



**BAJACALIFORNIA**  
GOBIERNO DEL ESTADO



PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN Y  
REHABILITACIÓN DE LA PTAR SAN ANTONIO  
DE LOS BUENOS

Factibilidad Económica

# *PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE SAN ANTONIO DE LOS BUENOS*

*Factibilidad Económica*





## Índice

<b>1. SITUACIÓN ACTUAL .....</b>	<b>3</b>
1.1. OBJETIVO DEL PROYECTO .....	3
1.2. ANÁLISIS DE LA OFERTA .....	3
1.3. ANÁLISIS DE LA DEMANDA.....	3
1.3.1. <i>Oferta de agua potable</i> .....	5
1.3.2. <i>Análisis de la demanda de tratamiento</i> .....	7
1.4. INTERACCIÓN DE LA OFERTA Y LA DEMANDA A LO LARGO DEL HORIZONTE DE EVALUACIÓN .....	8
<b>2. SITUACIÓN SIN PROYECTO .....</b>	<b>9</b>
2.1. OPTIMIZACIONES .....	10
2.2. ANÁLISIS DE LA OFERTA .....	10
2.3. ANÁLISIS DE LA DEMANDA.....	10
2.4. INTERACCIÓN DE LA OFERTA Y LA DEMANDA .....	11
<b>3. SITUACIÓN CON PROYECTO .....</b>	<b>12</b>
3.1. ANÁLISIS DE LA OFERTA .....	12
3.2. ANÁLISIS DE LA DEMANDA.....	12
3.3. DIAGNÓSTICO DE LA INTERACCIÓN DE LA OFERTA-DEMANDA.....	12
<b>4. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....</b>	<b>15</b>
4.1. ALTERNATIVA 1 LODOS ACTIVADOS TIPO CONVENCIONAL .....	15
4.2. ALTERNATIVA 2 ZANJAS DE OXIDACIÓN .....	16
4.3. ALTERNATIVA 3 SISTEMA DE LAGUNAS AIREADAS .....	18
4.4. INDICADORES DE RENTABILIDAD .....	19
<b>5. MONTO DE INVERSIÓN Y FINANCIAMIENTO.....</b>	<b>20</b>



## 1. SITUACIÓN ACTUAL

### 1.1. Objetivo del proyecto

El objetivo del proyecto es tratar el 100% de las aguas residuales que llegan a la actual PTAR San Antonio de los Buenos mediante su rehabilitación para dar cumplimiento a la NOM-001-SEMARNAT/1996 y a los tratados de la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA).

### 1.2. Análisis de la oferta

Para realizar el análisis de Oferta-Demanda se tomó adicionalmente a las PTARS antes mencionadas, 17 pequeñas PTARS pertenecientes a fraccionamientos dentro del municipio de Tijuana, cabe aclarar que estas PTARS no descargan sus aguas dentro del área de influencia del proyecto, pero es necesario incluirlas para realizar el análisis.

Tomando en cuenta los datos del apartado anterior con respecto a las plantas de tratamiento dentro del municipio de Tijuana se resume que la oferta de tratamiento es de 2,177 l/s.

**Tabla 1 Oferta de tratamiento de aguas residuales**

PTAR	Agua tratada l/s	Capacidad instalada l/s
PTAR SAB	410	1,100
PITAR	1,100	1,100
PTAR Arturo Herrera	230	460
PTAR La Morita	254	254
Resto PTARs	183	182
<b>Oferta de tratamiento</b>	<b>2,177</b>	<b>3,097</b>

Fuente: CESPT

Estos datos corresponden a las mediciones realizadas por la CESPT en el año 2019.

En el apartado siguiente se muestran los planes de mantenimiento para las PTARS del municipio de Tijuana. En el caso de la PTAR Arturo Herrera y La Morita, se tiene el número de acciones mensuales, es decir el número de veces que se le dio algún tipo de mantenimiento al mes, predictivo o preventivo.

Para el resto de las PTARs se cuenta con un monto destinado a acciones de mantenimiento para el año 2019.

Finalmente, para realizar la proyección de la capacidad operativa de las PTARs en el horizonte de evaluación (oferta) se revisó el volumen tratado por las PTARs desde el 2014. Los datos se muestran a continuación.



**Tabla 2 Análisis de la capacidad operativa de las PTAR**

PTAR	Capacidad instalada l/s	Agua tratada (l/s)					
		2014	2015	2016	2017	2018	2019
PTAR SAB	1,100	961	916	945	944	410	410
PITAR	1,100	1,124	1,094	1,087	1,074	1,100	1,100
PTAR Arturo Herrera	460	224	243	242	241	230	230
PTAR La Morita	254	163	202	229	249	254	254
Resto PTARs	na					183	183
<b>Oferta de tratamiento</b>						<b>2,177</b>	<b>2,177</b>

Fuente: CESPT

La planta de tratamiento San Antonio de los Buenos presenta un volumen tratado alrededor de los 950 l/s desde el año 2014 a 2017. El dato del 2018 corresponde al volumen medido en el estudio de "Aforo y Caracterización del agua residual de Tijuana". Y como ya se mencionó anteriormente este gasto de 410 l/s no cumple con la NOM-001-SEMARNAT/1996, por lo que es necesario la Rehabilitación de la Planta.

La PITAR mantiene su capacidad operativa de 1,100 l/s, Al igual que la PTAR Arturo Herrera ha mantenido su efluente alrededor de los 230 l/s, y la PTAR La Morita ha ido incrementando su volumen de tratamiento hasta alcanzar su capacidad instalada. Esto debido al oportuno mantenimiento que se les da a las plantas.

Para el caso específico de la Planta Arturo Herrera se informa que, en la Cuenca Cañón del Sainz, un colector descarga al Río Tijuana agua residual sin tratamiento por no poder conducir el flujo hacia la PTAR Arturo Herrera debido a la insuficiencia de infraestructura de modo que es tratada posteriormente en la PITAR o en la PTAR San Antonio de los Buenos.

**Tabla 3 Proyección de la oferta en la situación actual**

Situación actual	2018	2019	2020	2021	2022	2025	2030	2035	2039
PTAR SAB (l/s)	410	410	410	410	410	410	410	410	410
PITAR (l/s)	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
PTAR Arturo Herrera (l/s)	230	230	230	230	230	230	230	230	230
PTAR La Morita (l/s)	254	254	254	254	254	254	254	254	254
Resto PTARs (l/s)	183	183	183	183	183	183	183	183	183
Oferta de tratamiento (l/s)	2,177	2,177	2,177	2,177	2,177	2,177	2,177	2,177	2,177

Fuente: Elaboración propia



### 1.3. Análisis de la demanda

#### 1.3.1. Oferta de agua potable

##### Descripción de la infraestructura existente

El abastecimiento de agua que oferta la CESPT, se realiza principalmente del Río Colorado, las aguas subterráneas de los acuíferos del Río Tijuana y Playas de Rosarito, y en menor grado, los escurrimientos superficiales captados por las presas Abelardo L. Rodríguez y El Carrizo. Adicionalmente se cuenta con una entrega de agua de emergencia acordada por los dos países fronterizos dentro de los convenios de la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA), cuyos volúmenes de agua se entregan a cuenta de la cuota del Río Colorado para México, acordada en el Tratado Internacional de Aguas entre México y los Estados Unidos de febrero de 1944, donde México tiene una asignación del Río Colorado de 1,850 millones de m<sup>3</sup> al año.

#### **Acueducto Río Colorado - Tijuana**

A raíz de la grave escasez de agua potable en la ciudad de Tijuana debido a su explosión demográfica de 1930 a 1970, y la ausencia de fuentes de abastecimiento suficientes y confiables cercanas a la ciudad, el gobierno federal decidió en el año de 1975 proyectar y construir el Acueducto Río Colorado – Tijuana, captando el agua de la única fuente confiable en el Estado, es decir, las aguas provenientes del Río Colorado y que forman parte del volumen que actualmente se entrega a México. Los datos principales del acueducto se enlistan en la siguiente tabla.

Tabla 4. Principales características del acueducto Río Colorado - Tijuana.

Característica	Valor
Gasto de diseño	5.33 m <sup>3</sup> /s
Altura de bombeo	1,061 mca
Estación de bombeo	Seis equipadas con cuatro equipos motor – bomba de 1,333 l/s, cada una y un quinto equipo para emergencias y mantenimiento.
Longitud de tuberías a presión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diversos diámetros: 124.52 km</li> <li>• Longitud total de túneles: 10.761 km</li> <li>• Canal revestido: 26.448 km</li> </ul>
Energía eléctrica	Carga total conectada 100 mega watts

Fuente: <http://www.cea.gob.mx/arct.html>

El punto de descarga del acueducto es la Presa El Carrizo.

#### **Presa El Carrizo**

La presa El Carrizo tiene una capacidad total de almacenamiento de 43.5 millones de m<sup>3</sup>, y un volumen útil de 37 millones de m<sup>3</sup>. Está ubicada a 16 Km al Suroeste de Tecate, B.C., con un nivel de aguas máximas extraordinaria de 286.22 m.s.n.m., con una longitud de cortina de 305.5 m y una altura de 43 m y un ancho de corona de 8 m., la cortina es de tierra con un corazón impermeable



protegida por una zona de filtros a cada lado y cubierta con enrocamiento. Además de almacenar agua de su zona de aportación, almacena el agua que conduce el acueducto Río Colorado-Tijuana proveniente del Río Colorado, formando parte del sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Tijuana. El agua de la presa El Carrizo es conducida a la planta potabilizadora el Florido por medio de dos tuberías; una de concreto pre-esforzado de 72" y otra de hierro dúctil de 48" de diámetro y 13.6 km. de longitud.

#### **Presa Abelardo L. Rodríguez**

Como fuente local de suministro de agua se cuenta con la presa Abelardo L. Rodríguez, la cual tiene una capacidad de almacenamiento de 137 millones de m<sup>3</sup>. Se construyó en 1937 para controlar y almacenar los escurrimientos del Río las Palmas y Arroyo Seco. Su construcción obedeció en primer lugar a la satisfacción de la demanda de agua para uso agrícola y posteriormente dada la situación deficiente del suministro de agua en la ciudad de Tijuana y la incapacidad de abastecer la demanda exclusivamente con los pozos, se llevaron a cabo las obras necesarias para conducir el agua de los canales hasta la pila Morelos.

#### **Acuífero de Tijuana (01) y Rosarito (45)**

Los pozos se encuentran localizados en el área del Río Tijuana y Playas de Rosarito, en los últimos años se ha extraído menos de 20 l/s. Algunos pozos sobre todo los perforados en la zona de Playas de Rosarito han salido de operación por la mala calidad del agua que se extrae. Actualmente de los 19 pozos que la CESPT tiene en su asignación para explotar, usar y aprovechar las aguas nacionales del subsuelo por un volumen de 13.213 millones de m<sup>3</sup> (419 l/s).

##### *Pozos del Acuífero Río Tijuana y Alamar*

Los pozos se encuentran localizados en la zona urbana de Tijuana, al Oriente y Poniente del Río Tijuana, dichos pozos están interconectados sobre el Boulevard Insurgentes y conducen el agua hasta la Potabilizadora Monte de los Olivos donde se lleva a cabo un pretratamiento del volumen extraído de dichos pozos para posteriormente incorporarlo al acueducto Florido - Aguaje de la Tuna, con el objeto de reforzar el abastecimiento de agua de la zona Poniente de Tijuana.

##### *Pozos del Acuífero Rosarito*

Los pozos perforados en el acuífero Rosarito han salido de operación por la mala calidad del agua extraída (problemas de intrusión salina).

En la Tabla 5 se tiene el volumen extraído de agua por cada fuente de captación, donde se muestra que prácticamente poco más del 99 % del agua que se utiliza en Tijuana proviene de fuentes superficiales, principalmente del Río Colorado. La extracción de pozos ha ido en disminución y la extracción de la presa "Abelardo L. Rodríguez" depende del temporal de cada año.



Tabla 5. Volumen extraído de agua

Fuentes	2015	2016	2017	2018	2019
	Volumen en agua (m <sup>3</sup> /año)				
Subtotal de aguas superficiales	112,923,700	116,738,779	118,041,361	123,571,496	128,380,804
Subtotal de aguas subterráneas	1,217,364	383,884	452,912	378,667	123,570
<b>Total de agua captada</b>	<b>114,141,064</b>	<b>117,122,663</b>	<b>118,494,273</b>	<b>123,950,163</b>	<b>128,504,374</b>
<b>Población</b>	<b>1,657,305</b>	<b>1,679,399</b>	<b>1,708,186</b>	<b>1,736,099</b>	<b>1,763,197</b>
<b>Dotación (l/h/d)</b>	<b>189</b>	<b>191</b>	<b>190</b>	<b>196</b>	<b>200</b>

Fuente: CESPT.

En la tabla anterior el volumen extraído de agua potable de aguas superficiales y subterráneas fue el medido por la CESPT.

Para proyectar el volumen a extraer de agua potable se utilizó como referencia el año 2019 y se mantuvo contante para todo el horizonte de evaluación. Así mismo para la proyección de la población se utilizó la proyección de la población publicadas por la Conapo 2015-2030.

Tabla 6. Proyección del volumen a extraer de agua potable (oferta de agua potable)

	2018	2019	2020	2025	2030	2035	2039
Población	1,736,099	1,763,197	1,789,531	1,909,798	2,011,060	2,092,701	2,142,219
Agua potable	3,930	4,075	4,075	4,075	4,075	4,075	4,075

Fuente: Elaboración propia

### 1.3.2. Análisis de la demanda de tratamiento

Para el cálculo de la demanda se consideró el volumen facturado de agua potable, en el 2019 nuestro año base, que fue de 100,565,482 m<sup>3</sup>, y comparándolo con el Volumen de agua potable extraído de las fuentes de abastecimiento se tiene una eficiencia del 78.3%.

Tabla 7. Eficiencia física de agua potable

2018	m <sup>3</sup> /año	l/s
Volumen de captación de agua	128,504,374	4,075
Volumen facturado	100,565,482	3,189
Volumen de agua no contabilizado	-27,938,892	-886
Pérdidas Potenciales	-21.74%	
Eficiencia Física general	78.3%	

Fuente: CESPT

Adicionalmente se consideraron los registros de las mediciones del influente de las PTARs del municipio, las cuales se muestran en la siguiente tabla.



**Tabla 8. Influyente de las Plantas de Tratamiento de Tijuana**

PTAR	Influyente (m <sup>3</sup> /año)	Influyente (l/s)
PTAR SAB	12,929,760	410
PITAR	34,689,600	1,100
PTAR Arturo Herrera	7,253,280	230
PTAR La Morita	8,010,144	254
Resto PTARs	5,757,666	183
<b>Total</b>	<b>68,640,450</b>	<b>2,177</b>

Fuente: CESPT

Teniendo estos datos se observa que el 70% del agua captada en las fuentes de abastecimiento llega hasta las plantas potabilizadoras. Estos porcentajes se mantendrán constantes para todo el horizonte de evaluación, de esta manera será posible obtener la demanda de tratamiento de aguas residuales.

**Tabla 9. Demanda en la Situación Actual**

	2018	2019	2020	2025	2030	2035	2039
Oferta Agua potable (l/s)	3,930	4,075	4,075	4,075	4,075	4,075	4,075
Agua residual generada, Demanda (l/s)	2,744	2,845	2,845	2,845	2,845	2,845	2,845

Fuente: Elaboración propia

#### 1.4. Interacción de la oferta y la demanda a lo largo del horizonte de evaluación

**Tabla 10. Interacción Oferta-Demanda en la situación actual**

Situación actual	2018	2019	2020	2025	2030	2035	2039
Demanda (l/s)	2,744	2,845	2,845	2,845	2,845	2,845	2,845
PTAR SAB(l/s)	410	410	410	410	410	410	410
PITAR (l/s)	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
PTAR Arturo Herrera (l/s)	230	230	230	230	230	230	230
PTAR La Morita (l/s)	254	254	254	254	254	254	254
Resto PTARs(l/s)	183	183	183	183	183	183	183
Oferta (l/s)	2,177	2,177	2,177	2,177	2,177	2,177	2,177
Balance(l/s)	-567	-668	-668	-668	-668	-668	-668

Fuente: Elaboración propia





Figura 1. Interacción Oferta-Demanda en la situación actual



Fuente: Elaboración propia

La proyección de la Oferta-Demanda, indica que al año 2039 el déficit será de 668 l/s. Esto sin considerar que el efluente de la PTAR San Antonio de los Buenos no cumple con la normatividad, por lo que se considera un escenario conservador.

#### Principales supuestos y metodología

- Para la oferta se consideró que las PTARs que tratan las aguas residuales del municipio de Tijuana mantendrán de manera constante su nivel de tratamiento en 2,177 l/s. considerando que se mantendrá el nivel de mantenimiento actual y que no existe en el corto plazo ampliación de las PTARs o construcción de una nueva.
- En la oferta de agua potable se consideró que se mantiene constante para todo el horizonte de evaluación, aun cuando en la práctica se observa un incremento del 3% cada año (Ver Tabla 5).
- Para la proyección de la población se utilizarón las proyecciones de Conapo 2015-2030 y se utilizó la tasa de crecimiento para extrapolarla hasta el 2039.
- No todas aguas residuales llegan a la PTAR San Antonio de los Buenos para ser descargadas al mar.



## 2. SITUACIÓN SIN PROYECTO

### 2.1. Optimizaciones

Las optimizaciones consisten en medidas administrativas, técnicas, operativas, así como inversiones de bajo costo que serían realizadas en caso de no llevar a cabo el programa o proyecto de inversión. La finalidad de estas medidas de optimización es no sobrevalorar los beneficios del proyecto o atribuirle beneficios que no le corresponden.

Una medida de optimización del sistema de tratamiento de todo el municipio de Tijuana podría ser utilizar toda la capacidad instalada de la PTAR Arturo Herrera que actualmente opera con 230 l/s de 460, mediante la construcción de un sistema de captación y conducción que capte las aguas servidas en una planta de bombeo y conducirlo en una línea de impulsión hacia la PTAR Arturo Herrera. Sin embargo, aún no se ha elaborado el Proyecto Ejecutivo, debido a que no se cuenta con el predio para la construcción del cárcamo de bombeo. No obstante, esta medida de optimización no mejoraría la calidad del efluente de la PTAR San Antonio de los Buenos que busca cumplir con la norma NOM-001-SEMARNAT-1996. Por lo que para este estudio no se encontraron medidas de optimización.

### 2.2. Análisis de la oferta

Debido a que, en este estudio no se identificaron optimizaciones en la oferta de tratamiento, por lo tanto, la oferta optimizada o sin proyecto será igual a la oferta en situación actual.

Tabla 11. Oferta en la situación sin proyecto

Situación actual	2018	2019	2020	2021	2022	2025	2030	2035	2039
PTAR SAB (l/s)	410	410	410	410	410	410	410	410	410
PITAR (l/s)	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
PTAR Arturo Herrera (l/s)	230	230	230	230	230	230	230	230	230
PTAR La Morita (l/s)	254	254	254	254	254	254	254	254	254
Resto PTARs (l/s)	183	183	183	183	183	183	183	183	183
Oferta de tratamiento (l/s)	2,177	2,177	2,177	2,177	2,177	2,177	2,177	2,177	2,177

Fuente: Elaboración propia

### 2.3. Análisis de la demanda

La demanda se refiere a la información que nos permita determinar el caudal de aguas residuales que necesitará tratar la PTAR San Antonio de los Buenos. Para este caso la demanda de saneamiento al no haber medidas de optimización es la misma para la situación actual y la situación sin proyecto.



Tabla 12. Demanda en la situación sin proyecto

	2018	2019	2020	2025	2030	2035	2039
Oferta Agua potable (l/s)	3,930	4,075	4,075	4,075	4,075	4,075	4,075
Agua residual generada, Demanda (l/s)	2,744	2,845	2,845	2,845	2,845	2,845	2,845

Fuente: Elaboración propia

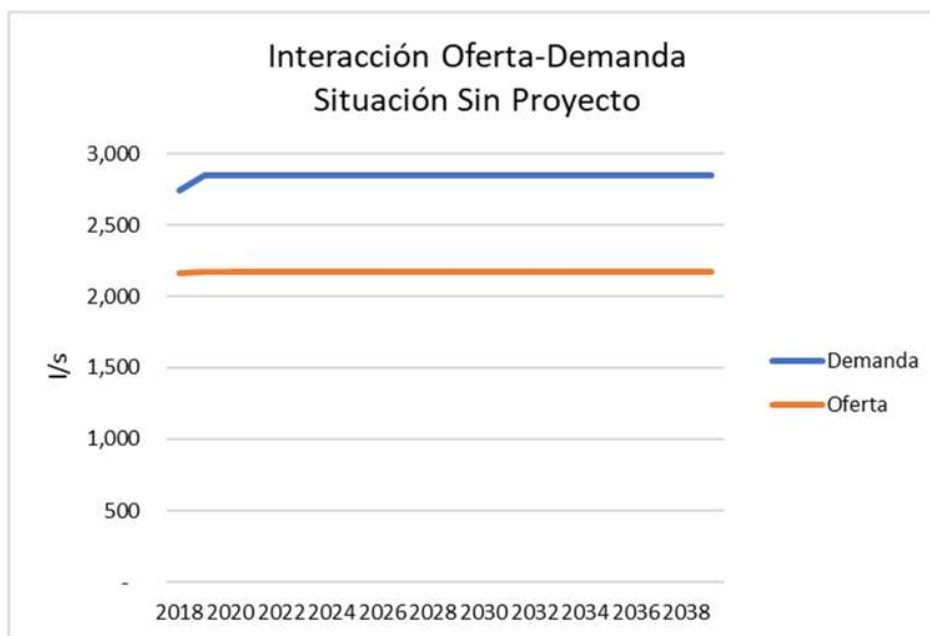
## 2.4. Interacción de la oferta y la demanda

Tabla 13. Interacción Oferta-Demanda en la Situación Sin Proyecto

Concepto	2018	2019	2020	2025	2030	2035	2039
Demanda (l/s)	2,744	2,845	2,845	2,845	2,845	2,845	2,845
PTAR SAB(l/s)	410	410	410	410	410	410	410
PITAR (l/s)	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
PTAR Arturo Herrera (l/s)	230	230	230	230	230	230	230
PTAR La Morita (l/s)	254	254	254	254	254	254	254
Resto PTARs(l/s)	183	183	183	183	183	183	183
Oferta (l/s)	2,177	2,177	2,177	2,177	2,177	2,177	2,177
Balance(l/s)	- 567	- 668	- 668	- 668	- 668	- 668	- 668

Fuente: Elaboración propia

Figura 2 Interacción Oferta-Demanda en la Situación Sin Proyecto



Fuente: Elaboración propia



### 3. SITUACIÓN CON PROYECTO

#### 3.1. Análisis de la oferta

La remodelación de la PTAR San Antonio permitirá alcanzar una capacidad de tratamiento de 1,200 l/s a lo largo del horizonte de evaluación del proyecto.

Tabla 14. Oferta en la situación con proyecto

Situación con proyecto	2018	2019	2020	2021	2022	2025	2030	2035	2039
PTAR SAB (l/s)	410	410	410	410	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
PITAR (l/s)	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
PTAR Arturo Herrera (l/s)	230	230	230	230	230	230	230	230	230
PTAR La Morita (l/s)	254	254	254	254	254	254	254	254	254
Resto PTARs (l/s)	183	183	183	183	183	183	183	183	183
Oferta (l/s)	2,177	2,177	2,177	2,177	2,967	2,967	2,967	2,967	2,967

Fuente: Elaboración propia

#### 3.2. Análisis de la demanda

La demanda de agua residual a tratar es la misma que en la situación sin proyecto.

Tabla 15. Demanda en la situación con proyecto

Situación con proyecto	2018	2019	2020	2021	2022	2025	2030	2035	2039
Demanda (l/s)	2,744	2,845	2,845	2,845	2,845	2,845	2,845	2,845	2,845

Fuente: Elaboración propia

#### 3.3. Diagnóstico de la interacción de la oferta-demanda

La interacción oferta - demanda se expresa por total de agua realmente tratada, es decir la cantidad de aguas residuales generadas en la zona de estudio (demanda) menos la capacidad que se tendrá una vez realizado el proyecto (oferta). En la tabla siguiente se muestra como a la entrada del proyecto en al año 2022 quedará cubierta la demanda de tratamiento de agua potable, quedando un superávit de 122 l/s que podrá ser utilizado al aumentar la dotación de agua potable y en consecuencia la demanda de tratamiento.



Tabla 16. Interacción de la oferta y la demanda en la situación con proyecto

Situación con proyecto	2018	2019	2020	2021	2022	2025	2030	2035	2039
Demanda (l/s)	2,744	2,845	2,845	2,845	2,845	2,845	2,845	2,845	2,845
PTAR SAB (l/s)	410	410	410	410	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
PITAR (l/s)	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
PTAR Arturo Herrera (l/s)	230	230	230	230	230	230	230	230	230
PTAR La Morita (l/s)	254	254	254	254	254	254	254	254	254
Resto PTARs (l/s)	183	183	183	183	183	183	183	183	183
Oferta (l/s)	2,177	2,177	2,177	2,177	2,967	2,967	2,967	2,967	2,967
<b>Balance (l/s)</b>	- 567	- 668	- 668	- 668	122	122	122	122	122

Fuente: Elaboración propia

Figura 3 Interacción de la oferta y la demanda en la situación con proyecto



Fuente: Elaboración propia

La PTAR San Antonio de los Buenos si bien no va a operar con toda su capacidad instalada, sino únicamente 1,078 l/s que corresponde a dos módulos; en caso de que posteriormente la captación de agua potable aumente se incorporará el otro modulo.

- Para la oferta se consideró que las PTARS que tratan las aguas residuales del municipio de Tijuana mantendrán de manera constante su nivel de tratamiento en 2,967 l/s en la situación con proyecto, considerando que se mantendrá el nivel de mantenimiento actual y que no existe en el corto plazo ampliación de las PTARS o construcción de una nueva.



- Para la proyección de la población se utilizarón las proyecciones de Conapo 2010-2030 y se utilizó la tasa de crecimiento para extrapolarla hasta el 2039.
- Las tasas de pérdida física expuesta son datos proporcionados por el CESPT.
- En la proyección de la oferta de agua potable se mantuvo constante para todo el horizonte de evaluación, aun cuando se observa que esta incrementa un 3% anual (ver Tabla 5)
- No todas aguas residuales llegan a la PTAR San Antonio de los Buenos para ser descargadas al mar.



#### 4. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

El proyecto en general de rehabilitación de la Planta de Tratamiento de San Antonio de los Buenos, además de contemplar acciones propiamente en la PTAR, incluye la construcción de la línea de agua residual de Tecolote La Gloria a la PTAR SAB, rehabilitación del camino de acceso a la PTAR SAB, ampliación del canal y rápida del efluente de la PTAR SAB. Estas obras complementarias se considera incluirlas, independientemente de la alternativa de tratamiento que pudiera resultar seleccionada.

Respecto a las tres alternativas propuestas para la rehabilitación de la planta de tratamiento de San Antonio de los Buenos se encuentran diseñadas para tratar un caudal de 1,200 l/s.

##### 4.1. Alternativa 1 Lodos Activados tipo Convencional

Los costos de Inversión de la propuesta se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 17 Inversión de la Alternativa 1 Lodos Activados tipo convencional

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Importe
Pretratamiento				\$ 4,504,222
Ampliación y rehabilitación de cárcamo				\$ 8,912,747
PTAR				\$ 297,243,760
Línea Tecolote - La Gloria	m	6,863.95	\$4,498	\$ 30,876,126
Ampliación del canal y la rápida del efluente de la PTAR				\$ 6,354,624
Caja receptora				\$ 1,090,962
Descarga subacuática (48 " diámetro y 200 m de longitud, de PAD RD 17)				\$ 143,399,454
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 492,381,897</b>

Fuente: Elaboración propia. Montos expresados en pesos 2020 sin IVA

Respecto a los costos de operación y mantenimiento, se tomaron en cuenta costos por personal, energía eléctrica de los equipos, consumo de reactivos y mantenimiento de equipo y estructuras.

En la siguiente tabla se muestran los costos de operación y mantenimiento.

Tabla 18. Resumen Costos de Operación y mantenimiento Alternativa 1 Lodos Activados tipo convencional.

	Concepto	Mensual	Anual
1	Personal de operación y apoyo	\$357,239	\$4,286,865
2	Energía Eléctrica de Estación de Bombeo	\$489,925	\$5,879,099
3	Energía Eléctrica en Equipos de sedimentadores	\$78,388	\$940,656
4	Energía Eléctrica Aireadores Superficiales	\$857,369	\$10,288,423
5	Energía Eléctrica Desinfección	\$3,266	\$39,194
6	Energía Eléctrica Espesador por gravedad	\$18,985	\$227,815
7	Energía Eléctrica Digestor Anaerobio	\$74,305	\$891,663
8	Energía Eléctrica en Deshidratado mecánico de lodos	\$4,899	\$58,791
9	Consumo de Hipoclorito de Sodio al 14 %	\$246,037	\$2,952,438
10	Consumo de Polímero	\$120,978	\$1,451,737



	Concepto	Mensual	Anual
11	Transporte de lodos mediante camiones a disposición final hacia El Morro	\$1,344,732	\$16,136,786
12	Operación y mantenimiento en camiones para transporte de lodos	\$369,801	\$4,437,616
13	Costos de Mantenimiento	\$590,932	\$7,091,189
14	Costos Administrativos y laboratorio	\$84,519	\$1,014,230
15	Mantenimiento de Descarga subacuática	\$143,603	\$1,723,237
16	Operación y mantenimiento de Sistema de Cogeneración	\$192,832	\$2,313,982
17	Costos de operación y mantenimiento del tratamiento del biogás	\$192,832	\$2,313,982
<b>Subtotal</b>		<b>\$5,170,642</b>	<b>\$62,047,703</b>
Ahorro neto por energía cogenerada			\$16,348,418
<b>Costo Neto Anual de Operación y Mantenimiento</b>			<b>\$45,699,285</b>

Fuente: Elaboración propia. Montos expresados en pesos 2020 sin IVA.

Esta Alternativa considera 18 años de vida útil para el proyecto. Se propone una ejecución de dos años para la inversión considerando el 50% del monto total de la inversión por año.

Tabla 19. Ejecución de la inversión

Año	Monto
2020	\$ 246,190,948
2021	\$ 246,190,948

Fuente: Elaboración propia. Montos expresados en pesos 2020 sin IVA.

#### 4.2. Alternativa 2 Zanjas de Oxidación

Tabla 20. Monto de inversión Alternativa 2 Zanjas de Oxidación

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Importe
Pretratamiento				\$4,504,222
Ampliación y rehabilitación de cárcamo				\$8,912,747
PTAR				\$315,881,093
Línea Tecolote - La Gloria	M	6,863.95	\$ 4,498.30	\$30,876,126
Ampliación del canal y la rápida del efluente de la PTAR				\$6,354,624
Caja receptora				\$1,090,962
Descarga subacuática (48 " diámetro y 200 m de longitud, de PAD RD 17)				\$143,399,454
<b>TOTAL</b>				<b>\$511,019,230</b>

Fuente: Elaboración propia. Montos expresados en pesos 2020 sin IVA.

Respecto a los costos de operación y mantenimiento, se tomaron en cuenta costos por personal, energía eléctrica de los equipos, consumo de reactivos y mantenimiento de equipo y estructuras.





Tabla 21 Resumen costos de Operación y mantenimiento Alternativa 2 Zanjas de Oxidación.

Concepto	Costo Mensual	Costo Anual
Personal de operación y apoyo	\$357,239	\$4,286,865
Energía Eléctrica de Estación de Bombeo	\$489,925	\$5,879,099
Energía Eléctrica en Equipos de sedimentadores	\$78,388	\$940,656
Energía Eléctrica Aireadores Superficiales	\$979,850	\$11,758,198
Energía Eléctrica Desinfección	\$3,266	\$39,194
Energía Eléctrica Espesador por gravedad	\$20,005	\$240,063
Energía Eléctrica Digestor Anaerobio	\$74,305	\$891,663
Energía Eléctrica en Deshidratado mecánico de lodos	\$9,798	\$117,582
Consumo de Hipoclorito de Sodio al 14 %	\$246,037	\$2,952,438
Consumo de Polímero	\$120,978	\$1,451,737
Transporte de lodos mediante camiones a disposición final hacia El Morro	\$1,075,786	\$12,909,428
Operación y mantenimiento en camiones para transporte de lodos	\$295,841	\$3,550,093
Costos de Mantenimiento	\$596,062	\$7,152,743
Costos Administrativos y laboratorio	\$84,519	\$1,014,230
Mantenimiento de Descarga subacuática	\$143,603	\$1,723,237
Operación y mantenimiento de Sistema de Cogeneración	\$192,832	\$2,313,982
Costos de operación y mantenimiento del tratamiento del biogás	\$192,832	\$2,313,982
<b>Subtotal</b>	<b>\$4,961,266</b>	<b>\$59,535,190</b>
Ahorro neto por energía cogenerada		\$16,348,418
<b>Costo Anual de Operación y Mantenimiento</b>		<b>\$43,186,771</b>

Fuente: Elaboración propia. Montos expresados en pesos 2020 sin IVA.

Esta Alternativa considera 18 años de vida útil para el proyecto. Se propone una ejecución de dos años para la inversión considerando el 48% del monto total para el primer año y el 52% para el segundo.

Tabla 22. Ejecución de la inversión

Año	Monto
2020	\$ 244,822,620
2021	\$ 266,196,610

Fuente: Elaboración propia. Montos expresados en pesos 2020 sin IVA.



#### 4.3. Alternativa 3 Sistema de Lagunas Aireadas

Tabla 23. Monto de Inversión Alternativa 3 Sistema Lagunar

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Importe
Pretratamiento				\$4,504,222
Ampliación y rehabilitación de cárcamo				\$8,912,747
PTAR				\$251,941,905
Línea Tecolote - La Gloria	M	6,863.95	\$4,381.97	\$30,876,126
Ampliación del canal y la rápida del efluente de la PTAR				\$6,354,624
Caja receptora				\$1,090,962
Emisor - submarino				\$361,052,346
<b>TOTAL</b>				<b>\$664,732,934</b>

Fuente: Elaboración propia. Montos expresados en pesos 2020 sin IVA.

Respecto a los costos de operación y mantenimiento, se tomaron en cuenta costos por personal, energía eléctrica de los equipos, consumo de reactivos y mantenimiento de equipo y estructuras.

Tabla 24. Resumen costos de operación y mantenimiento Alternativa 3 Sistema Lagunar

Concepto	Costo Mensual	Costo Anual
Personal de operación y apoyo	\$291,540	\$3,498,476
Energía Eléctrica de Estación de Bombeo	\$489,925	\$5,879,099
Energía Eléctrica Aireadores Superficiales	\$1,933,570	\$23,202,843
Energía Eléctrica en Espesador por gravedad	\$5,205	\$62,465
Energía Eléctrica en Digestor Anaerobio	\$37,561	\$450,731
Energía Eléctrica en Deshidratado mecánico de lodos	\$1,633	\$19,597
Consumo de Polímero	\$33,863	\$406,351
Transporte de lodos mediante camiones a disposición final hacia El Morro	\$464,657	\$5,575,878
Operación y mantenimiento en camiones para transporte de lodos	\$116,164	\$1,393,970
Costos de Mantenimiento	\$354,587	\$4,255,042
Costos Administrativos y laboratorio	\$78,018	\$936,212
Mantenimiento de Emisor Submarino	\$307,667	\$3,692,005
<b>Total</b>	<b>\$4,114,389</b>	<b>\$49,372,670</b>

Fuente: Elaboración propia. Montos expresados en pesos 2020 sin IVA.

Esta Alternativa considera 18 años de vida útil para el proyecto. Se propone una ejecución de dos años para la inversión considerando el 50% del monto total por año.

Tabla 25. Ejecución de la inversión

Año	Monto
2020	\$ 332,366,467
2021	\$ 332,366,467

Fuente: Elaboración propia. Montos expresados en pesos 2020 sin IVA.



#### 4.4. Indicadores de rentabilidad

De acuerdo con la metodología para la comparación de costos y suponiendo que los beneficios que se obtienen de las tres alternativas son los mismos, para la comparación de las tres alternativas se utiliza el método del Costo Anual Equivalente; el cual sirve como un Indicador de rentabilidad donde la alternativa con el menor CAE es la más eficiente y por lo tanto la opción más viable y está dada por la fórmula:

$$CAE = VPC \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

Una vez descritas las tres alternativas, a continuación, se presenta los CAE correspondiente para el proyecto de Construcción y Rehabilitación de la PTAR San Antonio de los Buenos.

Tabla 26. CAE de las alternativas de Solución

Alternativas	Vida útil (años)	Inversión	Operación y mantenimiento	CAE
Alternativa 1 Lodos Activados tipo Convencional.	18	\$ 492,381,897	\$ 822,587,132	\$98,852,119
Alternativa 2 Zanjas de Oxidación.	18	\$511,019,230	\$777,361,893	\$98,618,716
Alternativa 3 Sistema Lagunar	18	\$664,732,934	\$888,708,066	\$ 122,251,142

Fuente: Elaboración propia. Montos expresados en pesos 2020 sin IVA.

Consiguientemente, la opción seleccionada es la Alternativa 2 Zanjas de Oxidación, ya que el costo anual equivalente es menor, por lo que es la alternativa con la mejor relación costo-eficiencia.



## 5. MONTO DE INVERSIÓN Y FINANCIAMIENTO

El monto de inversión del proyecto es de \$592,782,306 pesos y se cuantificaron en \$ 43,186,772 más IVA los costos de operación y mantenimiento anuales.

**Tabla 27 Monto total de inversión**

Concepto	Importe
Pretratamiento	\$4,504,222
Ampliación y Rehabilitación de Cárcamo	\$8,912,747
PTAR	\$315,881,093
Línea Tecolote - La Gloria	\$30,876,126
Ampliación del canal y la rápida del efluente de la PTAR	\$6,354,624
Caja receptora	\$1,090,962
Descarga subacuática	\$143,399,454
Subtotal	<b>\$511,019,230</b>
<b>IVA 16 %</b>	\$81,763,077
<b>Total</b>	<b>\$592,782,306</b>

*Fuente: Elaboración propia. Montos expresados en pesos 2020 sin IVA*

En la siguiente tabla se muestra la distribución de las fuentes de financiamiento, se estima que el 48 % del monto de inversión sea ejercido en el primer año y el restante (52%) en el segundo.

Los recursos del Fondo Nacional de Infraestructura (FONDO) se están solicitando sobre el 49% del monto total (sin IVA, considerando el IVA corresponde al 42% del monto total de inversión), siendo que el restante 51% lo deberá cubrir el licitante ganador.

**Tabla 28. Fuentes de Financiamiento**

Año	Fondo		Privado		Total
2020	\$119,963,084	48%	\$164,031,155	48%	\$283,994,239
2021	\$130,436,339	52%	\$178,351,729	52%	\$308,788,067
Total	\$250,399,422	42%	\$342,382,884	58%	\$592,782,306

*Fuente: Elaboración propia. Montos expresados en pesos 2020 con IVA. El IVA fue cargado al privado.*