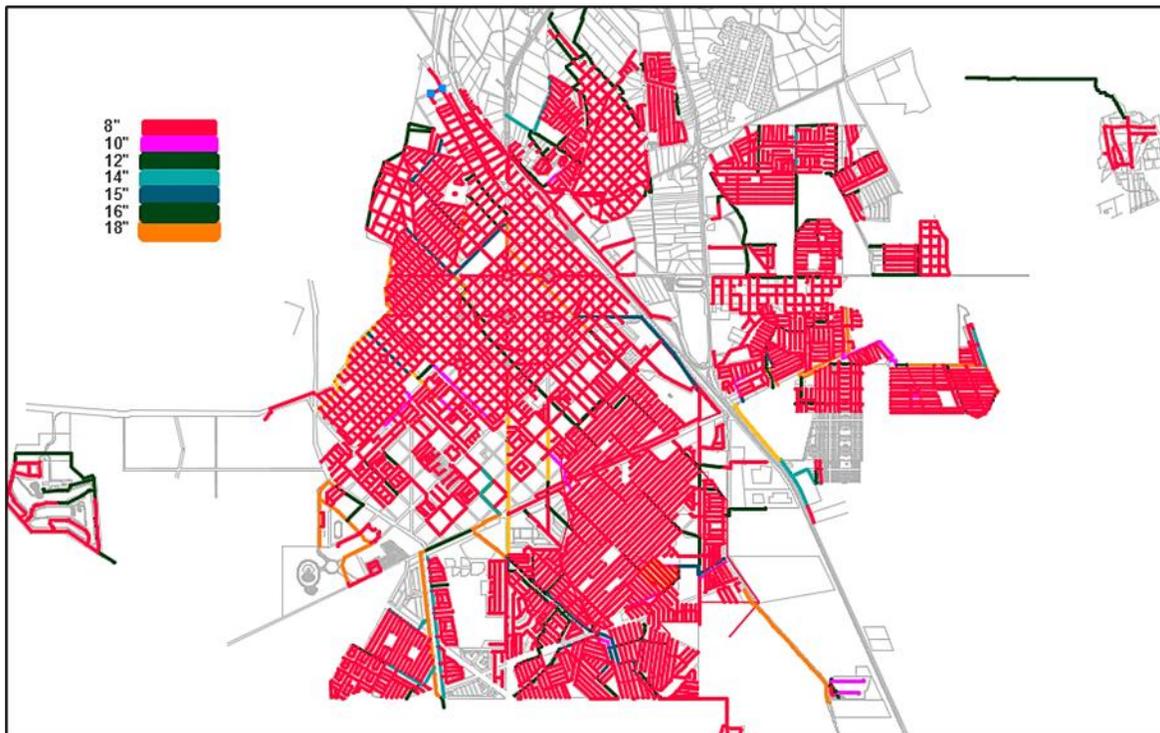


Figura 3. Alcantarillado de diámetros de 8 plg a 18 plg. Fuente: JMAS Delicias.

La tubería más reciente que está instalada es de PVC y PAD y corresponde a las zonas marcadas en color verde y rosa que corresponde al sur de la ciudad.

En longitud las redes de colectores, interceptores y emisores son las presentadas en la Tabla 1. En la Tabla 1 se puede observar que las redes de alcantarillado suman un total de 106.58 Km de tubería conformada en su mayor parte por tubería de 12 plg de diámetro siendo el diámetro mayor de 48 plg con un total de 3,020 m.

La longitud de atarjeas es la presentada en la Tabla 2, esta red corresponde a la tubería de alcantarillado de 8 plg de diámetro y suma un total de 395.55 Km.

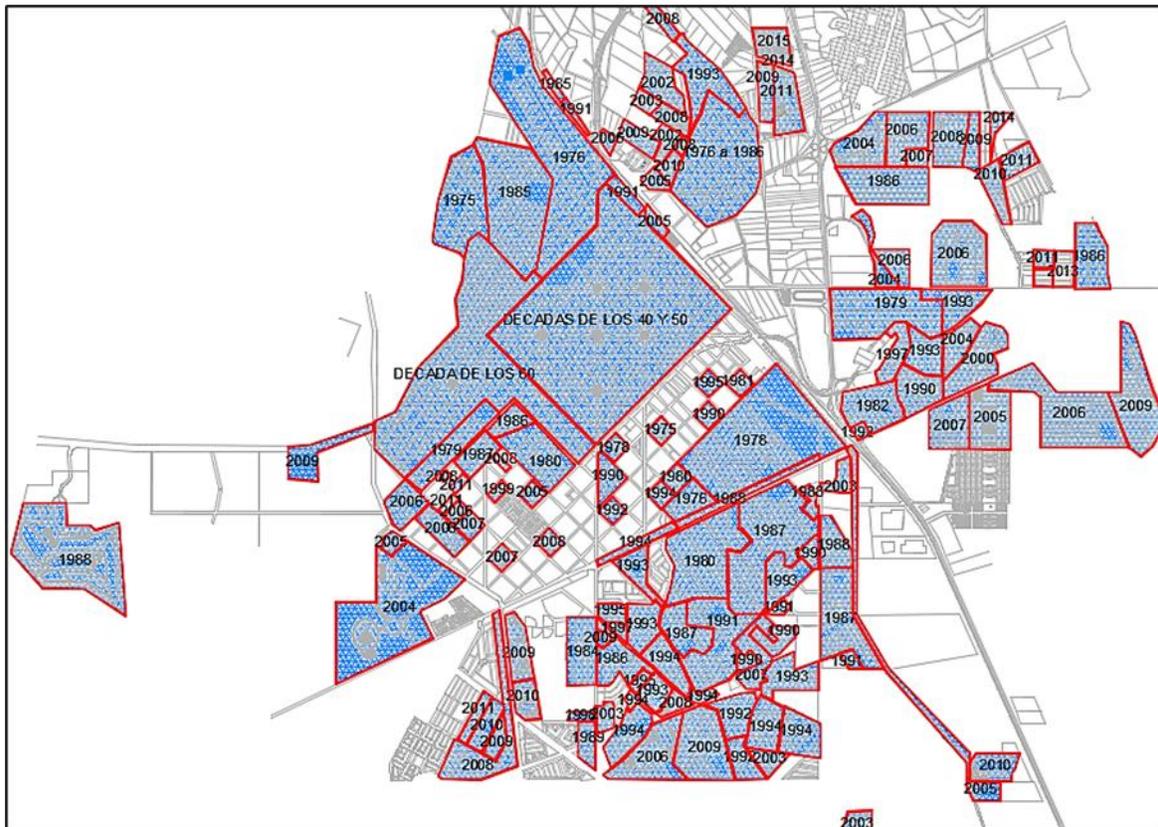


Figura 4. Materiales de construcción de tuberías de alcantarillado. Fuente: JMAS Delicias.

Tabla 1. Longitud de la red de atarjeas en la ciudad de Delicias. Fuente: JMAS Delicias.

COLECTORES, INTERCEPTORES Y EMISORES	
DIAMETRO PLG	LONGITUD m
10	5,721
12	37,331
14	4,353
15	12,554
16	550
18	14,351
24	6,809
30	5,890
36	14,916
42	1,087
48	3,020
TOTAL m	106,582



Tabla 2. Longitud de la red de atarjeas en la ciudad de Delicias. Fuente: JMAS Delicias.

ATARJEAS	
DIAMETRO plg	LONGITUD m
8	395,553
TOTAL, m	395,553
TOTAL, Km	395.55

La totalidad de las aguas residuales se vierten sobre cuerpos de agua a través de siete descargas localizadas en el noroeste y sur poniente de la ciudad. Las descargas se identifican con los nombres de a) descarga poniente; b) descarga Carmona; c) descarga lotes 1; d) descarga lotes 2; e) descarga río San Pedro; f) descarga laguna seca; g) descarga tres colonias. La localización de las descargas se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Localización de las descargas de aguas negras en la ciudad de Delicias. Fuente: JMAS Delicias.

2.1.2 Saneamiento

Delicias no cuenta con plantas de tratamiento de aguas residuales operando. Actualmente está en proceso de construcción la Planta Poniente, con una capacidad de diseño de 150 l/s, esta planta se prevé entre en operación a finales del año 2021. De este modo, se considera que la cobertura de saneamiento es del 0%.



2.1.3 Generación de aguas residuales

En lo relacionado a la zonificación de la ciudad a fin de captar el 100% de las aguas residuales producidas, la JMAS Delicias diseñó la red de colectores para seccionar la ciudad en dos zonas de captación, la primera al poniente y la segunda al norte de la ciudad. La Figura 6 muestra la zona de captación de agua residual conducida a través de seis colectores que son:

1. Colector río San Pedro
2. Colector Laguna Seca
3. Colector Carmona
4. Colector Lotes 1
5. Colector Lotes 2
6. Colector 3 Colonias

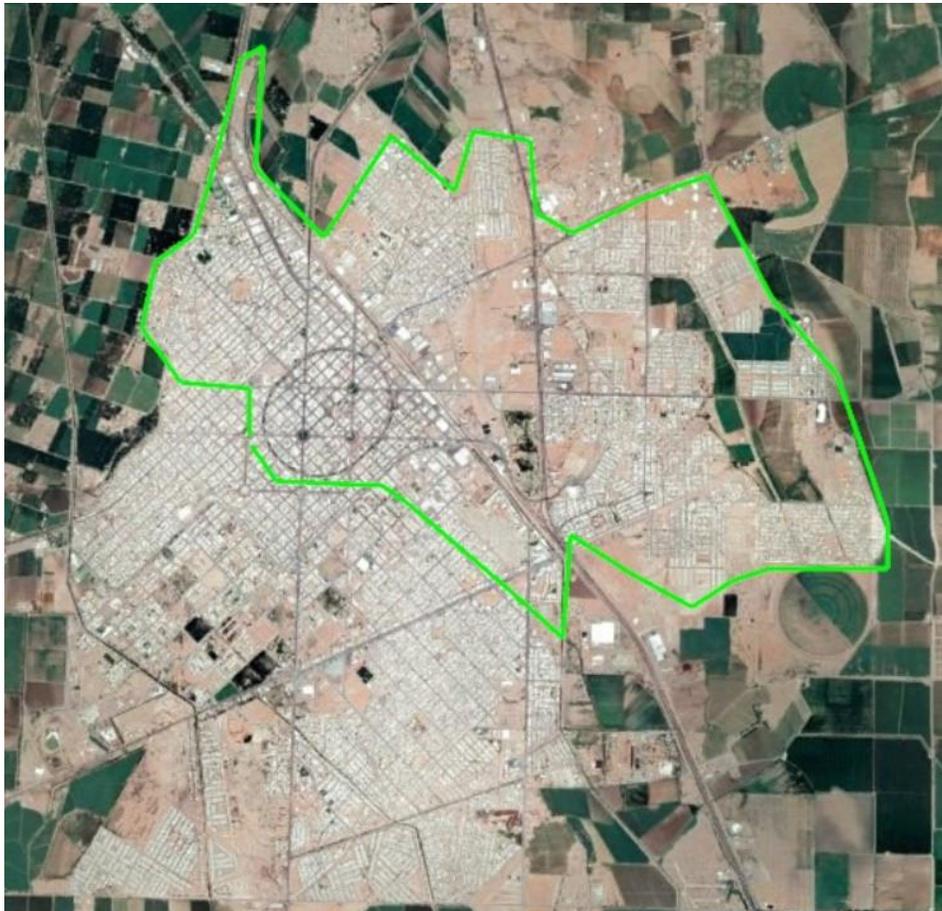


Figura 6. Zona de captación de agua residual conducida a la PTAR Norte de Delicias. Fuente: (Junta Central de Agua y Saneamiento del Estado de Chihuahua., 2019)

La ubicación de los colectores se muestra en la Figura 7. De acuerdo con la información de AGEBs de INEGI (INEGI, 2015), la aportación de aguas residuales de la zona tributaria a la PTAR Norte es del 67% de la población total en Delicias, de manera complementaria el 33% de la población vierte sus aguas residuales al colector poniente que la conduce hasta la PTAR Poniente que actualmente está en construcción. Las fotos contenidas en la Figura 8 a la Figura 15 ilustran las estructuras de descarga de aguas residuales en Delicias, así como el predio propiedad de la JMAS Delicias donde se construirá la PTAR Norte.



Figura 7. Localización de descargas y predio para la PTAR Norte. Fuente: Elaboración Propia

La Junta Central de Aguas y Saneamiento del Estado de Chihuahua realizó aforos en las descargas de aguas residuales (JCAS, 2019), el programa de aforo y muestreo se llevó a cabo durante dos días, dando inicio el día 9 de octubre de 2019 y finalizando el 10 de octubre de 2019.

Este programa de aforo consideró la toma de muestras simples cada 4 horas durante las 48 horas del día y toma de muestra una muestra compuesta.



APIA INGENIERIA



Figura 8. Predio PTAR Norte. Fuente: APIA Ingeniería.



Figura 9. Descarga de colector tres colonias. Fuente: APIA Ingeniería.



Figura 10. Descarga colector tres colonias. Fuente: APIA Ingeniería.



Figura 11. Descarga lotes urbanos dos. Fuente: APIA Ingeniería.



Figura 12. Descarga San Pedro y Laguna Seca. Fuente: APIA Ingeniería.



Figura 13. Descarga lotes urbanos 1. Fuente: APIA Ingeniería.



Figura 14. Descarga Carmona. Fuente: APIA Ingeniería.



Figura 15. Caja unión. Fuente: APIA Ingeniería.

Para determinar el caudal, se aforó cada 4 horas. Al final del día se determinó el gasto medio. El tiempo total de muestreo fue de dos días efectivos, con la finalidad de contar al final dos muestras compuestas de las 6 descargas.



APIA INGENIERIA

Los trabajos de aforo se realizaron principalmente por dos métodos: método de Sección-velocidad y aforo volumétrico, esto dependió de las condiciones de las tuberías, pozos de visita y sitios de vertido.

Los valores de aforo reportados muestran un caudal promedio de 295.12 l/s (Tabla 3). Sin embargo, la presencia de agua agrícola proveniente de los retornos de riego, y la probabilidad inherente de infiltración de esta agua a la red existente de alcantarillado sanitario aporta incertidumbre respecto a los valores de aforo realizados por la JCAS en el año 2019 (JCAS, 2019). Es por esta razón que es necesario calcular las aportaciones de aguas residuales a través de las proyecciones de población y las dotaciones para el clima y nivel socioeconómico de la ciudad de Delicias.

Tabla 3. Aforos realizados por la JCAS en el 2019. Fuente: (JCAS, 2019).

AFOROS		
	Q (l/s)	Q (m³/día)
TRES COLONIAS		
DIA 1	11.00	950.40
DIA 2	4.00	345.60
PROMEDIO	7.50	648.00
LOTES URBANOS DOS		
DIA 1	0.09	7.78
DIA 2	0.07	6.05
PROMEDIO	0.08	6.91
LOTES URBANOS UNO		
DIA 1	10.00	864.00
DIA 2	10.00	864.00
PROMEDIO	10.00	864.00
SAN PEDRO		
DIA 1	125.00	10,800.00
DIA 2	133.00	11,491.20
PROMEDIO	129.00	11,145.60
LAGUNA SECA		
DIA 1	145.00	12,528.00
DIA 2	151.00	13,046.40
PROMEDIO	148.00	12,787.20
CARMONA		
DIA 1	0.56	48.38
DIA 2	0.51	44.06
PROMEDIO	0.54	46.22
PROMEDIO GENERAL	295.12	25,497.94



La Tabla 8 contiene la proyección de población, considerando la proporción de la población en los estratos residencial (88.01%) y medio (11.99%) ver Tabla 4. Considerando además que la temperatura media anual para la ciudad de Delicias es igual a 18.8°C (ver Tabla 5), la cual corresponde a tipo de clima semicálido (Tabla 6), la dotación para la ciudad de Delicias resulta de 298 l/hab/día. Aplicando la dotación a la población de Delicias a lo largo del horizonte de planeación se obtiene los resultados mostrados en la Tabla 8.

Tabla 4. Distribución de estratos socioeconómicos en Delicias, Chih. (Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI).

Delicias			
Orden descendente de estratos de mayor a menor ventaja relativa		% Pob.	
Nivel		Urb.	Rur.
RESIDENCIAL	7	88.01	0.00
	6		
MEDIO	5	11.99	100.00
	4		
POPULAR	3	0.00	0.00
	2		
	1		
		100.00	100.00

Tabla 5. Parámetros climáticos promedio de Delicias. (Elaboración propia)

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp. máx. abs. (°C)	32.0	32.5	35.0	37.5	39.0	41.0	40.0	38.5	37.5	37.6	36.0	29.0	41.0
Temp. máx. media (°C)	19.2	22.5	26.3	29.5	32.7	35.1	33.5	32.0	30.3	27.7	23.3	19.9	27.7
Temp. media (°C)	10.6	13.0	16.5	19.6	21.2	26.6	26.1	24.8	23.0	19.0	14.0	11.1	18.8
Temp. mín. media (°C)	1.9	3.5	6.7	9.7	13.4	18.0	18.7	17.7	15.7	10.4	4.7	2.2	10.2
Temp. mín. abs. (°C)	-9.0	18.0	-6.5	-1.5	5.0	9.5	11.5	12.0	5.0	-0.5	-6.0	-7.5	-18.0
Precipitación total (mm)	9.2	3.5	2.8	13.3	10.9	38.3	68.7	64.5	78.3	26.0	9.6	9.1	334.2
Días de lluvias (≥ 0.1 mm)	1.8	0.9	0.8	1.2	2.0	5.0	7.6	8.6	7.3	3.7	1.3	1.6	41.8



APIA INGENIERIA

Tabla 6. Clasificación del clima con base en la temperatura media anual. Fuente: CONAGUA 2015.

TEMPERATURA MEDIA ANUAL: (°C) TIPO DE CLIMA	
Mayor que 22 CALIDO	CALIDO
De 18 a 22 SEMICÁLIDO	SEMICÁLIDO
De 12 a 17.9 TEMPLADO	TEMPLADO
De 5 a 11.9 SEMIFRÍO	SEMIFRÍO
Menor que 5 FRÍO	FRÍO

Tabla 7. Dotación asignada para fines consultivos con base en el clima. Fuente CONAGUA.

Clima	Consumo por nivel socioeconómico (l/hab/día)		
	Residencial	Media	Popular
Cálido	400	230	185
Semicálido	300	205	130
Templado	250	195	100

La aportación de aguas residuales se obtiene considerando que el 75% de la dotación de agua potable se vierte en la red de alcantarillado sanitario, en el caso de Delicias la cobertura de alcantarillado es el 100%, lo que implica que la totalidad de la resultante de aplicar el 75% de la dotación resulta en aguas residuales.

El comportamiento de la poblacional 2041 que corresponde a un periodo de evaluación de 20 años se presenta en la Figura 16. Al término del periodo de evaluación la población será de 174,856 habitantes, que se logra considerando como población inicial los 148,045 habitantes resultantes del conteo 2015 del INEGI (INEGI, 2015) y aplicando las tasas de crecimiento poblacional publicadas por el INEGI (INEGI, 2015).

La Figura 17 muestra la evolución de la demanda de agua potable, aportación de aguas residuales y demanda de tratamiento de aguas residuales para la PTAR Norte.

Tabla 8. Proyección de población al 2040 y determinación de la aportación de aguas residuales en la ciudad de Delicias y a las zonas de cobertura de las PTAR Poniente (33% de la población) y PTAR Norte (67% de la población). Fuente: Elaboración propia.

AÑO	HABITANTES	TASA DE CRECIMIENTO % (CONAPO)	DEMANDA AGUA POTABLE (l/s)	APORTACIÓN DE AGUAS RESIDUALES (l/s)	APORTACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PTAR NORTE (l/s) DEMANDA (67%)	APORTACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PTAR PONIENTE (l/s) (33%)
2021	156,314	0.76%	522.86	392.14	262.74	129.41
2022	157,466	0.74%	526.71	395.03	264.67	130.36
2023	158,574	0.70%	530.42	397.81	266.53	131.28
2024	159,641	0.67%	533.98	400.49	268.33	132.16
2025	160,668	0.64%	537.42	403.06	270.05	133.01
2026	161,657	0.62%	540.73	405.55	271.72	133.83
2027	162,610	0.59%	543.92	407.94	273.32	134.62
2028	163,527	0.56%	546.98	410.24	274.86	135.38
2029	164,409	0.54%	549.93	412.45	276.34	136.11
2030	165,255	0.51%	552.76	414.57	277.76	136.81
2031	166,106	0.51%	555.61	416.71	279.19	137.51
2032	166,961	0.51%	558.47	418.85	280.63	138.22
2033	167,820	0.51%	561.34	421.01	282.07	138.93
2034	168,684	0.51%	564.23	423.17	283.53	139.65
2035	169,552	0.51%	567.14	425.35	284.99	140.37
2036	170,425	0.51%	570.06	427.54	286.45	141.09
2037	171,302	0.51%	572.99	429.74	287.93	141.81
2038	172,184	0.51%	575.94	431.95	289.41	142.55
2039	173,070	0.51%	578.90	434.18	290.90	143.28
2040	173,961	0.51%	581.88	436.41	292.40	144.02
2041	174,856	0.51%	584.88	438.66	293.90	144.76

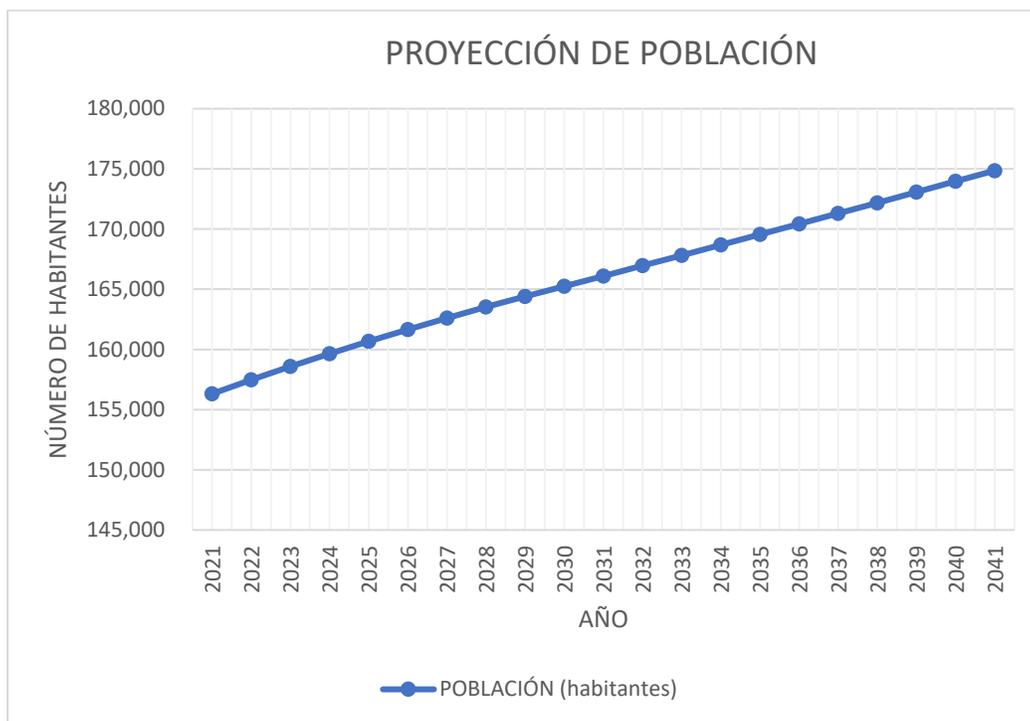


Figura 16. Proyección de la población de Delicias en el horizonte de evaluación. Fuente: Elaboración Propia

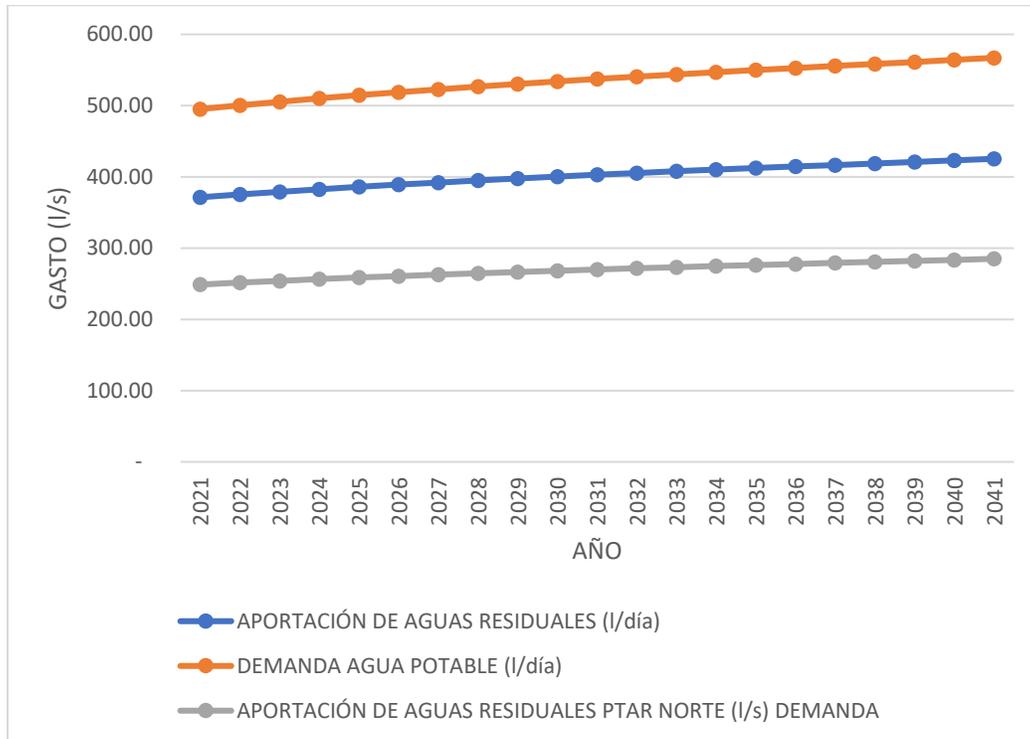


Figura 17. Proyección de la demanda de agua potable, aportación de aguas residuales en Delicias y aportación de aguas residuales a la PTAR Norte. Fuente: Elaboración propia.



2.1.4 Calidad del agua

Los valores para los parámetros de calidad del agua se presentan en la Tabla 9. Estos resultan de una campaña de medición realizada en octubre del 2019 por la JCAS, los parámetros a evaluar en laboratorio fueron los señalados en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Tabla 9. Calidad del agua residual en puntos de muestreo. Fuente: (JCAS, 2019).

Colector		Tres Colonias	Lotes Urbanos dos	Lotes Urbanos uno	San Pedro	Laguna Seca	Carmona	Llegada a PTAR Norte
Parámetro	Unidad	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
DBO5	mg/l	131.4	125.1	78.9	79.5	78.6	62.7	92.7
Fósforo Total	mg/l	7.2	8.2	5.7	4.0	4.0	4.0	5.5
Grasas y Aceites	mg/l	12.5	25.1	13.1	12.4	10.7	12.9	14.5
Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK)	mg/l	53.3	27.3	34.7	28.7	81.3	30.0	42.6
Sólidos Sedimentables	mg/l	1.7	0.4	1.0	1.0	1.0	0.3	0.9
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	126.7	110.0	75.4	76.0	77.0	35.0	83.4
Temperatura	°C	27.6	25.8	28.0	27.3	27.3	27.9	27.3
pH		7.6	6.9	7.5	7.7	7.7	7.6	7.5

2.1.5 Problemática que se pretende resolver

La descarga de aguas residuales crudas son una fuente potencial de organismos vectores de enfermedades que contaminen suelos, aguas subterráneas y aguas superficiales. La inadecuada disposición de aguas residuales no tratadas en la zona resulta en escurrimientos contaminados al río San Pedro y durante el clima seco son transportadas a los terrenos agrícolas de la localidad para regar cultivos.

Las leyes federales exigen que las aguas residuales sean tratadas conforme a las normas vigentes. Actualmente, las aguas residuales son recolectadas y descargadas sin tratamiento. Para dar cumplimiento a la ley federal relativa a las aguas nacionales, la JCAS renueva periódicamente sus permisos de derechos de descarga de aguas residuales no tratadas en cuerpos receptores de agua. El permiso original de descarga de aguas residuales fue emitido por la CONAGUA en noviembre de 1994 por un plazo de diez años



APIA INGENIERIA

que venció en 2004. El permiso debe ser actualizado con la CONAGUA para la descarga de aguas residuales tratadas con el punto de descarga de la planta Norte.

El conjunto de leyes aplicables en el tema de manejo y descarga de aguas residuales son:

- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), la cual establece el marco regulatorio en materia ambiental, amplía la visión estratégica y transmite facultades y obligaciones específicas a las entidades federativas y a los municipios, para que la problemática ambiental de cada estado pueda ser atendida de manera directa.
- Ley de Aguas Nacionales, la cual establece las normas para el uso, distribución y control del agua.
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos, la cual identifica los criterios que deben de ser considerados por los diferentes niveles de gobierno en la generación y gestión integral de los residuos sólidos, con el fin de prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y garantizar la protección de la salud humana.
- Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Chihuahua, la cual establece el marco regulatorio para la protección ambiental en el estado.
- NOM-001-SEMARNAT-1996, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- NOM-002-SEMARNAT-1996, la cual establece los niveles máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
- NOM-003-SEMARNAT-1997, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.
- NOM-004-SEMARNAT-2002, la cual establece las normas para el manejo, tratamiento y eliminación de los lodos generados en plantas de tratamiento.

La construcción de la PTAR Norte eliminará las descargas de aguas residuales no tratadas, lo que contribuirá a mejorar las condiciones ambientales y reducirá el potencial de contaminación de aguas subterráneas y superficiales en el área cercana. La descarga de aguas residuales sin tratamiento o con tratamiento inadecuado constituye una amenaza para el entorno, debido a:



- Mayores niveles de materia orgánica en el cuerpo receptor de agua disminuye el nivel de oxígeno disuelto (OD) en el ambiente acuático, a consecuencia de la descomposición de la materia orgánica. Los bajos niveles de OD son perjudiciales para la salud de las plantas y los animales acuáticos que necesitan OD para vivir;
- Los patógenos pueden tener un impacto negativo en la salud pública y del ecosistema;
- La sedimentación de las aguas negras puede degradar la vegetación nativa y el suelo natural; y
- Las aguas residuales aumentan el nivel de turbiedad, lo cual impide el paso de la luz para las plantas y los animales.

Dada la condición deficitaria de la disponibilidad de agua en la cuenca Bravo-Conchos, el reúso del agua residual tratada surge como una opción viable para liberar volúmenes de agua de primer uso. La productividad de las tierras actualmente regadas con aguas residuales crudas puede incrementarse al hacer una reconversión de cultivos sustituyendo los cultivos forrajeros por cultivos de mejor rentabilidad que actualmente no se cultivan debido al uso de aguas residuales para ese fin.

- Los cultivos que siembran y cosechan, así como superficie sembrada (hectáreas).
- Valor de la producción agrícola, para lo cual se requiere conocer el rendimiento en toneladas por hectárea y el precio medio rural en pesos por tonelada.
- Costos de producción agrícola (semillas, fertilizantes, pesticidas, mano de obra, etc.), ya sea en pesos por tonelada o en pesos por hectárea.
- Excedente económico agrícola en la situación sin proyecto, el cual se obtiene restando al valor de la producción agrícola el costo de la producción agrícola.

La degradación de los suelos donde se aplica agua residual cruda debido los sedimentos depositados es un efecto que a mediano plazo afecta la productividad.

2.2 Análisis de la oferta o infraestructura existente

La ciudad de Delicias, Chih., no cuenta con infraestructura de saneamiento, por tal motivo la oferta es igual a cero.

2.3 Análisis de la demanda actual

La aportación de aguas residuales del 67% de la población de Delicias asciende a 262.74 l/s, volumen de agua residual tratada que actualmente se vierte cruda al río San



Pedro, este volumen de agua nunca ha recibido tratamiento y circula por canales y acequias en la ciudad. La cobertura del 67% surge de la distribución de la red de alcantarillado y los colectores en la ciudad que atiende las condiciones topográficas de la misma, se establece esta cobertura desde el 2012 en el diagnóstico simplificado elaborado para la JMAS Delicias (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua , 2012) y ha sido actualizada por la misma JMAS a partir de la información de crecimiento poblacional y ampliación de cobertura.

Los usuarios de riego la emplean para el riego de forrajes y la vuelven a verter en las acequias y canales para su disposición final en el río San Pedro. A lo largo del tiempo la población de Delicias ha buscado el apoyo de las autoridades para la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales para Delicias, sin embargo, es esta la ocasión que se consideró presupuesto para atender este requerimiento de la ciudad de Delicias.

La demanda de tratamiento de aguas residuales para la región norte de la ciudad de Delicias, de acuerdo con la proyección de crecimiento poblacional será de 393.9 l/s en el 2041, volumen de aguas residuales que es grande y que representara un reto para la ciudad. El comportamiento de la demanda a lo largo del horizonte de evaluación se puede verificar con el contenido de la Tabla 10.

Tabla 10. Demanda de tratamiento de aguas residuales para la PTAR Norte. Fuente: Elaboración propia.

AÑO	HABITANTES	TASA DE CRECIMIENTO %	DEMANDA AGUA POTABLE (l/s)	APORTACIÓN DE AGUAS RESIDUALES (l/s)	APORTACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PTAR NORTE (l/s) DEMANDA
2021	156,314	0.76%	522.86	392.14	262.74
2022	157,466	0.74%	526.71	395.03	264.67
2023	158,574	0.70%	530.42	397.81	266.53
2024	159,641	0.67%	533.98	400.49	268.33
2025	160,668	0.64%	537.42	403.06	270.05
2026	161,657	0.62%	540.73	405.55	271.72
2027	162,610	0.59%	543.92	407.94	273.32
2028	163,527	0.56%	546.98	410.24	274.86
2029	164,409	0.54%	549.93	412.45	276.34
2030	165,255	0.51%	552.76	414.57	277.76
2031	166,106	0.51%	555.61	416.71	279.19
2032	166,961	0.51%	558.47	418.85	280.63



AÑO	HABITANTES	TASA DE CRECIMIENTO %	DEMANDA AGUA POTABLE (l/s)	APORTACIÓN DE AGUAS RESIDUALES (l/s)	APORTACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PTAR NORTE (l/s) DEMANDA
2033	167,820	0.51%	561.34	421.01	282.07
2034	168,684	0.51%	564.23	423.17	283.53
2035	169,552	0.51%	567.14	425.35	284.99
2036	170,425	0.51%	570.06	427.54	286.45
2037	171,302	0.51%	572.99	429.74	287.93
2038	172,184	0.51%	575.94	431.95	289.41
2039	173,070	0.51%	578.90	434.18	290.90
2040	173,961	0.51%	581.88	436.41	292.40
2041	174,856	0.51%	584.88	438.66	293.90

2.4 Diagnóstico de la interacción de la oferta-demanda

La oferta (capacidad de tratamiento de aguas residuales instalada y en funcionamiento) para el caso de la cobertura de la PTAR Norte es igual a cero, es decir, no existe infraestructura para el tratamiento los 262.74 l/s de aguas residuales que actualmente se producen en la zona Norte de Delicias.

La demanda de tratamiento de aguas residuales y su evolución se presenta en la Tabla 10. Al combinar los valores de oferta y demanda se produce la gráfica Figura 18 que indica la magnitud del problema de saneamiento en el horizonte de evaluación, en este caso para las condiciones actuales que implica no hacer acciones para reducir la demanda de tratamiento de aguas residuales para la zona norte de la ciudad.

2.1 Situación sin el programa o proyecto de inversión

Si no se realiza en proyecto de la PTAR Norte de Delicias, al 2041 la cantidad de aguas residuales que se producirá por el 67% de la población que recibirá el servicio de la PTAR será igual a 293.9 l/s que implica un incremento del 11% respecto a los 262.7 que se producen actualmente pero que tampoco se tratan, ver Tabla 11. De tal forma que la construcción de la PTAR Norte representa tratar el 100% de las aguas residuales producidas lo cual es un beneficio suficientemente justificado. No realizar su construcción implicaría la decadencia de los servicios públicos de una de las ciudades con mejores



indicadores de cobertura a nivel nación, además del daño económico y ambiental que se hace en la región.

Tabla 11. Interacción Oferta Demanda para la situación actual. Fuente: Elaboración Propia.

AÑO	HABITANTES	DEMANDA AGUA POTABLE (l/s)	APORTACIÓN DE AGUAS RESIDUALES (l/s)	DEMANDA DE TRATAMIENTO PLANTA NORTE 67% DE LA POBLACIÓN	OFERTA CAPACIDAD INSTALADA PTAR NORTE (l/s) OFERTA	INTERACCIÓN OFERTA DEMANDA PTAR NORTE
2021	156,314	522.86	392.14	262.74	0	-262.74
2022	157,466	526.71	395.03	264.67	0	-264.67
2023	158,574	530.42	397.81	266.53	0	-266.53
2024	159,641	533.98	400.49	268.33	0	-268.33
2025	160,668	537.42	403.06	270.05	0	-270.05
2026	161,657	540.73	405.55	271.72	0	-271.72
2027	162,610	543.92	407.94	273.32	0	-273.32
2028	163,527	546.98	410.24	274.86	0	-274.86
2029	164,409	549.93	412.45	276.34	0	-276.34
2030	165,255	552.76	414.57	277.76	0	-277.76
2031	166,106	555.61	416.71	279.19	0	-279.19
2032	166,961	558.47	418.85	280.63	0	-280.63
2033	167,820	561.34	421.01	282.07	0	-282.07
2034	168,684	564.23	423.17	283.53	0	-283.53
2035	169,552	567.14	425.35	284.99	0	-284.99
2036	170,425	570.06	427.54	286.45	0	-286.45
2037	171,302	572.99	429.74	287.93	0	-287.93
2038	172,184	575.94	431.95	289.41	0	-289.41
2039	173,070	578.90	434.18	290.90	0	-290.90
2040	173,961	581.88	436.41	292.40	0	-292.40
2041	174,856	584.88	438.66	293.90	0	-293.90

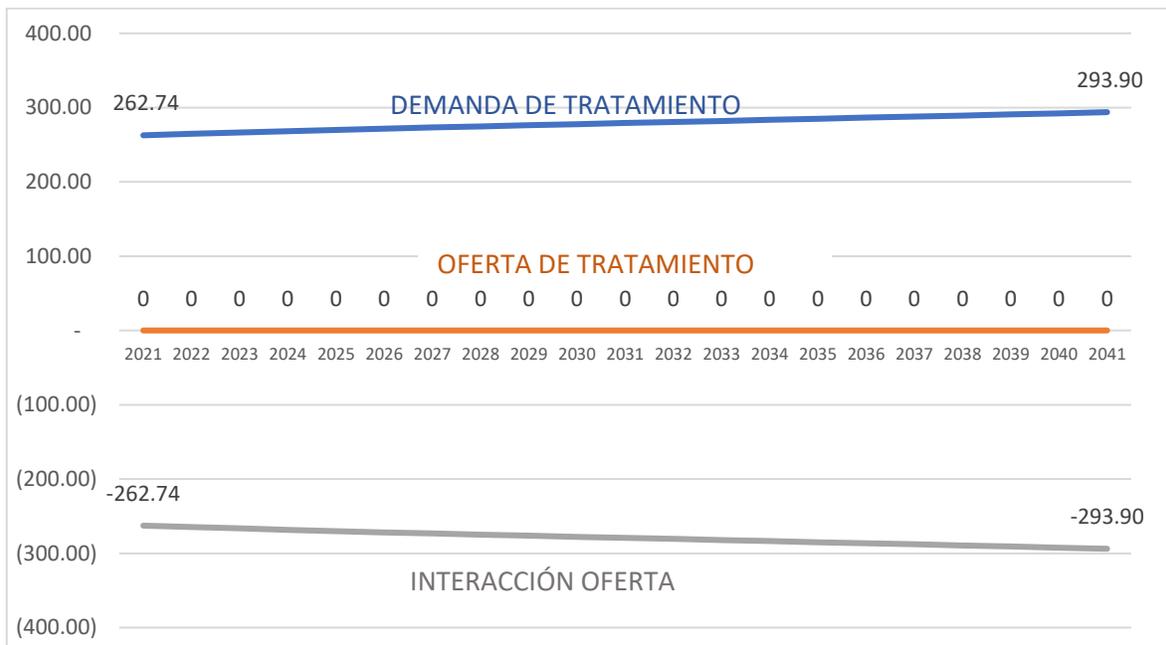


Figura 18. Interacción Oferta Demanda para Situación Actual. Fuente: Elaboración Propia.

Por otro lado, la región emplea las aguas residuales en la agricultura. Incrementar un 11% la producción de aguas residuales implica un crecimiento de la frontera agrícola sembrada con aguas residuales sin tratamiento. Adicionalmente, la degradación en mayor medida de la calidad del agua del río San Pedro.

2.1.1 Optimizaciones

No existen programas estatales ni municipales que permitan disponer de una alternativa de optimización viable, es decir, el problema del saneamiento en Delicias es un tema que se ha tocado y dimensionado por múltiples instancias y diagnósticos (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua , 2012). Las administraciones de la JMAS Delicias, han realizado los esfuerzos a su alcance para financiar la construcción de las PTAR requeridas para atender el problema, sin embargo, solo se han dado pasos cortos que no permiten solucionar el problema en su conjunto (compra de terrenos, estudios de factibilidad, etc.). Se consideran tres alternativas como potenciales a ser consideradas como medidas de optimización, mismas que en el estado de Chihuahua se fomentan para el tratamiento de aguas residuales en localidades pequeñas, estas son las plantas paquete y el uso de biodigestores, que para la magnitud de la problemática en Delicias resultan inviables.



APIA INGENIERIA

Se considera un costo índice manejado en la JCAS (Junta Central de Agua y Saneamiento JCAS, 2020) que es de 800 MDP/m³/s el caudal tratado sería de 30 l/s, es decir 0.03 m³/día el costo de inversión sería de 24 MDP.

El tratamiento de solo 30 l/s, que representa el 10% de la capacidad de tratamiento de la PTAR Norte, dadas las necesidades de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Delicias resulta absurdo pues no resolvería ninguna problemática y el beneficio sería nulo.

Delicias requiere una solución integral en la que la totalidad del agua sea tratada, de otra forma y cualquier solución parcial se aplique solo implicará pérdida de recursos.

La optimización planteada en este documento implica construir una planta de tratamiento con solo el 10% de la capacidad de tratamiento proyectada para la PTAR Norte.

En el caso de que la PTAR Norte solo tenga la capacidad de 30 l/s, la oferta se comportará como lo muestra la línea marcada y se mantendría constante a lo largo del horizonte de planeación.

Por otro lado, la demanda se vería incrementada como lo muestra la línea en color azul, el incremento se debe fundamentalmente al crecimiento poblacional y a la presión que esta ejerce sobre el servicio de agua potable y que se refleja directamente en la producción de aguas residuales. La demanda pasaría de 262.74 l/s en el 2021 a 293.9 l/s en el 2041. Sin la ejecución del proyecto de inversión toda esta agua se vertería sin tratamiento a cuerpos de agua nacionales.

Relacionado a la oferta y su interacción con la demanda, su comportamiento se muestra en la Figura 19. El déficit de servicios de saneamiento inicia en el 2021 con valores del orden 232.73 l/s, para el 2041 este déficit asciende a los 263.9 l/s. Este comparativo es muy similar al presentado para la situación sin proyecto, lo que indica que la acción de optimización no contribuye con la solución del problema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Delicias, Chihuahua.

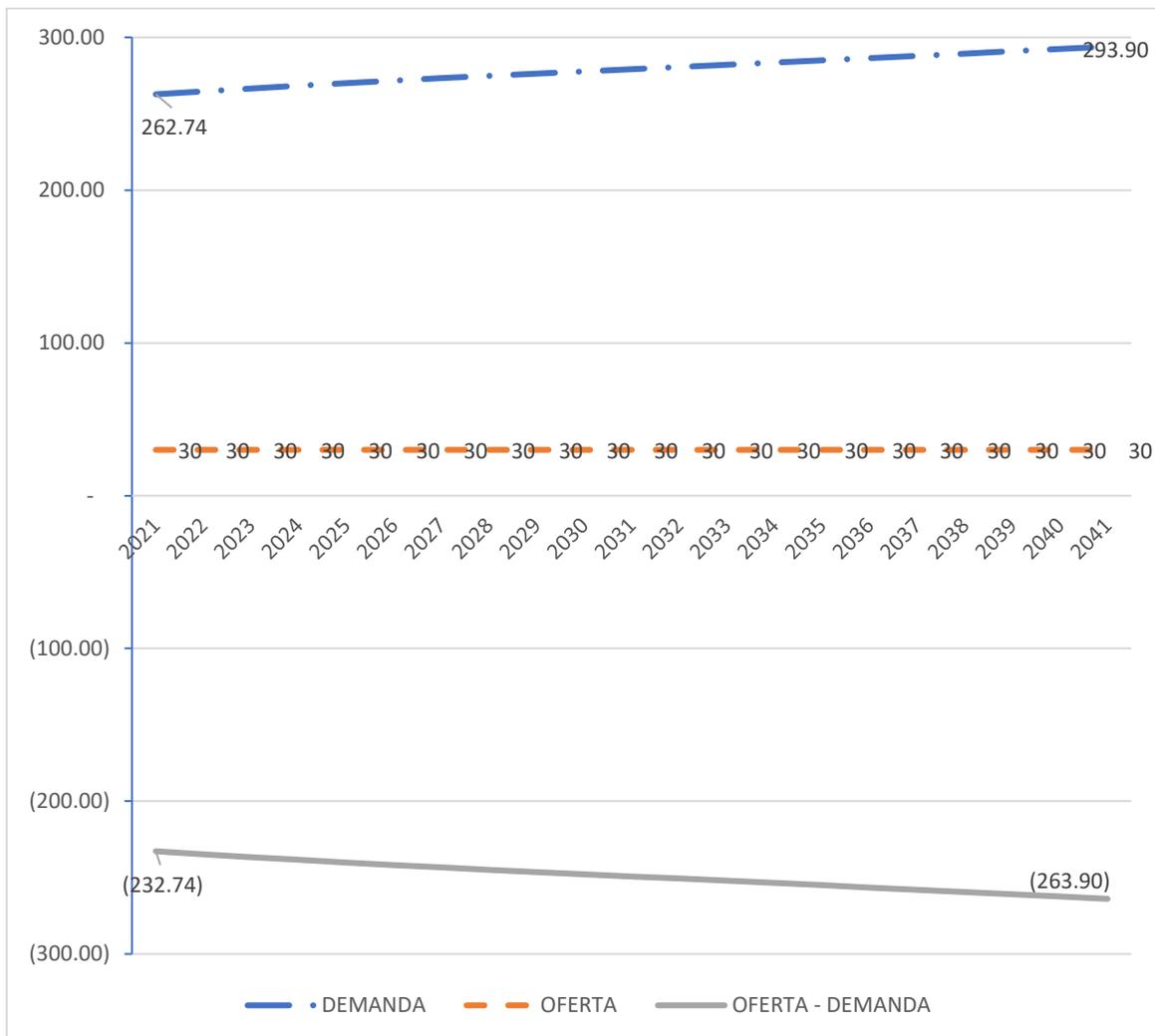


Figura 19. Comportamiento de la oferta considerando la situación sin proyecto. Elaboración propia.

Con la finalidad de revisar alternativas de solución se revisó como primera alternativa la “instalación de fosas sépticas a nivel domiciliario”. Esta alternativa, aunque resulta atractiva para el sector ecologista y ambientalista, tiene como principal desventaja su costo pues para vivienda de 5 habitantes, el costo de una fosa séptica asciende a los \$42,000.00 considerando de desde la rotura del piso y excavación en la casa la instalación de la fosa, la conexión de la fontanería en el estado que actualmente se encuentra y reparaciones, el relleno de las excavaciones y la reparación de los pisos de la vivienda. Para las 43,421 viviendas que cubre la zona norte de Delicias el costo de inversión se eleva a 1,823 MDP, que es un valor muy superior al costo de la PTAR Norte.



APIA INGENIERIA

Plantas de tratamiento de menor capacidad (paquete) distribuidas a lo largo de la zona de cobertura, la opción modular más grande que se localizó en el mercado corresponde una PTAR para 25 l/s fabricada por la firma NOZOMI y cuyo costo estimado es de \$20.750 millones de pesos, esto considerando solamente la PTAR y su instalación, energización. El tema de terreno, permisos y disposición del agua residual tratada no entra en este costo.

La ciudad requeriría un total de 10 plantas de tratamiento modulares cuyo costo es de \$207.50 MDP de tal forma que costo total para el tratamiento de aguas residuales en Delicias consideran plantas paquete con capacidad de 25 l/s asciende a 207.5 MDP. Este costo es solo de inversión se estima que el costo de operación de las 10 plantas paquete es el 50% del costo de operación de la PTAR Norte como está proyectada.

Para la proyección de población se requería ampliar esta capacidad dos plantas adicionales, lo que haría que el costo de la solución ascienda a los 249 MDP. Como se mencionó esta solución requiere de la definición de los predios que las alojarían los puntos de descarga de aguas residuales tratadas, así como la sectorización del drenaje en la ciudad para evitar la mezcla.

3 Situación con el programa o proyecto de inversión

La construcción de la PTAR Norte constituye para Delicias dejar de contar con valores nulos de cobertura de saneamiento siendo esta la tercera ciudad en importancia del estado de Chihuahua. La PTAR Norte resolverá el 67% del problema de la ciudad, pues con el tratamiento del volumen que ese porcentaje de la población genera, será posible hacer prácticas de reúso, lo que representaría ingreso adicional para la población, la reconversión de cultivos será también una consecuencia de uso del agua residual tratada, el reúso en la agricultura permitirá cultivar productos de mayor productividad y rentabilidad.

3.1 Descripción general

El proyecto de construcción de la PTAR Norte considera contar con una capacidad de 300 l/s que permitirá tratar la totalidad de las aportaciones de aguas residuales producidas en la zona norte. El proyecto considera la construcción de cuatro tramos de colector de aguas residuales faltantes, del colector Carmona 136 m con tubería de 91 cm de diámetro nominal; del colector Dren Laguna Seca 400 m con tubería de 1107 cm de



diámetro nominal; del dren lotes urbanos un total de 411 m de colector con diámetro de 30 cm de diámetro nominal; 280 m de colector faltante para llevar la totalidad del agua residual captada en la zona norte de Delicias a la PTAR Norte, el diámetro nominal de este tramo de colector es de 1.22 m. Finalmente se considera la construcción de un emisor de aguas residuales tratadas con una longitud de 595 m y 1.22 m de diámetro nominal.

El proyecto ejecutivo de la PTAR Norte se elaboró para dar cumplimiento a la NOM-001-SEMARNAT-1996 para cuerpos de agua tipo B "Ríos con uso público urbano". De esta forma el proceso de tratamiento y operación de la PTAR Norte consiste en:

3.1.1 Pretratamiento:

Para remoción de basuras y sólidos, se plantea el uso de dos sistemas totalmente automatizados. El primer paso es el cribado a 40 mm mediante el uso de un sistema de criba de cadena para caudal promedio de 300 l/s, que incluye sensor de nivel diferencial, de manera que una vez que se ha limpiado la criba, se ahorrará energía eléctrica con la no operación por varios minutos de este sistema.

El segundo paso consiste en un sistema compacto en acero inoxidable que incluye cribado fino a 3 mm mediante el uso de un roto tamiz, en el cual los sólidos separados son elevados mediante sistema de tornillo sinfín, que a la vez que los eleva, los enjuga a contraflujo y los comprime, por lo que hace entrega de sólidos con la calidad suficiente para disposición a relleno sanitario; incluye también desarenado por dispositivos tipo aireado, que remueve también grasa, clasificación de arenas por sistema de tornillo inclinado, que eleva, pre-lava y desagua las arenas separadas.

3.1.2 Proceso de tratamiento:

Proceso de lodos activados en la modalidad de desnitrificación previa, con selector anaerobio para la asimilación elevada de fósforo, con esto se obtendrá efluente de muy alta calidad en cuanto a los parámetros de, Fósforo, Nitrógeno Total Kjeldahl y Demanda Bioquímica de Oxígeno. La clarificación final se dará en un sistema de sedimentación tipo clarificador circular.

3.1.3 Desinfección:

Tanque de contacto de cloro utilizando hipoclorito de sodio. La totalidad del agua tratada se pondrá en contacto con hipoclorito de sodio, lo que garantiza su desinfección y cumplimiento de los parámetros de la normatividad aplicable.



3.1.4 Lodos:

La estabilización de los lodos subproducto del tratamiento será a través de lagunas anaerobias cubiertas y deshidratado mecánico.

3.2 Alineación estratégica

Dentro del Plan Estatal de Desarrollo 2017-2021, uno de los ejes transversales es la opción preferencial a las personas en situación de pobreza y comprende la identificación de las acciones necesarias para dignificar la vida de todas y todos los chihuahuenses. El acceso a servicios públicos de saneamiento es considerado uno de los servicios que dignifican a la población, pues reduce el riesgo de contagio por enfermedades hídricas y el contacto con flora y fauna dañina. Un segundo eje transversal es el de Derechos Humanos e Inclusión Social, en el cual se promueve y fomenta la formación de las ciudades chihuahuenses en ciudades y comunidades sostenibles. El reúso de las aguas residuales tratadas aporta a la creación de ciudades sostenibles.

Como parte del Eje Rector No. 3, Infraestructura, Desarrollo Urbano y Medio Ambiente, se destaca el impulso al desarrollo de infraestructura estratégica como factor clave, con el fin de elevar la competitividad en las regiones del estado y consolidar nuestras fortalezas económicas. Las comunicaciones, el desarrollo urbano y el agua son factores estratégicos que deben ocupar nuestra atención en relación directa con el cuidado del medio ambiente y la sustentabilidad del estado.

El sector al que está dirigido es principalmente al agropecuario de manera directa e indirectamente al sector urbano.

Considerando lo especificado por el PIB, tenemos que el sector al que está enfocado corresponde a la Gran División 4: Construcción (Rama 60, Grupo 601, Subgrupo 6011 "Agua, riego y saneamiento").

3.3 Localización geográfica

Delicias es una ciudad situada en la zona central del estado de Chihuahua. Colinda al norte con Meoqui, al este y al sur con Saucillo y al oeste con el Municipio de Rosales. La zona metropolitana Delicias-Meoqui (declarada en el 2018 como la zona metropolitana más joven de México) cuenta con una población de 192 mil 797 habitantes (INEGI, 2015), se localiza en la latitud norte 28°11" y longitud oeste 105°28" a una altitud de 1,170 metros



Delicias, el principal productor de leche bovina del estado. El sector manufacturero en Delicias no se considera un productor intensivo de aguas residuales, mientras que, en el caso del sector agrícola y ganadero, la presión que ejerce es básicamente al consumo de agua y no a la producción de aguas residuales.

Con base en los datos estadísticos disponibles en INEGI (INEGI, 2015), se determina que al 2015 el total de viviendas en la ciudad era de 42,299 viviendas con una tasa de crecimiento poblacional para la ciudad de Delicias en el 2015 (Consejo Nacional de Población , 2019) de 1.16%. El uso público urbano es el principal generador de aguas residuales en la ciudad de Delicias.

3.4 Calendario de actividades

La construcción de la PTAR Norte de Delicias requiere un tiempo de ejecución de 14 meses, esto se muestra en la Tabla 12. La tabla se construye a partir de la calendarización de las actividades que forman parte del proyecto ejecutivo desarrollado por la JCAS (JCAS, 2019) el desglose de actividades se hace de manera específica, es decir, se presenta el mayor detalle posible de la calendarización de actividades sin caer en detalles que no aportan información relevante para la evaluación del proyecto de inversión.



Tabla 12, Calendario de actividades. Fuente: Elaboración Propia con Información de la JCAS

 JUNTA CENTRAL DE AGUA Y SANEAMIENTO DEL ESTADO DE CHIHUAHUA		LOCALIDAD: DELICIAS (ZONA NORTE) MUNICIPIO: DELICIAS OBRA: CONSTRUCCIÓN DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		CALENDARIO DE ACTIVIDADES														
				C O N C E P T O	TIEMPO PROGRAMADO DE EJECUCIÓN DE OBRA (EN MESES)													
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
AGUAS RESIDUALES CRUDAS																		
1.- COLECTORES Y EMISORES																		
1.- COLECTORES Y EMISORES																		
1.1.- PROLONGACIÓN DE EMISOR DE AGUAS RESIDUALES																		
1.2.- EMISOR DE AGUA TRATADA																		
1.3.- COLECTOR CARMONA																		
1.4.- COLECTOR LAGUNA SECA																		
1.5.- COLECTOR LOTES URBANOS																		
PLANTA DE TRATAMIENTO																		
2.- LIMPIEZA, DESPLAME Y TRAZO																		
3.- CAJA DE EXCEDENCIAS (CDE 050)																		
4.- CANALES DE DESBASTE (PTR-100)																		
4.1.- EQUIPAMIENTO (PTR-100)																		
5.- CARCAMO DE BOMBEO (CBA-200)																		
5.1.- EQUIPAMIENTO (CBA-200)																		
6.- ESTRUCTURA BASE PARA PLANTA COMPACTA (PTC-250)																		
6.1.- CAJA ROMPEDORA DE PRESION (CRP)																		
6.2.- EQUIPAMIENTO DE PLANTA COMPACTA (PTC-250)																		
7.- CAJA REPARTIDORA (CRE-270)																		
8.- REACTORES TIPO LAGUNAS (RTL-300)																		
8.1.- EQUIPAMIENTO DE REACTORES (RTL-300)																		
9.0.- CLARIFICADORES																		
9.1.- CLARIFICADOR SECUNDARIO (CLS-400-A)																		
9.2.- CLARIFICADOR SECUNDARIO (CLS-400-B)																		
9.3.- EQUIPAMIENTO DE CLARIFICADORES SECUNDARIOS (CLS-400)																		
9.4.- FOSA DE RECIRCULACIÓN DE LODOS (FRL-450)																		
9.5.- EQUIPAMIENTO DE FOSA DE RECIRCULACION (FRL-450)																		
10.- TANQUE DE CONTACTO DE CLORO (TCC-500)																		
10.1.- EQUIPAMIENTO DE TANQUE DE CONTACTO DE CLORO (TCC-500)																		
TRATAMIENTO DE LODOS																		
11.- LAGUNAS DE DIGESTION DE LODOS (LAC-700)																		
11.1.- EQUIPAMIENTO DE LAGUNAS DE DIGESTION DE LODOS (LDL-700)																		
11.- ESPESAMIENTO Y DESHDRATACION DE LODOS (EDL-800)																		
11.1.- EQUIPAMIENTO DE ESPESAMIENTO Y DESHIDRATACION DE LODOS (EDL-800)																		
13.- TUBERIAS Y PIEZAS ESPECIALES																		
14.- EDIFICIOS																		
14.1.- EDIFICIO DE OPERACIÓN Y CONTROL (EOC)																		
14.2.- EQUIPO PARA LABORATORIO PARA CONTROL DE OPERACIONES																		
14.3.- CASETA DE VIGILANCIA (CVI)																		
14.4.- EDIFICIO ALMACEN Y TALLERES (ALM)																		
14.5.- EDIFICIO DE CONTROL DE MOTORES (CCM)																		
14.6.- CASETA DE CLORACIÓN (CCL)																		
15.- VIALIDADES Y OBRAS EXTERNAS																		
15.1.- DRENAJE INTERNO																		
15.2.- DRENAJE PLUVIAL																		
15.3.- AGUA POTABLE																		
15.4.- CÁRCAMO DE AGUA TRATADA (CAT-600)																		
16.- ELECTRICO																		
17.- OBRAS COMPLEMENTARIAS																		
19.- PUESTA EN MARCHA																		



3.5 Monto total de inversión

Los costos de inversión fueron calculados por la JCAS y presentados en el informe de factibilidad (Junta Central de Agua y Saneamiento del Estado de Chihuahua, 2019) realizado para la PTAR Norte, se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13. Costos de inversión PTAR Norte. Fuente: JCAS (Junta Central de Agua y Saneamiento del Estado de Chihuahua, 2019).

PRESUPUESTO GENERAL	
CONCEPTO	IMPORTE SIN IVA
A) COLECTORES Y EMISORES	
1.1.- PROLONGACIÓN DE EMISOR DE AGUAS RESIDUALES	\$3,356,868.45
1.2.- EMISOR DE AGUA TRATADA	\$4,558,115.57
1.3.- COLECTOR CARMONA	\$740,276.96
1.4.- COLECTOR LAGUNA SECA	\$1,898,102.34
1.5.- COLECTOR LOTES URBANOS	\$446,085.26
B) PLANTA DE TRATAMIENTO	
2.- LIMPIEZA, DESPLAME Y TRAZO	\$2,624,891.46
3.- CAJA DE EXCEDENCIAS (CDE 050)	\$672,012.18
4.- CANALES DE DESBASTE (PTR-100)	\$1,107,672.83
4.1.- EQUIPAMIENTO (PTR-100)	\$1,598,209.20
5.- CARCAMO DE BOMBEO (CBA-200)	\$2,055,045.68
5.1.- EQUIPAMIENTO (CBA-200)	\$3,102,743.00
6.- ESTRUCTURA BASE PARA PLANTA COMPACTA (PTC-250)	\$1,962,218.32
6.1.- CAJA ROMPEDORA DE PRESION (CRP)	\$137,670.77
6.2.- EQUIPAMIENTO DE PLANTA COMPACTA (PTC-250)	\$14,711,940.00
7.- CAJA REPARTIDORA (CRE-270)	\$621,298.34
8.- REACTORES TIPO LAGUNAS (RTL-300)	\$7,530,855.19
8.1.- EQUIPAMIENTO DE REACTORES (RTL-300)	\$18,043,172.60
C) CLARIFICADORES	
9.1.- CLARIFICADOR SECUNDARIO (CLS-400-A)	\$3,214,079.84
9.2.- CLARIFICADOR SECUNDARIO (CLS-400-B)	\$3,190,281.42
9.3.- EQUIPAMIENTO DE CLARIFICADORES SECUNDARIOS (CLS-400)	\$5,304,676.00
9.4.- FOSA DE RECIRCULACIÓN DE LODOS (FRL-450)	\$762,146.29



APIA INGENIERIA

PRESUPUESTO GENERAL	
CONCEPTO	IMPORTE SIN IVA
9.5.- EQUIPAMIENTO DE FOSA DE RECIRCULACION (FRL-450)	\$1,742,347.60
10.- TANQUE DE CONTACTO DE CLORO (TCC-500)	\$2,225,191.03
10.1.- EQUIPAMIENTO DE TANQUE DE CONTACTO DE CLORO (TCC-500)	\$9,509,409.00
TRATAMIENTO DE LODOS	
11.- LAGUNAS DE DIGESTION DE LODOS (LAC-700)	\$2,220,799.23
11.1.- EQUIPAMIENTO DE LAGUNAS DE DIGESTION DE alternativasL-700)	\$6,259,395.50
11.- ESPESAMIENTO Y DESHIDRATACION DE LODOS (EDL-800)	\$457,564.27
11.1.- EQUIPAMIENTO DE ESPESAMIENTO Y DESHIDRATACION DE LODOS (EDL-800)	\$17,779,816.00
13.- TUBERIAS Y PIEZAS ESPECIALES	\$5,801,074.92
D) EDIFICIOS	
14.1.- EDIFICIO DE OPERACIÓN Y CONTROL (EOC)	\$1,445,904.17
14.2.- EQUIPO PARA LABORATORIO PARA CONTROL DE OPERACIONES	\$564,478.00
14.3.- CASETA DE VIGILANCIA (CVI)	\$158,181.75
14.4.- EDIFICIO ALMACEN Y TALLERES (ALM)	\$923,914.31
14.5.- EDIFICIO DE CONTROL DE MOTORES (CCM)	\$365,472.77
14.6.- CASETA DE CLORACIÓN (CCL)	\$241,099.86
15.- VIALIDADES Y OBRAS EXTERNAS	\$966,385.50
15.1.- DRENAJE INTERNO	\$134,965.25
15.2.- DRENAJE PLUVIAL	\$359,383.29
15.3.- AGUA POTABLE	\$236,810.44
15.4.- CÁRCAMO DE AGUA TRATADA (CAT-600)	\$207,710.58
16.- ELECTRICO	\$18,658,414.20
17.- OBRAS COMPLEMENTARIAS	\$2,726,758.45
19.- PUESTA EN MARCHA	\$789,673.06
TOTAL	\$ 151,413,110.87
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE OBRA	16,655,442.20
GRAN TOTAL	\$ 168,068,553.06



APIA INGENIERIA

El costo de inversión asciende a los \$151,413,110.87 pesos, que corresponde al total del presupuesto determinado para la construcción de la PTAR Norte. En el caso de la PTAR Norte, el predio donde se construirá ya es propiedad de la JMAS Delicias, por lo tanto, no se considera parte de la inversión.

Se considera un costo de supervisión y control de obra de \$16,655,442.20 pesos para atender los requisitos definidos en la Ley de Obra Pública.

El total de la inversión es de \$168,068,553.06 pesos, como se muestra en la CTabla 13, mismos que serán ejercidos a lo largo de 14 meses como se muestra en el calendario de ejecución mostrado en la Tabla 13.

3.6 Financiamiento

Las fuentes de financiamiento son Federal con 50% del monto de inversión, Estatal con el 30% del monto de la inversión y Municipal con el 20% del monto de inversión.

En lo relacionado a la operación, la totalidad del costo de operación y mantenimiento se considera a cargo de la JMAS Delicias, pagado a través de ingresos propios.

3.7 Capacidad instalada

La capacidad instalada que se tendría con la construcción de la PTAR Norte es de 300 l/s y será la oferta que satisfará la demanda hasta el 2041, Su evolución será nula a lo largo del horizonte de evaluación.

3.8 Metas anuales

Se consideran como metas anuales las mencionadas en la Tabla 14. La producción de agua residual tratada será de 8.29 hm³/año para el 2021, incrementándose de manera lineal hasta el 2041 con 9.27 hm³/año. En lo relacionado a los lodos se producirá 4.7 t/año de lodo para el 2021 y se incrementará hasta 5.25 t/año en el 2041.

La integración de las variables previamente expuestas permite tener un total de 184.7 hm³/año de agua residual tratada y 104.74 t/año para los lodos.

Tabla 14. Metas anuales para la PTAR Norte. Fuente: Elaboración propia.

AÑO	APORTACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PTAR NORTE (l/s) DEMANDA	VOLUMEN TRATADO hm ³ /AÑO	LODOS PRODUCIDOS t/año
2021	262.74	8.29	4.70
2022	264.67	8.35	4.73
2023	266.53	8.41	4.77
2024	268.33	8.46	4.80
2025	270.05	8.52	4.83



AÑO	APORTACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PTAR NORTE (l/s) DEMANDA	VOLUMEN TRATADO hm ³ /AÑO	LODOS PRODUCIDOS t/año
2026	271.72	8.57	4.86
2027	273.32	8.62	4.89
2028	274.86	8.67	4.91
2029	276.34	8.71	4.94
2030	277.76	8.76	4.97
2031	279.19	8.80	4.99
2032	280.63	8.85	5.02
2033	282.07	8.90	5.04
2034	283.53	8.94	5.07
2035	284.99	8.99	5.10
2036	286.45	9.03	5.12
2037	287.93	9.08	5.15
2038	289.41	9.13	5.17
2039	290.90	9.17	5.20
2040	292.40	9.22	5.23
2041	293.90	9.27	5.25
TOTAL		184.73	104.74

3.9 Vida útil

La vida útil del programa de inversión es de 50 años, si la PTAR recibe el mantenimiento adecuado y su operación se de manera correcta.

3.10 Aspectos más relevantes para llevar a cabo el proyecto

El resumen de los aspectos más relevantes a considerar en la evaluación técnica, legal y ambiental son:

3.10.1 Evaluación técnica

Se realizó un Estudio de Factibilidad Técnica para el diseño de la PTAR Norte de Delicias que indica lo siguiente:

Como parte de la integración se realizó la modulación, el dimensionamiento básico de las unidades de los trenes de tratamiento, utilizando los caudales integrados y medidos en la zona norte de Delicias y que serán conducidos por los colectores hasta el colector principal que será construido en conjunto con la PTAR Norte. A futuro estos colectores captarán las aguas residuales que se generan en la zona de influencia de la PTAR Norte.



También, dentro de la integración, se consideró el periodo de proyecto al 2041, la proyección de la variación de la calidad del agua residual muestreada y analizada en las campañas de muestreo en la totalidad de los colectores identificados en la ciudad y que llevarán agua a la futura PTAR Norte, ponderando las calidades con los gastos aforados en cada descarga, tanto de muestras individuales, como de muestras diarias compuestas con las partes alícuotas de las variaciones horarias de los gastos, tomando en cuenta también la variación a través del tiempo de las diversas relaciones entre los principales parámetros de calidad analizados.

El dimensionamiento de cada uno de los tanques y componentes de cada tren de tratamiento se llevó a cabo como planta de tratamiento para dos calidades de afluente para cumplir con la clasificación de la calidad expresada en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y en la NOM-003-SEMARNAT-1996.

Los criterios empleados en el diseño de las obras de tratamiento se apoyaron en las recomendaciones de la “*Water Environmental Federation (WEF)*”, de la “*Environmental Protection Agency of United States of America*” (USEPA), de la “*Water Pollution Control Federation*” (WPCF), de la “*American Society of Civil Engineers*” (ASCE), (Comisión Nacional del Agua, 2015), de los documentos técnicos de la UNAM y bibliografía especializada reconocida a nivel internacional.

Todo lo anterior con base en la alternativa de tren de tratamiento específico para la PTAR Norte integrada, la cual considera la construcción de la infraestructura y el suministro e instalación de los equipos para realizar los procesos de limpieza, despalme y trazo del agua residual, la caja de excedencias, los canales de desbaste, el cárcamo de bombeo de agua residual, reactores tipo lagunas de oxidación y la totalidad del equipamiento para hacer funcional estos componentes. El proceso de clarificación, la recirculación de lodos, la desinfección del agua residual tratada, y el proceso de tratamiento de lodos (digestión y espesamiento y deshidratación) y el equipamiento para todos estos procesos.

Se concluye que el análisis de alternativas, la mejor desde el punto de vista técnico y económico es la de Reactor aerobio de baja carga con clarificación secundaria. El proyecto es técnicamente viable.

3.10.2 Evaluación ambiental

La acción del proyecto tiene su principal incidencia sobre el factor ambiental. Los posibles impactos aguas abajo de la PTAR Norte de Delicias quedan mitigados por el uso



de agua tratada en las áreas de las zonas agrícolas del Módulo 4 del DR 005. De prevalecer la situación actual, se continuará usando agua sin tratamiento para riego agrícola.

Las acciones que tendrán incidencia sobre los factores ambientales con impacto adverso mitigable (moderado a bajo) se circunscriben a las operaciones que implican tanto las obras de construcción como operación teniendo precaución sobre las que se refieren a la generación de olores.

El impacto adverso significativo se atribuye al riesgo de manejo del sistema de cloración que finalmente dependerá de los volúmenes requeridos de almacenamiento.

Se concluye que el proyecto representará un impacto positivo en el ecosistema del Río San Juan. El proyecto se considera ambientalmente viable.

3.10.3 Evaluación legal

Se contempla que se aplicará la Ley de Obra Pública y las que apliquen para la licitación del proyecto.

No se tienen previstos problemas sociales por la ejecución del proyecto, debido a la ubicación del terreno destinado para la PTAR Norte de Delicias, que es propiedad de la JMAS Delicias.

El proyecto se considera legalmente viable.

3.11 Análisis de la Oferta a lo largo del horizonte de evaluación

La generación de aguas residuales en la zona de cobertura de la PTAR Norte se muestra en la Tabla 15 en la columna denominada **OFERTA CAPACIDAD INSTALADA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR NORTE (l/s)** que corresponde a la capacidad que la JMAS Delicias tendría con la construcción de la PTAR Norte. La oferta pasaría de cero que es el valor actual a 300 l/s de tratamiento de aguas residuales en 14 meses que es el periodo de ejecución y puesta en marcha del proyecto de inversión con lo cual la ciudad de Delicias tendría la problemática del tratamiento para la zona norte cubierto al 2041.

La calidad del agua residual producida por la PTAR Norte se comportaría como se muestra en la Tabla 16, pasando de la calidad monitoreada del agua residual mostrada en la Tabla a contar con parámetros mostrados dentro de norma, que es el objetivo de la PTAR Norte.



Tabla 15. Oferta-demanda y para el proyecto de la PTAR Norte. Fuente: Elaboración propia.

AÑO	HABITANTES	APORTACIÓN DE AGUAS RESIDUALES (l/s)	DEMANDA DE TRATAMIENTO PLANTA NORTE 67% DE LA POBLACIÓN	OFERTA CAPACIDAD INSTALADA PTAR NORTE (l/s)	INTERACCIÓN OFERTA DEMANDA PTAR NORTE
2021	156,314	392.14	262.74	0	-262.74
2022	157,466	395.03	264.67	300	35.33
2023	158,574	397.81	266.53	300	33.47
2024	159,641	400.49	268.33	300	31.67
2025	160,668	403.06	270.05	300	29.95
2026	161,657	405.55	271.72	300	28.28
2027	162,610	407.94	273.32	300	26.68
2028	163,527	410.24	274.86	300	25.14
2029	164,409	412.45	276.34	300	23.66
2030	165,255	414.57	277.76	300	22.24
2031	166,106	416.71	279.19	300	20.81
2032	166,961	418.85	280.63	300	19.37
2033	167,820	421.01	282.07	300	17.93
2034	168,684	423.17	283.53	300	16.47
2035	169,552	425.35	284.99	300	15.01
2036	170,425	427.54	286.45	300	13.55
2037	171,302	429.74	287.93	300	12.07
2038	172,184	431.95	289.41	300	10.59
2039	173,070	434.18	290.90	300	9.10
2040	173,961	436.41	292.40	300	7.60
2041	174,856	438.66	293.90	300	6.10

Tabla 16. Marco Normativo Aplicable y Calidad Objetivo Efluente. Fuente (JCAS, 2019).

Parámetro de diseño	Unidades	Calidad del agua residual afluente	NOM-001 Cuerpo Tipo B Objetivo*
DBO	mg/l	300	75
SST	mg/l	280	75
Nitrógeno Total	mg/l	50	40
Fósforo Total	mg/l	10	20
Grasas y Aceites	mg/l	< 15	15
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	100,000,000	1,000

* Promedio Mensual



3.12 Análisis de la Demanda a lo largo del horizonte de evaluación

La demanda a lo largo del horizonte de evaluación se comporta como se muestra en la columna denominada **DEMANDA DE TRATAMIENTO PLANTA NORTE 67% DE LA POBLACIÓN** dentro de la Tabla 15. La Figura 21 ilustra el comportamiento de la demanda del 67% de la población que aporta agua residual al sitio donde se recolectaría para llevarse a la PTAR Norte. Su incremento sería de 267.4 l/s en el 2021 a 293.9 en el 2041.

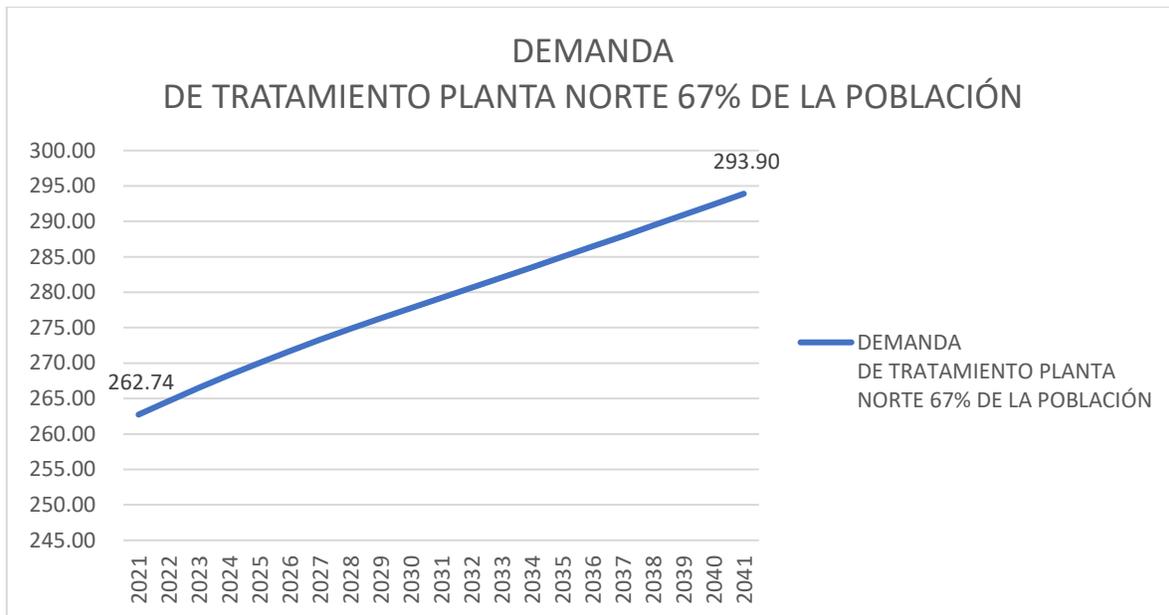


Figura 21. comportamiento de la demanda a lo largo del horizonte de evaluación: Fuente elaboración propia.

3.13 Diagnóstico de la interacción de la oferta-demanda a lo largo del horizonte de evaluación

Con la puesta en operación de la PTAR Norte la oferta de la ciudad de Delicias se incrementaría de 0 en el 2021 a 300 l/s en el 2022. El comportamiento sobre la demanda de tratamiento de la ciudad de Delicias tendría la forma que se muestra en la Figura 22.

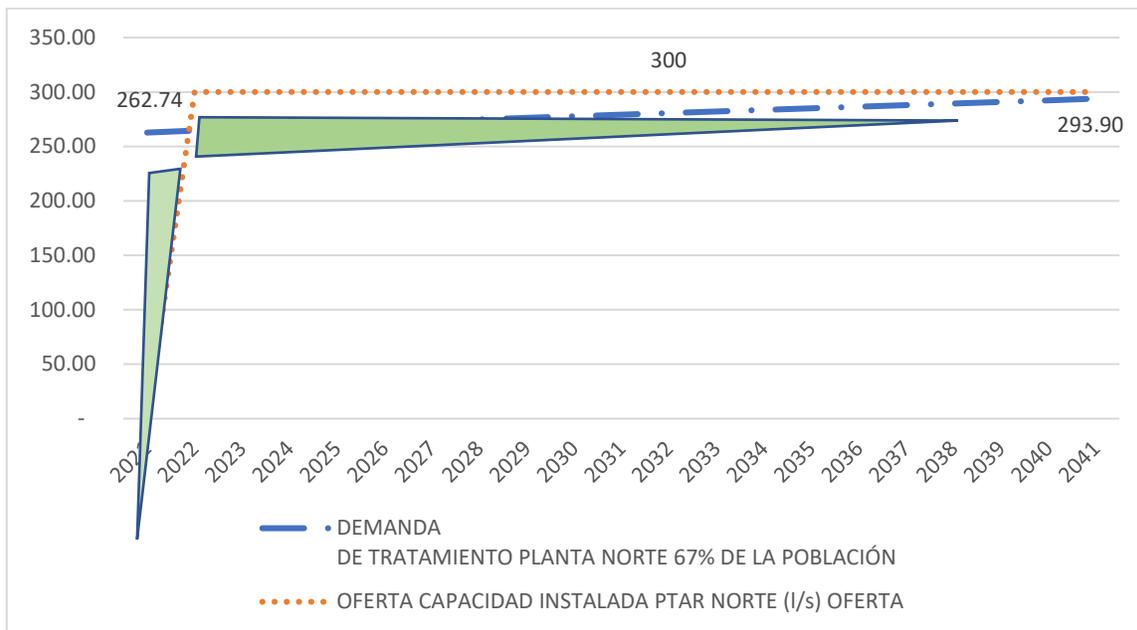


Figura 22. Interacción oferta demanda para el horizonte de evaluación de la PTAR Norte. Elaboración Propia.

La línea de punteada representa la oferta de tratamiento de la ciudad de Delicias con la entrada en operación de la PTAR Norte, como se aprecia en el 2021 esta es igual a cero, en el 2022 que inicia la operación de la planta se incrementa a 300 l/s y se mantiene constante hasta el 2041.

Por su parte la demanda presenta en comportamiento mostrado con la línea representada como guion y punto en la Figura 22, la demanda de tratamiento en el 2021 es de 262.74 l/s y es creciente hasta llegar a los 293.90 l/s en el 2041.

La interacción de estas dos variables se determina a través de la diferencia de la oferta menos la demanda la cual se visualiza como el espacio entre las dos curvas. De manera gráfica se presenta con los polígonos internos entre ambas líneas. La Tabla 17 contiene los valores de las diferencias entre la oferta y la demanda para la situación con proyecto a lo largo del periodo de evaluación para la situación donde la PTAR Norte inicia operaciones se aprecia que la demanda queda satisfecha en el 2022 y es atendida hasta el 2041.



Tabla 17. Valor de la interacción de la oferta y la demanda a lo largo del periodo de evaluación. Fuente: elaboración Propia.

AÑO	INTERACCIÓN OFERTA DEMANDA PTAR NORTE
2021	-262.74
2022	35.33
2023	33.47
2024	31.67
2025	29.95
2026	28.28
2027	26.68
2028	25.14
2029	23.66
2030	22.24
2031	20.81
2032	19.37
2033	17.93
2034	16.47
2035	15.01
2036	13.55
2037	12.07
2038	10.59
2039	9.10
2040	7.60
2041	6.10

4 Evaluación del Programa o Proyecto de Inversión(aquí)

En esta sección se presenta la evaluación social del programa se hace como primer paso la identificación, cuantificación y valoración de los costos del programa o proyecto de inversión, en la cual se presenta cada uno de los componentes de proyecto analizado su costo. En el caso de la PTAR Norte la totalidad de los costos fueron analizados a nivel proyecto ejecutivo.



4.1 Costos del proyecto de inversión

El monto de inversión para la PTAR Norte asciende a los 194.96 millones de pesos, considera cinco componentes, la primera corresponde a los colectores faltantes para hacer llegar el agua residual a la PTAR Norte y el emisor para desalojar el agua residual tratada, un total de 1,227 m de colector con diámetros de 30, 91 cm y 1.1 y 1.22 m de diámetro nominal. En lo relacionado al emisor un total de 595 m de tubería de 1.22 m de diámetro nominal con un costo total de suministro e instalación de 10.99 millones de pesos (Tabla 18).

Tabla 18. Costos de inversión de la PTAR Norte. Fuente: Elaboración propia.

COSTOS PTAR NORTE	
COLECTORES Y EMISORES	\$10,999,448.59
PLANTA DE TRATAMIENTO	\$54,167,729.56
CLARIFICADORES	\$58,466,781.09
EDIFICIOS	\$27,779,151.62
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE OBRA	\$16,655,442.20
SUB TOTAL	\$168,068,553.06
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO 16%	\$26,890,968.49
TOTAL	\$194,959,521.55

El segundo componente corresponde a la planta de tratamiento, en este rubro se considera la construcción de la infraestructura y el suministro e instalación de los equipos para realizar los procesos de limpieza, despulme y trazo del agua residual, la caja de excedencias, los canales de desbaste, el cárcamo de bombeo de agua residual, reactores tipo lagunas de oxidación y la totalidad del equipamiento para hacer funcional estos componentes. El costo privado de este componente es de 54.17 millones de pesos (Tabla 18).

El proceso de clarificación, la recirculación de lodos, la desinfección del agua residual tratada, y el proceso de tratamiento de lodos (digestión y espesamiento y



APIA INGENIERIA

deshidratación) y el equipamiento para todos estos procesos forman el componente tres con un costo de 58.46 millones de pesos, mismo que se muestra en la Tabla 18.

La construcción de los edificios, casetas de operación y control, el cárcamo de agua tratada y los drenajes necesarios, así como la electrificación de la totalidad de los componentes de la PTAR, las obras complementarias y la puesta en marcha de la planta se considera parte del componente cuatro con un costo privado de 27.8 millones de pesos, ver Tabla 18.

Se considera la supervisión y control de obra como parte del proceso constructivo con un costo privado de 16.65 millones de pesos.

El total de los cinco componentes suma 168.068 millones de pesos, el 16% del Impuesto al Valor Agregado IVA asciende a 26.89 millones de pesos y la sumatoria llega a los 194.96 millones de pesos, como se muestra en el desglose de la Tabla 18.

En lo relacionado a los costos de operación y mantenimiento el monto privado asciende a los 13.94 millones de pesos y su desglose se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19. Costos de Operación y mantenimiento de la PTAR Norte. Fuente Elaboración propia.

INVERSIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	
Energía Eléctrica	\$515,110
Mano de Obra	\$95,600
Cloro	\$48,250
Mantenimiento y Consumibles	\$245,316
Disposición de lodo	\$68,210
Laboratorio	\$28,845
IMPORTE TOTAL MENSUAL	\$1,001,331
IMPORTE TOTAL ANUAL	\$12,015,972.00
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO 16%	\$1,922,555.52
TOTAL	\$13,938,527.52



La totalidad de los costos presentados en este apartado se toma del Proyecto ejecutivo para la PTAR Norte, en ninguno de los casos existe una fuente distinta.

Los costos de operación y mantenimiento de las alternativas de tratamiento se calcularon en pesos corrientes de diciembre de 2019, considerando los siguientes conceptos de costo:

- 300 l/s de caudal medio
- Consumo de energía eléctrica
- Mano de obra
- Disposición de lodo
- Mantenimiento y consumibles
- Análisis en laboratorio externo

4.1.1 Costo por consumo de Energía eléctrica

Para cada alternativa de tratamiento se estableció el número de los principales equipos electromecánicos y la potencia de cada uno, se definieron las horas de operación por equipos, y con base en ello se calculó el requerimiento medio de energía de cada planta. Con el importe del cargo por potencia de operación y con el cargo por demanda máxima medida se calcularon los costos de energía consumida por mes.

Las tarifas de los cargos por kilowatt de demanda máxima medida y por kilowatt-hora de energía consumida, son las del servicio GDMTH “Gran demanda en media tensión horaria”, correspondientes a la región Norte. El costo del kilowatt-hora de energía consumida es un valor medio que pondera el costo unitario de la energía eléctrica en los horarios punta, intermedio y base, en función de las horas por día en que aplica cada tarifa. La base para obtener el costo del kWh se hace de acuerdo con lo establecido por la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 2019).

4.1.2 Costo de mano de obra

La mano de obra es un concepto que se definió específico por tipo y tamaño de planta de tratamiento. Se planteó una plantilla de personal que consta de las cinco categorías laborales y salariales que a continuación se indican.

- Jefe de planta de tratamiento
- Supervisor de operación y/o mantenimiento



- Operador
- Auxiliar de operación

Los sueldos nominales están en el rango de \$4,000 a \$16,500 pesos por mes. Los salarios nominales se afectaron por un factor de salario real (FSR) de 1.60 para incorporar el costo de las prestaciones a los trabajadores y de las aportaciones por los conceptos de seguridad social. El importe total por concepto de mano de obra, ya afectada por el factor de salario real, está en el rango de \$ 95,000 a \$ 110,000 por mes.

4.1.3 Costo por manejo de disposición de lodos

El importe de la carga de lodo y acarreo del primer km se calculó con base en un costo unitario de 15.9 \$ por m³. El sobre acarreo de lodo tiene un costo unitario de 4.0 \$/m³-km. La distancia establecida para fines de acarreo es de 10 kilómetros a partir del sitio en que se construya la PTAR de Delicias Norte, de lo que resulta un costo unitario por carga y acarreo de 56 \$/m³.

4.1.4 Costo de mantenimiento, consumibles y servicios de laboratorio

Para estimar el costo por concepto de los servicios de agua y lodos en un laboratorio acreditado, se consideran todos los parámetros (básicos, metales pesados y bacteriológicos) de la NOM-001-SEMARNAT-1996 para cuerpos de agua clasificadas como cuerpo tipo "B", tanto en el influente como en el efluente de la planta de tratamiento.

La frecuencia de muestreo del agua influente y efluente general, así como efluentes intermedios de la planta de tratamiento es quincenal. Se incluye también el análisis de SST y SSV en el influente y efluente del tren de tratamiento de lodos, con frecuencia mensual. Para los biosólidos generados se incluyen los parámetros de metales pesados, patógenos y parásitos establecidos en la NOM-004--SEMARNAT-2002, con frecuencia trimestral para el muestreo y análisis.

4.2 Identificación, cuantificación y valoración de los beneficios del programa o proyecto de inversión

Los beneficios sociales identificados se presentan en esta sección, se describe con detalle su origen, supuestos y valoración.



4.2.1 Beneficio por excedente agrícola

La reconversión de cultivos forrajeros por cultivos frutales con mayor precio de venta se logra en 850 has que actualmente se riegan con aguas residuales crudas en el DR 005. Al mejorar la calidad del agua utilizada para riego, será posible producir cultivos que cumplan con criterios inocuidad alimentaria y por lo tanto incrementar la productividad de las 850 has que actualmente se utilizan para la siembra de forrajes. Se debe resaltar que el Módulo 4 tiene derechos de uso de aguas residuales solo por 1 millón de metros cúbicos, derechos que no se alterarían y que serán satisfechos con aguas residuales tratadas.

La alternativa viable de reconversión de cultivos para las 850 has objeto de este proyecto considera los cultivos y las superficies mostradas en la *Tabla 20*.

Tabla 20. Cultivos viables a ser producidos con agua residual tratada en el módulo 4.

EJIDO COLONIA TERRAZAS (OPCION DE RECONVERSIÓN)					
CULTIVO	RENDIMIENTO ton/ha	PMR \$/ton	SUPERFICIE SEMBRADA Has	PRODUCCIÓN ton	VALOR DE LA COSECHA \$
HIGO	6.45	21,998.19	192	1238.4	27,242,558.50
MEMBRILLO	8.73	8,040.86	96	1254.72	7,288,480.27
GRANADA	7.63	8,896.03	96	732.48	6,516,164.05
TOTAL			384.00	3,225.60	41,047,202.82

EJIDO COLONIA TERRAZAS (OPCION DE RECONVERSIÓN)					
CULTIVO	RENDIMIENTO ton/ha	PMR \$/ton	SUPERFICIE SEMBRADA Has	PRODUCCIÓN ton	VALOR DE LA COSECHA \$
HIGO	6.45	21,998.19	450	2,903	63,849,746.48
MEMBRILLO	8.73	8,040.86	200	2,614	15,184,333.90
GRANADA	7.63	8,896.03	200	1,526	13,575,341.78
TOTAL			850.00	7,042.50	92,609,422.16



La selección de cultivos se hace considerando la experiencia que se tiene en la región y en estado para la siembra y cuidado de estos cultivos, la Secretaría de Desarrollo Rural del Gobierno del Estado de Chihuahua cuenta con organizaciones de usuarios y especialistas que dan apoyo técnico para la reconversión a este tipo de cultivos, toda vez que los programas de reconversión de cultivos es una de las metas del Plan Estatal Hídrico 2040 del Gobierno del Estado de Chihuahua (Junta Central de Agua del Estado de Chihuahua, 2019).

Con esta alternativa se lograría la misma superficie regada de 850 has distribuida en 450 cultivada con higo, 200 de membrillo y 200 de granada. Con esta alternativa el valor de la producción ascendería a poco más de 92.6 millones de pesos anuales.

Con base en lo anterior, el excedente económico resulta del orden de los 67.7 millones de pesos anuales, lo que representa un incremento del 272% en el valor de los productos cosechados con la opción de reconversión respecto a la cosecha de forraje para la superficie de 850 has regadas con agua residual en el ejido Colonia Terrazas.

4.2.2 Beneficio ecológico

El principal objetivo de cualquier Planta de Tratamiento de Aguas Residuales es la descontaminación de los cuerpos de agua que reciben las descargas de aguas residuales domésticas, que trae consigo el deterioro de la calidad del agua en dichos cuerpos. **Este beneficio se considera intangible para efecto de esta evaluación.**

El beneficio considerado es el excedente agrícola producto de la reconversión de cultivos por las tres variedades de frutales de bajo consumo hídrico y alto rendimiento. Otro de los beneficios intangibles es la posible potencialización de la productividad de la siembra de los frutales sugeridos con la incorporación de la comercialización de productos derivados de los frutos producidos, sin embargo, este beneficio no forma parte de este estudio.

Una vez identificados, valorados y cuantificados los beneficios sociales del proyecto, se calculó su rentabilidad social armando el flujo de efectivo de los costos y beneficios atribuibles al proyecto, el horizonte de evaluación empleado es de 20 años a partir de la conclusión de la construcción de la PTAR Norte, considerando una tasa de descuento social igual al 10%. La información base para el cálculo de los beneficios está contenido en la Tabla 21.



Tabla 21. Producción de agua residual tratada y lodos estabilizados en la PTAR Norte.

AÑO	HABITANTES	APORTACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PTAR NORTE (l/s) DEMANDA	VOLUMEN TRATADO hm ³ /AÑO	LODOS PRODUCIDOS t/año
2021	156,314	262.74	8.29	4.70
2022	157,466	264.67	8.35	4.73
2023	158,574	266.53	8.41	4.77
2024	159,641	268.33	8.46	4.80
2025	160,668	270.05	8.52	4.83
2026	161,657	271.72	8.57	4.86
2027	162,610	273.32	8.62	4.89
2028	163,527	274.86	8.67	4.91
2029	164,409	276.34	8.71	4.94
2030	165,255	277.76	8.76	4.97
2031	166,106	279.19	8.80	4.99
2032	166,961	280.63	8.85	5.02
2033	167,820	282.07	8.90	5.04
2034	168,684	283.53	8.94	5.07
2035	169,552	284.99	8.99	5.10
2036	170,425	286.45	9.03	5.12
2037	171,302	287.93	9.08	5.15
2038	172,184	289.41	9.13	5.17
2039	173,070	290.90	9.17	5.20
2040	173,961	292.40	9.22	5.23
2041	174,856	293.90	9.27	5.25
		TOTAL	184.73	104.74

Como ya se mencionó, el indicador que determina la rentabilidad social del proyecto es la Tasa Interna de Retorno (TIR), que se define en los lineamientos como el indicador base para el análisis de este tipo de proyectos de inversión.

Su cálculo considera el flujo resultante de los costos (VACS) y los beneficios actualizados (VABS) respectivamente. Se calcula el valor actual neto social (VPN), que resulta de la diferencia de las inversiones y los flujos actualizados ambos, a valor mayor, mayor rentabilidad social del proyecto.

La Tabla 23 muestra el resultado del flujo de costos y beneficios sociales y los indicadores de rentabilidad. El flujo y los indicadores de rentabilidad social se calculan con



APIA INGENIERIA

base en la metodología establecida en los lineamientos publicados en el ¹DOF del dos de febrero del 2018 y con la tasa de descuento específica en el mismo lineamiento. Los resultados se muestran en la Tabla 22 respectivamente.

Tabla 22. Indicadores de rentabilidad social. Fuente: Elaboración propia.

INDICADOR	VALOR
Horizonte	20 años
Tasa de descuento social	10%
Costo total (VACS)	257,902,735.43
Beneficio total (VABS)	515,134,537.15
Valor Presente Neto (VPN)	257,231,801.72
TIRS	15%

¹ Diario Oficial de la Federación



APIA INGENIERIA

Tabla 23. Flujo de efectivo social. Fuente: Elaboración propia.

	AÑO	COSTOS			(1+r) ⁿ	CT PRESENTE (VACS)	BENEFICIOS			VPN
		INVERSIÓN	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	COSTO TOTAL			INCREMENTO DE PRODUCTIVIDAD	TOTAL DE BENEFICIOS	ACTUALIZADOS (VABS)	FLUJO ACTUALIZADO
2021	0	151,118,103.08		151,118,103.08	1.00	151,118,103.08				-
2022	1	16,950,449.98		16,950,449.98	0.91	15,409,499.99				-
2023	2		12,015,972.00	12,015,972.00	0.83	9,930,555.37	67,740,992.70	67,740,992.70	55,984,291.49	46,053,736.12
2024	3		12,015,972.00	12,015,972.00	0.75	9,027,777.61	67,740,992.70	67,740,992.70	50,894,810.44	41,867,032.83
2025	4		12,015,972.00	12,015,972.00	0.68	8,207,070.56	67,740,992.70	67,740,992.70	46,268,009.49	38,060,938.94
2026	5		12,015,972.00	12,015,972.00	0.62	7,460,973.23	67,740,992.70	67,740,992.70	42,061,826.81	34,600,853.58
2027	6		12,015,972.00	12,015,972.00	0.56	6,782,702.94	67,740,992.70	67,740,992.70	38,238,024.38	31,455,321.44
2028	7		12,015,972.00	12,015,972.00	0.51	6,166,093.58	67,740,992.70	67,740,992.70	34,761,840.34	28,595,746.76
2029	8		12,015,972.00	12,015,972.00	0.47	5,605,539.62	67,740,992.70	67,740,992.70	31,601,673.04	25,996,133.42
2030	9		12,015,972.00	12,015,972.00	0.42	5,095,945.11	67,740,992.70	67,740,992.70	28,728,793.67	23,632,848.56
2031	10		12,015,972.00	12,015,972.00	0.39	4,632,677.37	67,740,992.70	67,740,992.70	26,117,085.15	21,484,407.78
2032	11		12,015,972.00	12,015,972.00	0.35	4,211,524.88	67,740,992.70	67,740,992.70	23,742,804.69	19,531,279.80
2033	12		12,015,972.00	12,015,972.00	0.32	3,828,658.98	67,740,992.70	67,740,992.70	21,584,367.90	17,755,708.91
2034	13		12,015,972.00	12,015,972.00	0.29	3,480,599.08	67,740,992.70	67,740,992.70	19,622,152.63	16,141,553.56
2035	14		12,015,972.00	12,015,972.00	0.26	3,164,180.98	67,740,992.70	67,740,992.70	17,838,320.58	14,674,139.60
2036	15		12,015,972.00	12,015,972.00	0.24	2,876,528.16	67,740,992.70	67,740,992.70	16,216,655.07	13,340,126.91
2037	16		12,015,972.00	12,015,972.00	0.22	2,615,025.60	67,740,992.70	67,740,992.70	14,742,413.70	12,127,388.10
2038	17		12,015,972.00	12,015,972.00	0.20	2,377,296.00	67,740,992.70	67,740,992.70	13,402,194.27	11,024,898.27
2039	18		12,015,972.00	12,015,972.00	0.18	2,161,178.18	67,740,992.70	67,740,992.70	12,183,812.97	10,022,634.79
2040	19		12,015,972.00	12,015,972.00	0.16	1,964,707.44	67,740,992.70	67,740,992.70	11,076,193.61	9,111,486.17
2041	20		12,015,972.00	12,015,972.00	0.15	1,786,097.67	67,740,992.70	67,740,992.70	10,069,266.92	8,283,169.25



4.3 Análisis de sensibilidad y riesgos

A través del análisis de sensibilidad es posible verificar el efecto que tienen las variables críticas para la rentabilidad del proyecto además de verificar que tan críticas pueden ser alteraciones a sus valores. El efecto que se busca medir son los escenarios para los cuales la rentabilidad se nulifica.

4.3.1 Variación de los costos de inversión

Para la inversión requerida para la construcción de la PTAR Norte de Delicias, se establece como escenario de riesgo cuando el costo de inversión se incrementa a niveles que provocan un valor de rentabilidad nulo o igual a cero. Para el caso del proyecto esto sucede cuando la inversión social se eleva 152% de su valor, equivaliendo un total de \$423.9 millones de pesos. La variación de la inversión y su efecto sobre los indicadores de rentabilidad se incluye en la Tabla 24. Con base en el comportamiento de la rentabilidad para la variación de la inversión se considera que está no es de riesgo.

Tabla 24. Variación de la inversión para hacer la TIR nula. Fuente: Elaboración propia.

	0%	100%	152%	200%
INVERSIÓN	\$168,068,553.06	\$336,137,106.12	\$423,868,890.82	\$504,205,659.19
VANS	\$255,690,851.72	\$87,622,298.66	-\$109,486.04	-\$80,446,254.40
TIRS	14.80%	3.01%	0.00%	-2.04%

4.4 Variación de los costos de operación y mantenimiento

Analizando la variación de los costos fijos de operación y mantenimiento, se logra calcular que su incremento 298% respecto a su valor ocasionan que la rentabilidad del proyecto se haga cero. La Tabla 25 muestra la variación del VANS y la TIR cuando los costos de operación se incrementan, se observa el punto para el cual la rentabilidad es cero y corresponde a 298% adicionales al costo de operación y mantenimiento calculado para la PTAR Norte.



Tabla 25 Variación de los costos de operación y mantenimiento y su efecto en la rentabilidad del proyecto, Fuente: Elaboración propia.

	0%	100%	200%	279%	300%
INVERSIÓN	\$168,068,553.06	\$168,068,553.06	\$168,068,553.06	\$168,068,553.06	\$168,068,553.06
VANS	\$255,690,851.72	\$164,315,719.36	\$ 72,940,586.99	\$297,356.76	-\$18,434,545.38
TIRS	14.80%	10.1%	4.8%	0.0%	-1.4%

Los costos de operación y mantenimiento tampoco pueden considerarse como variables de riesgo.

4.5 Beneficio por excedente agrícola

Luego de analizar diversos escenarios, se asume que el más desfavorable es donde no se hace reconversión de cultivos y la totalidad de las hectáreas regadas con agua residual siguen sembrando y produciendo forrajes. En este escenario el incremento de la productividad sería de cero y el beneficio de utilizar agua residual tratada en lugar de agua residual cruda no sería cuantificable y se tendría que considerar como intangible.

4.6 Riesgos del proyecto

Para los proyectos de construcción de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales y en los cuales el agua residual tratada se destina a la producción agrícola a través de la reconversión de cultivos, el riesgo latente siempre resulta la oposición al cambio de los cultivos al contar con agua más limpia.

El proyecto de la PTAR Norte de Delicias cuanta con algunas ventajas sustantivas, la primera es que el volumen que los agricultores requieren para el riego de las 384 hectáreas sujetas a reconversión no implicaría para ellos un costo de insumos adicional, pues se tiene considerado que el volumen concesionado para el ejido Colonia Terrazas sería entregado por la PTAR Norte al Módulo 4 sin costo adicional.

Una segunda ventaja se identifica pues el total de superficie bajo riego en Delicias asciende a 18,800 has, por lo tanto, la superficie a reconvenir representa solamente el 2% de la superficie regada total en Delicias.

Asociado a la ventaja descrita previamente, la reconversión de cultivos y el reúso de aguas residuales tratadas en la agricultura forman parte de las estrategias principales



planteadas como parte del Plan Estatal Hídrico al 2040 para el estado de Chihuahua. El estado de Chihuahua desarrolló programas de reconversión, donde considera la asistencia técnica y financiera, los cultivos considerados forman parte de estas estrategias.

Por otro lado, existe en la región experiencia en la producción y manejo de los cultivos seleccionados para la reconversión propuesta, es por ello que se pueden aprovechar los canales de comercialización ya existentes.

5 Conclusiones y recomendaciones

El proyecto de la PTAR Norte de Delicias es socialmente rentable.

El proyecto obtiene su rentabilidad debido al reúso, se debe considerar además que se evita la externalidad negativa de la contaminación que se tiene sin la existencia del proyecto, lo que permite contribuir al Plan Nacional de Desarrollo en lo relacionado a la política social, contribuyendo de manera directa con el bienestar de la población debido a la nulificación de la contaminación que representa el vertido de las aguas residuales sin tratamiento directamente al cauce del río San Pedro.

Específicamente con la construcción de la PTAR Norte la cobertura de saneamiento en Delicias se incrementará de 0% a 67%, que en caso de beneficio social representa un incremento para el índice de bienestar de la ciudad de Delicias.

La reconversión de cultivos, de acuerdo con la totalidad de escenarios analizados y considerando escenarios conservadores como es el caso del que se utiliza para este análisis permite verificar que los valores de rentabilidad obtenidos son razonables.

5.1 Recomendaciones

1. Construir el proyecto para que inicie su operación a finales del 2022 o inicio del 2023.
2. Informar a las autoridades del módulo de riego 4 de Delicias sobre el cambio de calidad del agua que se entregará a los usuarios y que hagan las gestiones necesarias para que los agricultores estén enterados de la posibilidad y facilidades para sembrar cultivos más rentables.



6 Limitaciones y supuestos

El principal supuesto del proyecto es que el abasto de agua potable a Delicias se seguirá haciendo con base en la atención de la demanda, extrayendo el agua necesaria y ofertándola a la población.

7 Referencias

CFE. (2019).

<https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCREIndustria/Tarifas/GranDemandaMTH.aspx>. Ciudad de México: Comisión Federal de Electricidad.

Comisión Nacional del Agua. (2015). *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas residuales Municipales: Zonas Rurales, Periurbanas y Desarrollos Ecoturísticos*. Ciudad de México: CONAGUA.

Comisión Nacional del Agua. (2015). *Metodologías de Evaluación Socioeconómica y Estructuración de Proyectos de Inversión (Agua potable, Alcantarillado, Saneamiento, Mejoramiento de Eficiencia y Protección a Centros de Población)*. Ciudad de México: CONAGUA.

CONAGUA. (2015). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS)*. Ciudad de México: CONAGUA.

Consejo Nacional de Población . (2019). *Proyecciones de Población de los Municipios en México 2015-2030*. Ciudad de México: CONAPO.

DOF. (30 de Diciembre de 2013). Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos. *Diario Oficial de la Federación*, pág. 14.

Gobierno del Estado de Chihuahua. (diciembre 2020). *Periodico Oficial del Gobierno del Estado Libre y Soberano de Chihuahua, Folleto Anexo: TARIFA PARA EL COBRO DEL SERVICIO PÚBLICO PARA EL AÑO 2020 DE LA JUNTA MUNICIPAL DE AGUA Y SANEAMIENTO DE JUÁREZ*. Chihuahua, Chih.

<https://www.weatherbase.com/>. (n.d.).

INEGI. (2015). *Banco de Indicadores* . Ciudad de México: INEGI.



APIA INGENIERIA

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua . (2012). *Estudio Simplificado de la Situación de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Delicias, Chihuahua*. Jiutepec, Mor.

JCAS. (2019). *Informe de Estudios Básicos para la PTAR Norte de Delicias*. Chihuahua: JCAS.

Junta Central de Agua del Estado de Chihuahua. (2019). *Plan Estatal Hídrico para el Estado de Chihuahua, PEH2040*. Chihuahua, Chih.: JCAS.

Junta Central de Agua y Saneamiento del Estado de Chihuahua. (2019). *ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA Y ECONOMICA*. Chihuahua, Chih.: JCAS.

Junta Central de Agua y Saneamiento del Estado de Chihuahua. (2019). *Informe de Evaluación de Resultados de Laboratorio para el tratamiento de aguas residuales de Delicias Chihuahua*. Chihuahua, Chih.: JCAS.

Junta Central de Agua y Saneamiento JCAS. (2020). *Costos Índice para el dimensionamiento de inversiones*. Chihuahua: JCAS.

Usuarios de la Unidad de Riego Módulo 4, A.C. . (23 de abril 2020). *Oficio dirigido al Ing. Luis Carlos Gomez Sánchez, Director Ejecutivo de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Delicias*. Delicias, Chih.