



**METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DE
PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES (PTAR)**

D.R.© Banco Nacional de Obras y
Servicios Públicos, S.N.C
*Centro de Estudios para la Preparación y
Evaluación Socioeconómica de Proyectos.*

Registro en Trámite

Se prohíbe la reproducción total o parcial
de esta obra sin autorización por escrito de
su editor.

México

Documento elaborado por:

MDI. Javier Meixueiro Garmendia
Lic. Marco Antonio Pérez Cruz
Dra. Anne Laure Mascle Allemand

DICIEMBRE 2010

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	<i>i</i>
CAPÍTULO I METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE PTAR	1
1.1 Tipología de proyectos	1
1.2 Marco Teórico de la Metodología	2
1.2.1 Origen de los proyectos de ampliación y construcción de una PTAR	2
1.3 Identificación, cuantificación y valoración de costos y beneficios	3
1.3.1 Costos	3
1.3.2 Beneficios	4
1.4 Oferta	7
1.5 Demanda	9
1.6 Interacción oferta-demanda (diagnóstico de la situación actual)	9
1.7 Optimizaciones	11
CAPÍTULO II EVALUACIÓN DE UN PROYECTO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	14
2.1 Situación actual	14
2.1.1 Oferta actual	15
2.1.2 Demanda actual	18
2.1.3 Interacción oferta-demanda (diagnóstico de la situación actual)	22
2.1.4 Optimización de la situación actual	26
2.2 Situación sin proyecto	28
2.2.1 Oferta sin proyecto	28
2.2.2 Demanda sin proyecto	28
2.2.3 Interacción oferta-demanda	29
2.3 Situación con proyecto	31
2.3.1 Descripción del proyecto	31
2.3.2 Oferta con proyecto	32
2.3.3 Demanda con proyecto	33
2.3.4 Interacción oferta-demanda	37

2.4 Evaluación del proyecto	40
2.4.1 Identificación, cuantificación y valoración de los costos del proyecto	40
2.4.2 Identificación, cuantificación y valoración de los beneficios del proyecto	41
2.4.3 Indicadores de rentabilidad	42
2.4.4 Conclusión y recomendación	43

INTRODUCCIÓN

De acuerdo a lo establecido en el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, el tratamiento de aguas residuales es un objetivo del Gobierno Federal, muestra de ello, es lo estipulado en su Eje 2.12 Sector Hidráulico:

“Tratar las aguas residuales generadas y fomentar su reutilización, así como el intercambio de agua de primer uso por agua residual tratada”¹.

Por lo anterior, dependencias, entidades federativas y municipales han incrementado el número de propuestas de proyectos que tienen el objetivo de mejorar la calidad del agua vertida en ríos, lagos, humedales, cuencas, acuíferos, etc. sin embargo, debido al actual proceso de asignación de recursos, estas propuestas deben presentarse por medio de un estudio de evaluación socioeconómica que avale su rentabilidad, es decir, que como resultado de su ejecución, el bienestar de la sociedad se incremente.

En este sentido, el Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP) ha elaborado el documento titulado “Metodología para la Evaluación Socioeconómica de Proyectos de Construcción de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)”, con la finalidad de proporcionar a dependencias, entidades federativas y municipales, una herramienta objetiva para la elaboración de estudios costo-beneficio, que permitan demostrar la conveniencia (rentabilidad) de llevar a cabo proyectos de este tipo.

Este documento se dividirá en dos capítulos; en el primero se desarrollará la metodología de evaluación, destacando la identificación, cuantificación y valoración de costos y beneficios de este tipo de proyectos, mientras que en el segundo, se presenta un ejemplo práctico de cómo podría utilizarse la metodología propuesta.

¹ Objetivo 16, estrategia 16.1.

Cabe señalar, que aunque el ejemplo presentado no es real, se utilizó información de proyectos anteriormente llevados a cabo, con la finalidad de realizar un trabajo que se asemeje a la realidad. **Sin embargo, este ejemplo sólo debe ser utilizado como una guía y no evita el trabajo de campo que debe realizarse para la evaluación de cualquier proyecto.**

CAPÍTULO I METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE PTAR

1.1 Tipología de proyectos

En general, los proyectos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) se pueden clasificar en: construcción, ampliación y mantenimiento. Sus respectivas definiciones se desarrollan a continuación.

Construcción: Se refiere a la instalación de la infraestructura necesaria para ofrecer el servicio de tratamiento de aguas residuales, en una zona determinada. Este servicio puede ser nuevo o complementario, es decir, la construcción de una PTAR puede originarse de zonas donde no existía el tratamiento o donde, dado el gasto y la calidad de las aguas residuales, es necesario construir una complementaria. Por lo general, estos proyectos se realizan en lugares diferentes al actual sistema de tratamiento.

Ampliación: Son los proyectos de reconfiguración donde se plantea aumentar la capacidad de tratamiento de alguna PTAR existente. Estos pueden originarse por un mayor gasto generado o una mayor demanda para el uso de este tipo de agua.

Mantenimiento: Consiste en conservar las condiciones óptimas de la infraestructura instalada para el tratamiento de aguas residuales. El mantenimiento no debe confundirse con obras de ampliación, ya que éste no aumenta la capacidad instalada sólo la mantiene.

Dado los tipos de proyectos identificados anteriormente, el alcance de esta metodología se restringirá a los dos primeros, ya que se consideran como los de mayor relevancia e interés para las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal (APF).

1.2 Marco Teórico de la Metodología

En esta sección se desarrollará la parte teórica de esta metodología, comenzando con una descripción de las principales razones que dan origen a este tipo de proyectos. Estas razones han sido recabadas de los diversos estudios de evaluación presentados por dependencias y entidades, con la finalidad de sustentar las propuestas de proyectos de ampliación y/o construcción de PTAR.

Posteriormente, con base en lo antes expuesto, se presenta una sección en donde se identifican, cuantifican y valoran los principales costos y beneficios de este tipo de proyectos. Finalmente, se incluye una sección en donde se define de manera general la oferta y la demanda que deben ser presentadas en un estudio de evaluación de una PTAR.

1.2.1 Origen de los proyectos de ampliación y construcción de una PTAR

A través de la experiencia e información recopilada por el CEPEP en los diversos proyectos de PTAR revisados y evaluados, a continuación se enlistan las causas más frecuentes por las que se originan:

- a) *Aprovechamiento del agua tratada para actividades económicas.*
- b) *Falta de capacidad para el tratamiento total de las aguas residuales producidas en una zona.*
- c) *Vertido de aguas residuales que tienen un efecto nocivo en alguna actividad económica o en la salud de la población.*
- d) *Por el incumplimiento de las leyes (normatividad).*

A partir de estas causas es posible determinar los efectos que tendría la ejecución de proyectos de PTAR, que busquen solucionar alguna o varias problemáticas antes descritas.

Cabe mencionar, que las causas que dan origen a este tipo de proyectos **no son condición suficiente** para llevar a cabo proyectos de inversión que las eviten, sin antes realizar un estudio de evaluación que determine que es conveniente ejecutarlo. Es común encontrar, proyectos que efectivamente resuelven la problemática detectada, pero los costos de llevarlo a cabo no compensan los beneficios obtenidos. En estos casos, lo más recomendable es ajustar el tamaño del proyecto, o bien, descartarlo y realizar sólo las medidas de optimización.

1.3 Identificación, cuantificación y valoración de costos y beneficios

1.3.1 Costos

De manera general, cualquier proyecto de ampliación y/o construcción de una PTAR incurre en los costos que a continuación se describen, sin embargo, debido a la diversidad de los proyectos, pudiera haber otros costos relevantes por considerar.

a) Costos de inversión. Se refiere a la utilización de recursos humanos y materiales para construir las obras requeridas por el proyecto y su equipamiento. Es muy importante no olvidar incluir el costo de los terrenos en donde se ejecutarán las obras, sin importar si estos son parte de la actual PTAR o fueron recibidos por donación o adquiridos anteriormente.

La manera de cuantificar estos costos es mediante el número de unidades físicas (ton, m², etc.) que se necesitarían para realizar las obras, mientras que su valoración se realiza a través del precio de mercado (sin IVA) que tengan cada una de estas unidades.

b) Costos de operación y mantenimiento: Se refiere a la utilización de los recursos humanos y materiales para operar y mantener el servicio en un nivel adecuado. Para cuantificar y valorar dichos costos, se consideran todos los recursos necesarios para llevar a cabo dichas acciones. Cabe mencionar, que a los valores utilizados deben descontarse el IVA dado que es una evaluación socioeconómica.

c) Costos adicionales: Generalmente, para este tipo de proyectos existen costos adicionales como son el manejo de los lodos que se producen en la mayoría de los procesos de tratamiento, o bien, en algunos casos existen afectaciones a poblaciones cercanas por los malos olores originados por la concentración de estos. Adicionalmente, podría darse el caso de una disminución en el precio de los terrenos aledaños a la PTAR. Para estimar estos costos, se deben realizar estudios que permitan determinar las afectaciones que se provocarán con la instalación de la PTAR, y posteriormente buscar un método para valorarlas.

1.3.2 Beneficios

Al igual que los costos, a continuación se presentarán los beneficios más comunes de este tipo de proyectos, sin embargo, estos dependerán de la problemática que se esté presentado y que se pretenda resolver. Por lo anterior, los siguientes beneficios se podrán aplicar tanto para proyectos de ampliación como de construcción, teniendo cuidado de sólo considerar aquellos que realmente se estén obteniendo dada la ejecución del proyecto.

Cabe señalar, que los beneficios más importantes de una PTAR están altamente relacionados con el uso que tendría el agua tratada producida, ya que económicamente no sería muy rentable destinar recursos al tratamiento del agua, para que ésta no tenga uso alguno.

a) Beneficio por un mayor excedente económico. Este beneficio se identifica como el incremento neto en los beneficios derivados de cierta actividad, a partir de la construcción o ampliación de una PTAR. Un ejemplo frecuente en donde suele darse este beneficio es en la actividad agrícola, ya que de manera general existen restricciones sobre el tipo de cultivos que se pueden sembrar bajo un régimen de agua servida, mientras que si se utiliza agua tratada, existe la posibilidad de sembrar una mayor variedad de cultivos, que podrían tener una mayor rentabilidad en comparación con los actuales.

Para cuantificar este beneficio se debe determinar el diferencial entre la cantidad producida en las situaciones sin proyecto y con proyecto, de cierto cultivo.

La valoración de este beneficio se realiza por medio de los precios de mercado sin IVA, de los cultivos sembrados o dejados de sembrar (dependerá del caso). Debe tenerse cuidado que no exista algún subsidio que esté distorsionando los precios de referencia.

b) Beneficio por un mayor consumo de agua tratada. En algunos casos, parte del objetivo de construcción de una PTAR, es la producción de agua tratada que sustituya el consumo de agua potable o cruda de cierta población². Para el caso en donde se justifique que esta sustitución se dará una vez que entre en operación el proyecto, la manera de cuantificar este beneficio es por medio del número de m³ consumidos de agua tratada, o bien, por el número de m³ de agua potable y/o cruda sustituidos. Para su valoración se debe considerar el precio social del agua tratada. En caso de que no exista un mercado de agua tratada, se recomienda realizar un

² Generalmente, la población objetivo son los comercios (lavado de coches, invernaderos, etc) y parque industriales.

estudio sobre la disposición a pagar que tendrían los potenciales consumidores de este tipo de agua, considerando que su precio no puede ser mayor al precio que tenga el agua que es sustituida (potable y/o cruda).

Cabe señalar, que en la práctica este beneficio sólo se genera en casos muy particulares, provocados muchas veces por leyes que obligan a ciertos consumidores a no utilizar agua potable o cruda en sus procesos. Adicionalmente, existen otros costos que se deben considerar para saber si los actuales consumidores de agua potable o cruda, van a tener incentivos a cambiarse a un consumo de agua tratada; lo anterior se refiere a los costos de transportación y/o de obra por conducción y bombeo necesarios para llevar el agua tratada hasta su punto final de consumo.

c) *Beneficio por la reducción o eliminación de externalidades negativas.*

Este beneficio se identifica como la reducción o eliminación de los efectos negativos (malos olores, fauna, flora, enfermedades, etc) provocados por vertimiento de aguas servidas a ríos, lagos, terrenos, etc. Para cuantificar y valorar este beneficio se puede utilizar la metodología de precios hedónicos para determinar un posible incremento en el precio de los terrenos afectados.

Es importante mencionar que para cuantificar y valorar este beneficio se debe aplicar la segunda regla de la evaluación de proyectos, la cual especifica que: “No se le puede asignar a un costo, un valor mayor que el costo de evitarlo”³.

³ Metodología General para la Evaluación de Proyectos, noviembre 2008, Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP), pág. 7.

1.4 Oferta

La oferta de una PTAR es la capacidad de la infraestructura para tratar las aguas residuales, sin embargo por cuestiones metodológicas, además de considerar este aspecto, se requiere que se incluya la cantidad de agua residual que llega a la o las PTAR en la zona en estudio.

Por lo anterior, a continuación se presenta un análisis de los conceptos que se deben considerar, tanto para determinar la oferta en infraestructura como la cantidad de agua residual que se genera.

1.4.1 Oferta por infraestructura

La oferta por infraestructura está determinada por la capacidad efectiva de captación y tratamiento de aguas residuales con la que se cuenta en la zona en estudio. Generalmente, esta capacidad es medida en m^3/s , y se calcula considerando la capacidad de diseño descontando las pérdidas por la operación. Cabe mencionar, que existen diferentes tipos de tratamientos que por consecuencia determinarán la capacidad de producción de cada PTAR.

Asimismo, es necesario incluir en la oferta la capacidad de los colectores, emisores, canales y cualquier otra infraestructura que conduzca las aguas residuales a la o las PTAR que se encuentren en la zona en estudio. De la misma manera debe incluirse la capacidad de la infraestructura por donde se trasladan las aguas tratadas hasta su punto de vertido.

Una recomendación para la presentación de la oferta es la realización de un croquis que muestre la localización de las PTAR existentes y la infraestructura que conduce y deposita las aguas residuales.

1.4.2 Oferta por la generación de aguas residuales

Este punto se refiere al volumen de agua que efectivamente llega al sistema de tratamiento⁴, es decir, es la cantidad de agua servida que se genera después del consumo de la población (consumo residencial, comercial e industrial) más el agua de lluvia captada.

Para estimar dicha cantidad, se recomienda utilizar el método de aforos y el método por consumo de agua potable.

a) Método por aforos

Este método consiste en llevar mediciones en los puntos de entrega a las PTAR o de descarga hacia algún tipo de afluente. Con esto se podrá determinar con exactitud la cantidad de aguas residuales que se generan de cierta población o zona en estudio.

b) Método por consumo de agua potable

Para determinar la cantidad de aguas residuales por este método, se utiliza el consumo total de agua potable y se le restan las pérdidas por la operación, las cuales pueden ser originadas por fugas, filtraciones, evaporación, riego de áreas verdes, entre otros.

De manera general, en ambos métodos deben considerarse las características específicas de la zona en estudio, que afecten la cantidad de aguas residuales generadas. Por ejemplo, en época de verano se espera una mayor generación de aguas residuales, debido a que la demanda por consumo de agua potable aumenta, o bien, en zonas turísticas es característico que en época de vacaciones aumente la cantidad de aguas residuales, debido a un mayor número de personas.

⁴ Considera pérdidas por conducción.

Asimismo, debe considerarse el volumen de agua que se genera por las lluvias y es recolectado por el sistema de alcantarillado, tomando en cuenta cuestiones de estacionalidad.

1.5 Demanda

La demanda de una PTAR estará determinada por la cantidad de agua que se consume de aguas residuales tratadas. Este consumo puede estar dado por actividades como la agricultura, la industria, servicios o cualquier otra actividad que pueda utilizar en sus procesos este tipo de agua.

Para calcular esta demanda debe realizarse una estimación del actual uso que se le esté dando, en el caso de que esto ocurra, o bien, por medio de un análisis de los potenciales usuarios de agua tratada. Cabe señalar, que debe tenerse cuidado con la estimación de la demanda, debido a que es muy fácil cometer errores, ya que en general se consideran posibles usuarios sin considerar las restricciones técnicas que se tendrían para poder llevar este tipo de agua hasta los usuarios. Estas restricciones pueden ser los canales de distribución, la lejanía de la zona de tratamiento con la de consumo, o simplemente que el posible usuario tiene otras fuentes de abastecimiento más baratas, como pudiera ser un pozo de agua cruda.

1.6 Interacción oferta-demanda (diagnóstico de la situación actual)

El objetivo de esta sección es determinar la problemática existente en cierta zona en estudio, por ello, es necesario interactuar la oferta con la demanda para identificar las dificultades que pudiera haber. De manera general, las problemáticas más comunes que dan origen a la construcción o ampliación de una PTAR son las siguientes:

a) Déficit en el consumo de algún tipo de agua

Esta problemática surge cuando la demanda por agua sobrepasa a la oferta existente, provocando desabastos que se traducen en restricciones en el uso del agua (tandeos). En cualquier estudio de evaluación, es necesario explicar de manera clara cuáles son las razones por las que existe este déficit (desabasto), ya que el problema puede originarse por una o varias razones. Por ejemplo, puede existir la situación en donde haya un desabasto por agua potable, debido a que las zonas de riego utilizan la misma fuente de abastecimiento que la ciudad, lo cual se podría solucionar con la instalación de una PTAR que produzca agua tratada que sustituya el agua cruda utilizada por los agricultores, y así provocar una liberación de esta agua para ser utilizada en el abastecimiento de la ciudad; o bien, puede existir el caso en donde la capacidad instalada de tratamiento de aguas no sea suficiente para abastecer a los actuales consumidores, provocando cortes en el consumo de agua tratada.

b) Incumplimiento de la norma respecto a la calidad de agua en los cuerpos receptores

Esta problemática se refiere a que la calidad del agua que se vierte en los cuerpos receptores, no cumple con los parámetros establecidos en la norma. Sin embargo, es importante realizar un estudio que determine la capacidad de depuración que tenga el cuerpo receptor, ya que ésta podría ser la necesaria para mantener la calidad del agua de acuerdo a los parámetros. Por lo anterior, es muy importante realizar un trabajo de campo que compruebe las posibles afectaciones en la calidad del agua en el cuerpo receptor.

c) Disminución del excedente económico potencialmente alcanzable

Esta problemática generalmente surge cuando el uso de aguas residuales sin tratamiento en actividades económicas, reduce el excedente económico potencialmente alcanzable. Un ejemplo de esto son las zonas agrícolas que tienen restricciones en el tipo de cultivo que riegan por el uso de aguas residuales no tratadas, lo cual haría pensar que si se mejora la calidad del agua por medio de una PTAR, se podrían sembrar otros cultivos que posiblemente sean más rentables que los actuales.

d) Externalidades negativas

Las externalidades negativas que provocan las aguas residuales sin tratamiento son las afectaciones al medio ambiente como malos olores, fauna nociva, enfermedades, etc.

1.7 Optimizaciones

Las optimizaciones son acciones de bajo costo que permiten mejorar la situación actual, es decir, con ellas es posible aminorar o desaparecer el impacto generado por la problemática identificada; por ello, estas acciones permiten no asignar a los proyectos beneficios que no le corresponden.

Para el caso de los proyectos de PTAR, las optimizaciones dependerán de la infraestructura y de la operación del actual sistema de tratamiento (oferta), así como de la infraestructura y operación de la actividad económica que demande aguas tratadas.

Por lo anterior, a continuación se presentan algunas optimizaciones que frecuentemente se observan en la actividad de tratamiento de aguas residuales.

Cabe señalar, que estas optimizaciones no son de carácter limitativo, por lo que pudieran existir un número mayor, siempre y cuando, se cuide que sean factibles y de bajo costo⁵.

a) Cambio de cultivo

En proyectos que pretenden utilizar agua tratada en sus procesos, en particular en la agricultura, se puede optimizar la situación actual por medio del cambio de cultivos por aquellos que tengan una mayor rentabilidad social. Cabe señalar, que en México la agricultura es una actividad subsidiada lo que provoca que los precios no reflejen la escasez de los recursos, ocasionando con ello que se siembren cultivos que socialmente no son convenientes. Es aquí cuando se recomienda que se realice un análisis exhaustivo para generar un portafolio de cultivos que maximice la rentabilidad social.

b) Revestimiento de canales de riego

El revestimiento de canales de riego tiene la finalidad de disminuir las pérdidas en la distribución del agua, ahorrándose con ello agua que pudiera ser utilizada para regar más hectáreas, o bien, para proporcionar los requerimientos necesarios para aumentar la productividad por hectárea.

c) Cambio en el tipo de semilla

Esta optimización se refiere al cambio en el tipo de semilla utilizada para la siembra por algún otra que provoque un mayor excedente al agricultor. Por ejemplo, existen semillas que tienen un mayor rendimiento o utilizan una

⁵ La factibilidad se refiere a que no existan impedimentos legales, ambientales, económicos, técnicos, etc. que impidan la realización de la optimización.

menor cantidad de agua para proporcionar la misma cantidad de producción cosechada.

d) Suministro de fertilizantes

Al igual que la optimización anterior, el suministro de fertilizantes o el cambio de los utilizados puede producir ganancias adicionales en producción, lo cual se refleja en un mayor excedente económico.

e) Capacitación

La capacitación es una optimización que juega un papel muy importante cuando existen cambios en los cultivos sembrados, ya que disminuye la probabilidad de no éxito por parte de los agricultores que no estaban familiarizados con los nuevos cultivos.

CAPÍTULO II EVALUACIÓN DE UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El objetivo de este capítulo es evaluar un proyecto de construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales para reúso agrícola, con el fin de presentar un ejemplo práctico que sirva para la elaboración de proyectos relacionados; cabe señalar, que debe tenerse cuidado con el uso de la información incluida en este documento, ya que ésta varía dependiendo de las características particulares de cada proyecto y de la metodología empleada para su evaluación.

El análisis que se utilizará para evaluar este proyecto será el de costo-beneficio, siguiendo el proceso del documento “Metodología General para la Evaluación de Proyectos” publicado por el CEPEP en el año 2008, aplicando la parte metodológica descrita en el capítulo anterior. En términos generales, se desarrollarán las situaciones actual, sin proyecto y con proyecto, con lo cual se podrá realizar una evaluación que determinará la rentabilidad del proyecto propuesto y posteriormente, concluir si es conveniente o no llevarlo a cabo.

2.1 Situación actual

El propósito de esta situación es describir las condiciones actuales de la zona que se desea analizar. Para realizarlo se desarrollarán la oferta y la demanda actuales, con las que se podrá determinar cuál es la problemática a resolver o si existe alguna oportunidad de negocio por aprovechar (interacción entre la oferta y la demanda). Posteriormente, se describen las optimizaciones que se podrían realizar para mejorar la situación actual.

La zona que se analizará estará compuesta por una parte urbana y otra rural, en donde la primera es la generadora de aguas residuales y la segunda, es quien las utiliza en sus actividades productivas.

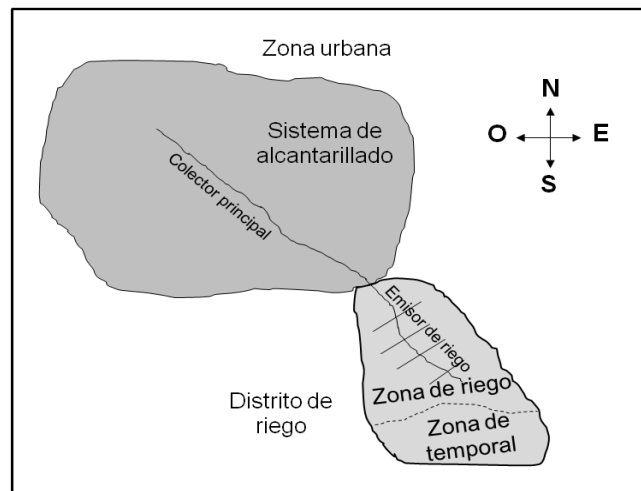
2.1.1 Oferta actual

De acuerdo a lo mencionado en la parte teórica de esta metodología, la manera en que se presentará la oferta actual es mediante la descripción de la infraestructura existente y de la generación de aguas residuales.

Infraestructura existente

Actualmente, no existe tratamiento de aguas residuales, por lo que la infraestructura para dicha tarea es nula. Lo que se realiza es la captación de las aguas residuales a través del sistema de alcantarillado, el cual está conectado a un colector que las conduce por gravedad a una zona de riego por medio de un emisor (véase figura 2.1).

Figura 2.1 Localización de la zona en estudio, situación actual 2010



Fuente: Elaboración propia.

El sistema de drenaje entubado y el colector principal abierto tienen la suficiente capacidad de conducción en cualquier época del año, sin embargo la dirección de obras del municipio realizó un estudio de mediciones de eficiencia, encontrando que el sistema tiene una eficiencia del 90%⁶.

⁶ Este porcentaje significa que de cada 10 litros que capta el sistema, uno se pierde por cuestiones de evaporación, filtraciones, fugas, etc.

Oferta por la generación de aguas residuales

La oferta por la generación de aguas residuales se define como la cantidad de aguas residuales captadas por el sistema de alcantarillado. Para medirla, lo ideal sería hacerlo por medio de aforos estadísticos, sin embargo, esta información no siempre está disponible. Por lo anterior, el método que se aplicará en este estudio estará basado en el consumo de agua potable de la zona urbana en análisis y de la captación de agua de lluvia del sistema.

Para aplicar este método es necesario revisar si existen variaciones en la cantidad de agua captada por el sistema de alcantarillado, por cuestiones de estacionalidad, es decir, es común encontrar que durante el periodo primavera-verano exista un mayor flujo de aguas residuales por el hecho de que en esta época es el periodo de lluvias, mientras que en las estaciones de otoño-invierno, la generación de aguas residuales es menor por ser época de seca. Por lo tanto, a continuación se realizará un análisis de la generación de aguas residuales, considerando las particularidades de cada época del año.

La ciudad en estudio tiene una población de 310,000 habitantes, con un total de 88,068 tomas de agua potable. Dichas tomas se distribuyen según el uso, en este caso, la clasificación que se considerará es de uso doméstico, comercial e industrial, sin embargo podrían existir otros sectores como el público.

En los cuadros 2.1 y 2.2, se presenta el consumo semestral de agua potable promedio por toma y por uso, para otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente. De acuerdo al trabajo de campo, se determinó que el consumo de primavera-verano es 4% más alto que el de otoño-invierno, independientemente del uso.

Cuadro 2.1 Oferta de aguas residuales, otoño-invierno, situación actual 2010

Consumo	Número de tomas	Consumo de agua potable por toma (m ³ /semestre)	Consumo de agua potable total (m ³ /seg) ^{1/}
Doméstico	82,256	100	0.522
Comercial	5,548	190	0.067
Industrial	264	900	0.015
Total	88,068		0.604

Fuente: Elaboración propia con base en los supuestos antes mencionados.

^{1/}El cálculo del consumo de agua potable doméstico (0.522 m³/seg) se obtiene de la siguiente manera: (82,256 tomas*100 m³/semestre) / (365/2 días*24 horas*60 minutos*60 segundos)=0.522 m³/seg. Asimismo, los resultados se han redondeando a 3 decimales.

Cuadro 2.2 Oferta de aguas residuales, primavera-verano, situación actual 2010

Consumo	Número de tomas	Consumo de agua potable por toma (m ³ /semestre)	Consumo de agua potable total (m ³ /seg) ^{1/}
Doméstico	82,256	104.00	0.543
Comercial	5,548	197.60	0.070
Industrial	264	936.00	0.016
Total	88,068		0.629

^{1/}Los resultados se han redondeando a 3 decimales.

Fuente: Elaboración propia con base en los supuestos antes mencionados.

Con base en los datos anteriores, se calcula que el consumo de agua potable total en otoño-invierno es de 0.604 metros cúbicos por segundo (m³/seg) y en primavera-verano de 0.629 m³/seg.

A partir del consumo de agua estimado se determinará la cantidad de aguas residuales generadas. Para ello, es necesario aplicar al consumo de agua estimado, el coeficiente de retorno de aguas residuales⁷, que para este caso es de 0.75, así como descontar las pérdidas por evaporación y fugas del sistema de alcantarillado, medido por medio de la eficiencia del sistema de drenaje (90%) (ver cuadro 2.3).

⁷ El coeficiente de retorno de aguas residuales conocido también como coeficiente de retorno "C", es la razón entre la cantidad de aguas residuales y la cantidad de agua consumida. De manera general, este coeficiente está en el rango de 0.5 a 0.9, dependiendo de las condiciones locales.

Cuadro 2.3 Producción y oferta de aguas residuales por época, situación actual 2010

Época	Consumo de agua potable total (m ³ /seg)	Producción de aguas residuales total (m ³ /seg)	Oferta de aguas residuales (m ³ /seg) ^{1/}
Otoño-invierno	0.604	0.453	0.408
Primavera-verano	0.629	0.472	0.488

^{1/}Los resultados se han redondeando a 3 decimales.

Fuente: Elaboración propia con base en estudios de evaluación analizados.

Adicionalmente, con base en datos pluviométricos de la zona, se estima que en el periodo de primavera-verano, el flujo de aguas residuales aumenta en 15% en comparación con el periodo de otoño-invierno, debido al incremento en la captación por el agua de lluvia. Con lo anterior, se estima la oferta de aguas residuales para la época de otoño-invierno en 0.408 m³/seg ($0.604 \cdot 0.75 \cdot 0.90 = 0.408$) y de 0.488 m³/seg en la época de primavera-verano ($0.629 \cdot 0.75 \cdot 0.90 \cdot 1.15 = 0.488$), es decir, anualmente se tiene una oferta de aguas residuales de 6.43 millones de m³ en otoño-invierno y de 7.69 millones de m³ en primavera-verano⁸.

Finalmente, es importante mencionar que la eficiencia del sistema de conducción de las aguas residuales hasta los campos de cultivo se reporta en un 90%, debido principalmente a problemas de filtración y evaporación. Lo anterior provoca que la cantidad final de aguas residuales que llega a los campos de cultivo es de 5.79 millones de m³ en otoño-invierno y 6.92 millones de m³ en primavera-verano.

2.1.2 Demanda actual

En la situación actual, el sistema de alcantarillado encausa por gravedad el flujo de aguas residuales hasta el sureste de la ciudad, en donde se utilizan para regar cultivos en el distrito de riego adyacente, tal como se mostró en la figura 2.1.

⁸ Se multiplicó la oferta (m³/seg) por 365/2 días*24 horas*60 minutos*60 segundos = 15.768 millones de segundos.

Este distrito de riego es propiedad de 400 agricultores, los cuales cuentan con 4,825 hectáreas (ha) de tierras cultivables. Sin embargo, no todas las hectáreas disponibles son de riego ya que del total, 1,500 ha son de temporal. Cabe señalar, que la superficie de riego se encuentra dividida en 132 ha para cultivos perennes y 3,193 ha para diferentes cultivos que se siembran de acuerdo a los dos ciclos agrícolas. En la zona se utiliza riego rodado, el cual es controlado a través de hidrantes y multicompuertas.

El riego se realiza con aguas residuales que no reciben tratamiento, lo que ocasiona que se restrinja el tipo de cultivo que se puede sembrar. Para este distrito, los cultivos sembrados son principalmente forrajes y granos.

En los cuadros 2.4 y 2.5, se detallan los tipos de cultivos que se siembran por ciclo en el distrito de riego, así como la cantidad de agua que se consume en la situación actual por tipo de cultivo. Como recomendación, esta información se puede recabar durante el trabajo de campo, consultando a las oficinas locales de la SAGARPA⁹, o bien, en los distritos de riego.

Cuadro 2.4 Cultivos y superficie sembrada, así como el consumo de aguas residuales en el ciclo otoño-invierno, situación actual 2010

Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Volumen de agua (m ³ /ha)	Volumen de agua (millones de m ³)
OTOÑO-INVIERNO			
RIEGO			
Avena forrajera en verde	127	10,000	1.27
Cebada grano	68	8,500	0.58
Trigo grano	239	11,300	2.70
Total	434		4.55

Fuente: Elaboración propia con base en la información recabada en el trabajo de campo.

Como se muestra en el cuadro 2.4, en el ciclo otoño-invierno sólo se siembran 434 ha de las 3,193 ha de riego para cultivos por ciclo, debido al volumen de

⁹ Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

aguas residuales que se genera en esta época. Respecto a las hectáreas de temporal, éstas no se siembran porque no es época de lluvias.

Para el ciclo primavera-verano, el número de hectáreas de riego sembradas aumenta a 3,193 debido principalmente a la mayor disponibilidad de agua para regar (ver cuadro 2.5).

Cuadro 2.5 Cultivos y superficie sembrada, así como el consumo de aguas residuales en el ciclo primavera-verano, situación actual 2010

Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Volumen de agua (m ³ /ha)	Volumen de agua (millones de m ³)
PRIMAVERA - VERANO			
RIEGO			
Maíz grano	2,516	2,900	7.30
Sorgo grano	677	2,700	1.83
Total por riego	3,193		9.13

Fuente: Elaboración propia con base en la información recabada en el trabajo de campo.

En cuanto a las hectáreas de temporal, para este ejemplo sólo se considerará el 80% de la superficie, ya que no siempre todos los agricultores se arriesgan a sembrar en esta época. Los cultivos sembrados son la cebada forrajera en verde y maíz grano, para los cuales se destinan 120 ha y 1,080 ha, respectivamente.

Finalmente, durante todo el año se destinan 132 ha de riego para la siembra de cultivos perennes, que para este caso se considera la siembra de alfalfa verde. Este cultivo perenne consume anualmente 18,700 m³/ha, lo que representa un volumen anual de agua de 2.47 millones de m³.

A continuación, en el cuadro 2.6 se presenta un resumen del número de hectáreas sembradas por tipo de cultivo y por ciclo. En el cuadro 2.7, se integra el consumo anual de aguas residuales para los cultivos de riego, es decir, para lo que se siembran cada ciclo y los perennes.

Cuadro 2.6 Hectáreas sembradas para cultivos de ciclo, temporal y perenne, situación actual 2010

Cultivo	Superficie sembrada (ha)
RIEGO	
Otoño-Invierno	
Avena forrajera en verde	127
Cebada grano	68
Trigo grano	239
Subtotal	434
Primavera-Verano	
Maíz grano	2,516
Sorgo grano	677
Subtotal	3,193
Perenne	
Alfalfa verde	132
TEMPORAL	
Primavera-Verano	
Cebada forrajera en verde	120
Maíz grano	1,080
Subtotal	1,200
Total	4,959

Fuente: Elaboración propia con base en la información recabada en el trabajo de campo.

En el cuadro 2.6, se puede observar que de una superficie disponible de 4,825 ha (totalidad del distrito de riego en análisis) se siembran 4,959 ha. La causa por la que la superficie sembrada es mayor a la disponible es por la manera en que se cuantifica la superficie sembrada de los cultivos por ciclo, ya que estos se siembran dos veces al año.

Cuadro 2.7 Consumo anual de aguas residuales por los cultivos de riego, situación actual 2010

Cultivo	Volumen de agua (m ³ /ha)	Volumen de agua (millones de m ³)
RIEGO		
Otoño-Invierno		
Avena forrajera en verde	10,000	1.27
Cebada grano	8,500	0.58
Trigo grano	11,300	2.70
Subtotal		4.55
Primavera-Verano		
Maíz grano	2,900	7.30
Sorgo grano	2,700	1.83
Subtotal		9.13
Perenne		
Alfalfa verde	18,700	2.47
Total		16.15

Fuente: Elaboración propia con base en la información recabada en el trabajo de campo.

Como se observa en el cuadro 2.7, el agua residual que se produce en la zona urbana se consume en el distrito de riego (considerando las pérdidas), es decir, para los 5.79 millones de m³ que llegan a las tierras de cultivo en el ciclo otoño-invierno existe una demanda por la misma cantidad, ya que los cultivos de ciclo consumen 4.55 millones de m³ y los perennes 1.235¹⁰ (4.55+1.235=5.79¹¹). En cuanto al ciclo primavera-verano, el consumo es de 10.37 millones de m³ mientras que la producción es de 6.92 millones de m³; el diferencial de 3.45 millones de m³ se debe a que en esta época, las tierras de riego reciben agua de lluvia, lo que ocasiona que los agricultores puedan sembrar un mayor número de hectáreas.

2.1.3 Interacción oferta-demanda (diagnóstico de la situación actual)

Como ya se explicó en la parte metodológica de este documento, en esta sección se realiza un diagnóstico de la situación actual, por medio de la interacción de la oferta y demanda antes descritas.

Este diagnóstico, se enfocará en determinar si existe alguna de las problemáticas más comunes en este tipo de proyectos, como por ejemplo: falta

¹⁰ Se está considerando que los cultivos perennes consumen en cada ciclo el 50% del volumen anual de agua requerido.

¹¹ En general, las cifras pueden no coincidir exactamente debido al redondeo.

de capacidad para el tratamiento total de las aguas residuales producidas, incumplimiento de la norma respecto a la calidad del agua vertida en los cuerpos receptores, bajo excedente económico respecto al potencialmente alcanzable, etc.

En este sentido, se descartan las dos primeras problemáticas identificadas, ya que aunque no se tratan las aguas residuales, éstas se utilizan en la agricultura sin ocasionar algún daño. Sin embargo, a lo que respecta al “bajo” excedente económico, podría existir una oportunidad potencial para llevar a cabo un proyecto de tratamiento de aguas residuales, debido a las actuales restricciones respecto al tipo de cultivos que pueden sembrar. En particular, según la normatividad mexicana en vigor, no se deben regar con aguas residuales las “legumbres y verduras que se consumen crudas” (NOM-001-SEMARNAT-1996¹²), con la finalidad de disminuir los riesgos de enfermedades gastrointestinales.

A partir de lo anterior, a continuación se presenta en el cuadro 2.8, el excedente social agrícola para la situación actual, el cual considera tanto el ciclo primavera-verano, como el ciclo otoño-invierno.

¹² Norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 (NOM-001-ECOL-1996), que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Cuadro 2.8 Excedente social agrícola anual para los ciclos otoño-invierno y primavera-verano, situación actual 2010 (cifras expresadas al año 2010)

Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Rendimiento (ton/ha)	Producción (ton)	Precio medio rural (\$/ton)	Costo de la producción unitario (\$/ha) ^{1/}	Valor de la producción (millones de pesos)	Costo de producción (millones de pesos)	Excedente social agrícola (millones de pesos)
RIEGO								
Otoño-Invierno								
Avena forrajera en verde	127	8.0	1,016.00	1,097	2,814.0	1.11	0.36	0.76
Cebada grano	68	2.5	170.00	1,825	6,262.0	0.31	0.43	-0.12
Trigo grano	239	4.5	1,071.00	1,786	7,517.0	1.91	1.79	0.12
Primavera-Verano								
Maíz grano	2,516	6.3	15,850.80	1,734	6,280.0	27.49	15.80	11.68
Sorgo grano	677	6.3	4,265.10	1,470	6,437.0	6.27	4.36	1.91
Perenne								
Alfalfa verde	132	75.0	9,900.00	542	16,527.0	5.37	2.18	3.18
Subtotal por riego	3,758		32,272.90			42.46		17.53
TEMPORAL								
Primavera-Verano								
Cebada forrajera en verde	120	7.2	864.00	500	3,500.0	0.43	0.42	0.01
Maíz grano	1,080	2.9	3,132.00	1,734	5,000.0	5.43	5.40	0.03
Subtotal por temporal	1,200		3,996.00			5.86	5.82	0.04
Total	4,959		36,268.90			48.32	5.82	17.57^{2/}

^{1/}El costo de la producción incluye todos aquellos gastos necesarios para llevar a cabo la siembra (semilla, mano de obra, fertilizante, costo del agua, combustible, etc).

^{2/} Por cuestiones de redondeo la sumatoria de las cifras puede no coincidir exactamente.

Fuente: Elaboración propia con base en la información recabada en el trabajo de campo.

Para calcular los resultados presentados en el cuadro 2.8, se realizó el siguiente procedimiento¹³:

- La producción se determinó a partir de la multiplicación de la superficie cosechada y del rendimiento por hectárea¹⁴; por ejemplo, en otoño-invierno, se produjeron 1,016 toneladas (ton) de avena forrajera en verde ($127 \text{ ha} * 8 \text{ ton/ha} = 1,016 \text{ ton}$).
- Con la producción, el precio medio rural (PMR)¹⁵ y el costo unitario de la producción se determinó el valor de la producción y el costo de producción, respectivamente; por ejemplo, para la avena forrajera, el PMR es de 1,097 pesos por tonelada, con lo que se obtiene un valor social de la producción de 1.11 millones de pesos ($1,016 * 1,097 / 1,000,000 = 1.11$); en cuanto al costo social de producción de la avena forrajera este asciende a 0.36 millones de pesos ($127 \text{ ha} * 2,814 \text{ \$/ha} / 1,000,000 = 0.36$ millones de pesos).
- Para determinar el excedente social agrícola, se restó al valor de la producción su costo social. Por ejemplo, para la avena forrajera, el excedente social agrícola es de 0.76 millones de pesos ($1.11 - 0.36 = 0.76$).
- Finalmente, se calculó el excedente social agrícola por ciclo, considerando todos los cultivos. Para el ciclo de primavera-verano el excedente ascendió a 13.63 millones de pesos ($11.68 + 1.91 + 0.01 + 0.03 = 13.63$), para el ciclo otoño-invierno el excedente resulta en 0.76 millones de pesos ($0.76 - 0.12 + 0.012 = 0.76$), y para el cultivo perenne el excedente ascendió a 3.18 millones de pesos.

¹³ Cabe señalar, que por cuestiones de redondeo algunas cifras no coincidan exactamente.

¹⁴ El rendimiento es específico a la zona de estudio del proyecto y toma en cuenta la siniestralidad del cultivo.

¹⁵ Precio Medio Rural: Se define como el precio promedio pagado al productor en la venta de primera mano en la zona de producción, por lo cual no incluye los apoyos económicos que otorga el Gobierno Federal y/o Estatal, a través de Programas de Apoyo a Productores.

En resumen, se puede intuir que existe una oportunidad de aumentar el excedente económico que se genera en la zona en estudio, debido principalmente a las restricciones en la siembra de ciertos cultivos por el actual uso de aguas residuales sin tratamiento, es decir, se abre la posibilidad de proponer un proyecto que disminuya la cantidad de coliformes y material fecal de las aguas residuales, con la finalidad de cumplir con la norma NOM-001-SEMARNAT-1996, y así poder sembrar cultivos con un mayor excedente económico.

Asimismo, cabe señalar que los agricultores no toman decisiones acerca del tipo de cultivo a sembrar sólo considerando cuestiones económicas (excedente social agrícola), sino que existen otras razones como usos y costumbres que determinan la distribución de cultivos en una zona específica.

2.1.4 Optimización de la situación actual

Para este tipo de análisis, una de las optimizaciones más comunes es la sustitución de los cultivos que tienen un excedente social negativo. Lo anterior puede estar ocurriendo debido a los subsidios que actualmente se dan al campo, como son la reducción en el precio de los combustibles, electricidad, semillas, etc. que se otorgan a través de diferentes programas. Lo anterior provoca distorsiones en los mercados que generan que se lleven a cabo actividades no rentables para la sociedad, como la siembra de cultivos con excedente social negativo. En este caso, un claro ejemplo es la siembra de cebada grano, ya que el excedente social¹⁶ que se obtiene es de -0.12 millones de pesos.

En este sentido, la optimización en este caso sería dejar de cultivar la cebada grano y sembrar un cultivo que genere un excedente social positivo. Para seleccionar el nuevo cultivo, se debe realizar un análisis entre el excedente social generado y el volumen de agua que consume cada cultivo. A

¹⁶ Es importante recordar que el excedente social se calcula a partir de precios que no tienen subsidios o impuestos, debido a que estos se consideran en la evaluación social como un transferencia que no impacta en la riqueza total de la sociedad.

continuación, en el cuadro 2.9 se presenta la información necesaria para realizar dicho análisis.

Cuadro 2.9 Excedente social agrícola ajustado, ciclo primavera-verano situación actual (cifras expresadas al año 2010)

Cultivo	Excedente social agrícola por ha (\$)	Volumen de agua (m ³ /ha)	Volumen de agua (millones de m ³)	Excedente social agrícola ajustado (\$/ha-m ³)
Otoño-Invierno				
Avena forrajera en verde	5,984.25	10,000	1.27	0.60
Cebada grano	-1,764.71	8,500	0.58	-0.21
Trigo grano	502.09	11,300	2.69	0.04
Primavera-Verano				
Maíz grano	4,642.29	2,900	3.85	1.60
Sorgo grano	2,821.27	2,700	1.83	1.04
Perenne				
Alfalfa verde	24,090.91	9,350	1.23	2.58

Fuente: Elaboración propia con base en la información recabada en el trabajo de campo.

Para este caso, se recomienda que el cultivo que se seleccione se siembre en el mismo ciclo que el cultivo a sustituir, con el objetivo de captar todos los efectos que existen en el rendimiento, consumo de agua, etc. entre los dos ciclos.

Como se puede observar, el cultivo no perenne con mayor excedente social ajustado en el ciclo otoño-invierno es la avena forrajera, por lo que se recomienda seleccionarlo. Asimismo, al no sembrar cebada grano se liberan 0.58 millones de m³ de aguas residuales que podrían emplearse en el cultivo de 58 ha adicionales de avena forrajera ($0.58 \times 1,000,000 / 10,000 = 58$).

Con la optimización anterior, el excedente social agrícola del ciclo otoño-invierno, aumenta de 0.76 millones de pesos a 1.22 millones de pesos (véase cuadros 2.8 y 2.11). Cabe señalar, que aún con la disminución del número de hectáreas (de 68 a 58), el excedente económico producido por la avena forrajera es mayor.

Otro tipo de optimización podría ser el mejorar los sistemas de alcantarillado y de riego, al fin de limitar las fugas de agua y aumentar su cantidad disponible.

Sin embargo, en este ejemplo, los dos sistemas presentan niveles de eficiencia normal, por lo que esta optimización no sería conveniente.

2.2 Situación sin proyecto

La situación sin proyecto no es más que la situación actual con optimizaciones, por ello, en esta sección se deben incorporar las optimizaciones planteadas, ya sea en la oferta y/o en la demanda, dependiendo de los impactos que se tengan. Posteriormente, estos impactos se deben ver reflejados en la interacción de la oferta-demanda, ya sea con una reducción en la problemática planteada o su completa solución.

2.2.1 Oferta sin proyecto

Para este caso, la optimización propuesta no modifica la oferta actual, por lo que la oferta sin proyecto es exactamente igual. Lo anterior se debe a que los cambios en cultivo no provocan cambios en la infraestructura existente ni un aumento o disminución en los patrones de generación de aguas residuales.

2.2.2 Demanda sin proyecto

En cuanto a la demanda, la optimización si provocará cambios en el consumo de agua residual en la zona en estudio, debido a un aumento en el número de hectáreas sembradas. En el cuadro 2.10, se presenta el patrón de consumo y la cantidad de hectáreas sembradas, para la situación sin proyecto en el año 2011¹⁷.

¹⁷ Se está asumiendo que la optimización propuesta se puede llevar a cabo en un año.

Cuadro 2.10 Cultivos y consumo de aguas residuales, otoño-invierno, situación sin proyecto 2011

Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Volumen de agua (m ³ /ha)	Volumen de agua (millones de m ³)
OTOÑO-INVIERNO			
RIEGO			
Avena forrajera en verde	185	10,000	1.85
Trigo grano	239	11,300	2.70
Total	424		4.55

Fuente: Elaboración propia con base en la información recabada en el trabajo de campo.

No se incluye el ciclo primavera-verano, porque éste se mantendrá igual que en la situación actual.

2.2.3 Interacción oferta-demanda

En esta sección, además de presentar la interacción entre la oferta y la demanda descritas, se realiza la proyección de los datos obtenidos del excedente económico. El plazo en que se proyecta, mejor conocido como horizonte de evaluación es de 22 años. A manera de simplificación, en este ejemplo se considera que la oferta y la demanda de agua se mantendrán constantes a lo largo del tiempo, por consecuencia, el excedente económico esperado también será constante.

Cabe señalar, que en la práctica el crecimiento de estos proyectos está limitado por el número de hectáreas disponibles para la siembra, así como por la tasa de crecimiento de la generación de aguas residuales y la capacidad de tratamiento de la infraestructura existente.

A continuación, en el cuadro 2.11, se presenta el cálculo del excedente social agrícola para la situación sin proyecto en los ciclos primavera-verano, otoño-invierno y cultivos perennes.

Cuadro 2.11 Excedente social agrícola anual para los ciclos otoño-invierno y primavera-verano, situación sin proyecto 2012-2031 (cifras expresadas al año 2010)

Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Rendimiento (ton/ha)	Producción (ton)	Precio medio rural (\$/ton)	Costo de la producción unitario (\$/ha) ^{1/}	Valor de la producción (millones de pesos)	Costo de producción (millones de pesos)	Excedente social agrícola (millones de pesos)
RIEGO								
Otoño-Invierno								
Avena forrajera en verde	185	8	1,480.00	1,097	2,814	1.62	0.52	1.10
Trigo grano	239	4.5	1,075.50	1,786	7,517	1.92	1.80	0.12
Primavera-Verano								
Maíz grano	2,516	6.3	15,850.80	1,734	6,280	27.49	15.80	11.68
Sorgo grano	677	6.3	4,265.10	1,470	6,437	6.27	4.36	1.91
Perenne								
Alfalfa verde	132	75	9,900.00	542	16,527	5.37	2.18	3.18
Subtotal por riego	3,749		32,571.40			42.67	24.66	17.99
TEMPORAL								
Primavera-Verano								
Cebada forrajera en verde	120	7.2	864.0	500	3,500	0.43	0.42	0.01
Maíz grano	1,080	2.9	3,132.0	1,734	5,000	5.43	5.40	0.03
Subtotal por temporal	1,200		3,996.0			5.86	5.82	0.04
Total	4,949		36,567.40			48.53	30.48	18.03

^{1/}El costo de la producción incluye todos aquellos gastos necesarios para llevar a cabo la siembra (semilla, mano de obra, fertilizante, costo del agua, combustible, etc)

Fuente: Elaboración propia con base en la información recabada en el trabajo de campo.

En resumen, para la situación sin proyecto la zona en estudio generará anualmente un excedente social agrícola de 18.03 millones de pesos.

2.3 Situación con proyecto

2.3.1 Descripción del proyecto

El proyecto propone aprovechar el potencial incremento en el excedente social agrícola, con la construcción de una PTAR con capacidad de 0.500 m³/seg, diseñada para poder dar tratamiento a todo el flujo de agua residual captado por el sistema de alcantarillado de la ciudad, en particular, el flujo que se presenta en primavera-verano (0.488 m³/seg), que es el mayor del año.

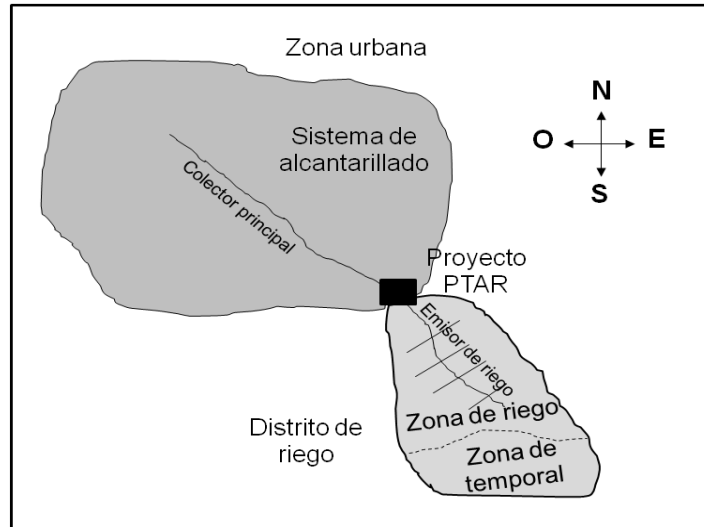
El sistema de tratamiento será a través de “Lodos Activados Convencionales (LAC)”. Se planea usar un sistema de desinfección con lámparas de luz ultravioleta (UV), junto con un sistema de cloración que permita obtener una calidad de agua 20/20 DBO/SST (en miligramo/litro)¹⁸ que es conveniente para el riego de hortalizas. Asimismo, se incluye un sistema de tratamiento de lodos con fase de deshidratación en filtros banda y otra fase de estabilización con cal.

La PTAR estaría localizada en un terreno de 7 ha al sureste de la zona urbana y al norte del distrito de riego (ver figura 2.2). El proyecto considera adecuaciones al colector principal y al emisor de riego para poder reutilizarlos una vez que la PTAR esté construida. Adicionalmente, también se contemplan adaptaciones al sistema de riego existentes, necesarias para la implementación de los nuevos cultivos.

El tiempo de la inversión se estima en dos años, con un costo de 162.00 millones de pesos. Los costos por componente del proyecto se describen en la parte de evaluación.

¹⁸ DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno a veinte grados Celsius
SST: Sólidos Suspendidos Totales

Figura 2.2 Localización de la PTAR, situación con proyecto



Fuente: Elaboración propia.

À continuación, se describe de igual manera que en las secciones anteriores, la oferta, la demanda y su interacción, para la situación con proyecto. Esto es con la finalidad de poder comparar esta situación con la situación sin proyecto, y así determinar cuáles son los beneficios del proyecto propuesto.

2.3.2 Oferta con proyecto

La cantidad ofrecida de agua tratada es casi igual a la oferta de aguas residuales determinada en la situación sin proyecto, sin embargo en el proceso de tratamiento se considera un porcentaje de pérdidas de 1.00%, con lo que se obtiene una oferta para la situación con proyecto de 0.404 m³/seg (6.37 millones de m³/semestre) en el ciclo otoño-invierno y de 0.483 m³/seg (7.62 millones de m³/semestre) en el ciclo primavera-verano. Asimismo, considerando que la eficiencia del sistema de distribución en el distrito de riego es del 90%, la oferta de aguas residuales tratadas es de 5.73 millones de m³ para el ciclo otoño-invierno y de 6.86 millones de m³ para el ciclo primavera-verano.

2.3.3 Demanda con proyecto

La cantidad demandada se determina a partir del consumo de agua tratada de los cultivos que se siembran en la situación con proyecto.

Al regar con agua tratada, se pueden introducir cultivos de uso restringido que presentan mayores excedentes agrícolas sociales. En los cuadros 2.12 y 2.13, se detalla los diferentes cultivos que se proponen a manera de ejemplo en este estudio. Se incluye los consumos de agua que se necesitarán para cada ciclo.

Cabe señalar que de manera práctica, cuando se realiza un estudio de evaluación, la selección de los cultivos y la proporción que se pretende producir en la situación con proyecto debe fundamentarse muy bien, considerando los diversos factores que existen en el sector, en particular, deben proponerse cultivos que estén de acuerdo con la calidad de las tierras agrícolas, la experiencia de los agricultores en los cultivos que se pretenden sembrar y que existan los suficientes canales de distribución para la venta de los nuevos productos o la mayor producción de los actuales.

Se recomienda escoger cultivos que ya se produzcan en la región y de ser posible, utilizar la información disponible de otros proyectos similares de cambio de cultivo que se hayan llevado a cabo en la zona. De igual manera, no es razonable pensar que el cambio de cultivo será total, ya que en la práctica se ha constatado que por diversas razones los agricultores no dejan de sembrar los cultivos que tradicionalmente han sembrado por generaciones. Por lo anterior, para este estudio se considerará que sólo habrá un cambio de cultivo en el 30% de las hectáreas del distrito de riego.

Cuadro 2.12 Cultivos y superficie sembrada anual, así como el consumo de aguas residuales tratadas en el ciclo otoño-invierno, situación con proyecto 2012-2031

Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Volumen de agua (m ³ /ha)	Volumen de agua (millones de m ³)
OTOÑO-INVIERNO			
RIEGO			
Avena forrajera en verde	131	10,000	1.31
Trigo grano	195	11,300	2.20
Calabacita	212	3,300	0.70
Cebolla	83	3,300	0.27
Total	621		4.48

Fuente: Elaboración propia con base en la información recabada en el trabajo de campo.

En el cuadro 2.12 en comparación con el cuadro 2.10, se puede observar que se dejaron de producir 97 ha de avena forrajera en verde y de trigo grano para reemplazar esos cultivos por calabacita y cebolla. Sin embargo, como el consumo de agua de esos nuevos cultivos es menor que el de los cultivos existentes, se libera agua tratada que se puede usar para regar más hectáreas. En total, se sembrarán 295 ha de calabacita y cebolla. La cantidad total de hectáreas cultivadas pasa de 424 a 621 ha y el consumo de agua tratada es de 4.49 millones de m³ al año.

Cuadro 2.13 Cultivos y superficie sembrada anual, así como el consumo de aguas residuales tratadas en el ciclo primavera-verano, situación con proyecto 2012-2031

Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Volumen de agua (m ³ /ha)	Volumen de agua (millones de m ³)
PRIMAVERA-VERANO			
RIEGO			
Maíz grano	1,761	2,900	5.11
Sorgo grano	474	2,700	1.28
Calabacita	418	3,657	1.53
Tomate verde	302	3,700	1.12
Subtotal por riego	2,955		9.04

Fuente: Elaboración propia con base en la información recabada en el trabajo de campo.

En primavera-verano, se planea reemplazar 958 ha (30%) de maíz grano y sorgo grano por 720 ha de calabacita y tomate verde. Al contrario del ciclo otoño-invierno, el consumo de agua de los cultivos introducidos es mayor que el consumo de agua de los productos sustituidos, lo cual explica el porqué la

cantidad de hectáreas de riego disminuye de 3,193 a 2,955 ha. Esta disminución en las hectáreas de riego, provoca una liberación de tierras que podrían destinarse a la siembra de temporal; por lo anterior, se considerará que del total de hectáreas liberadas se siembra el 80% de ellas $((3,193 - 2,955) \cdot 0.8 = 190)$, con lo que la superficie destinada a la siembra de temporal pasa de 1,200 ha a 1,390 ha (200 ha de cebada forrajera en verde y 1,190 ha de maíz grano).

Finalmente, durante todo el año se seguirán destinando 132 ha para el riego del cultivo perenne (alfalfa verde), el cual consume anualmente $18,700 \text{ m}^3/\text{ha}$, lo que representa un volumen anual de agua de 2.47 millones de m^3 .

A continuación, en el cuadro 2.14 se presenta un resumen del número de hectáreas sembradas por cultivos de ciclo, temporal y perenne. En el cuadro 2.15, se integra el consumo anual de agua tratada para los cultivos de riego, es decir, para los que se siembran cada ciclo y los perennes.

Cuadro 2.14 Hectáreas sembradas para cultivos de ciclo, temporal y perenne, situación con proyecto 2012

Cultivo	Superficie sembradas (ha)
RIEGO	
Otoño-Invierno	
Avena forrajera en verde	131
Trigo grano	195
Calabacita	212
Cebolla	83
Subtotal	621
Primavera-Verano	
Maíz grano	1,761
Sorgo grano	474
Calabacita	418
Tomate verde	302
Subtotal	2,955
Perenne	
Alfalfa verde	132
TEMPORAL	
Primavera-Verano	
Cebada forrajera en verde	200
Maíz grano	1,190
Subtotal	1,390
Total	5,064

Fuente: Elaboración propia con base en la información recabada en el trabajo de campo.

Al igual que para las situaciones actual y sin proyecto, en el cuadro 2.14 se puede observar que el número de hectáreas sembradas excede al número de hectáreas físicas disponible, sin embargo, esto se debe a que las hectáreas destinadas a cultivos por ciclo, se siembran dos veces al año, ya sea con el mismo cultivo o diferente.

Cuadro 2.15 Consumo anual de agua tratada por cultivos de riego

Cultivo	Volumen de agua (m ³ /ha)	Volumen de agua (millones de m ³)
RIEGO		
Otoño-Invierno		
Avena forrajera en verde	10,000	1.31
Trigo grano	11,300	2.20
Calabacita	3,300	0.70
Cebolla	3,300	0.27
Subtotal		4.48
Primavera-Verano		
Maíz grano	2,900	5.11
Sorgo grano	2,700	1.28
Calabacita	3,657	1.53
Tomate verde	3,700	1.12
Subtotal		9.04
Perenne		
Alfalfa verde	18,700	2.47
Total		15.99

Fuente: Elaboración propia con base en la información recabada en el trabajo de campo.

Como se observa en el cuadro 2.15, el agua tratada producida por la PTAR se consume en el distrito de riego, es decir, los 5.73 millones de m³ producidos en el ciclo otoño-invierno se consumen por los cultivos de ciclo (4.49) y perenne (1.235), mientras que los 6.86 millones de m³ producidos en el ciclo primavera-verano también son consumidos en su totalidad por los cultivos de ciclo y perenne, quedando un diferencial de 3.42 millones de m³ que es cubierto por el agua de lluvia.

2.3.4 Interacción oferta-demanda

A continuación, en el cuadro 2.16, se presentan los excedentes agrícolas sociales en la situación con proyecto una vez que se termine la incorporación de los nuevos cultivos. En este ejemplo, se considera una tasa de incorporación anual del 25 % durante 4 años, por lo cual se alcanzará una incorporación total a partir del año 2015. En cuanto a la maduración de los

cultivos, se supone que desde el primer año que se siembra su rendimiento es similar al obtenido con un cultivo maduro¹⁹.

La lógica de cálculo de los excedentes es la misma que en la situación actual, así que se puede consultar la parte de interacción oferta-demanda de la situación actual para mayor detalle.

En total, el cambio de cultivos permite lograr un excedente social agrícola anual de 54.37 millones de pesos en cultivos de riego y de 0.05 millones de pesos en cultivos de temporal, lo que correspondería a un total anual de 54.42 millones de pesos de 2010, para la situación con proyecto.

¹⁹ En particular para la siembra de árboles frutales, se recomienda tomar en cuenta que la maduración no es inmediata y puede llevar varios años.

Cuadro 2.16 Excedente social agrícola en los ciclos otoño-invierno y primavera-verano, situación con proyecto 2015-2031 (cifras expresadas al año 2010)

Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Rendimiento (ton/ha)	Producción (ton)	Precio medio rural (\$/ton)	Costo de la producción unitario (\$/ha) ^{1/}	Valor de la producción (millones de pesos)	Costo de producción (millones de pesos)	Excedente social agrícola (millones de pesos)
RIEGO								
Otoño-Invierno								
Avena forrajera en verde	131	8.0	1,048.0	1,097	2,814	1.15	0.37	0.78
Trigo grano	195	4.5	877.5	1,786	7,517	1.57	1.47	0.10
Calabacita	212	22.0	4,664.0	3,130	10,685	14.60	2.27	12.33
Cebolla	83	20.0	1,660.0	2,256	14,949	3.74	1.24	2.50
Primavera-Verano								
Maíz grano	1,761	6.3	11,094.3	1,734	6,280	19.24	11.06	8.18
Sorgo grano	474	6.3	2,986.2	1,470	6,437	4.39	3.05	1.34
Calabacita	418	22.0	9,196.0	2,838	10,685	26.10	4.47	21.63
Tomate verde	302	8.0	2,416.0	4,775	23,849	11.54	7.20	4.33
Perenne								
Alfalfa verde	132	75.0	9,900.0	542	16,527	5.37	2.18	3.18
Subtotal por riego	3,708		43,842.0			87.69	33.30	54.37
TEMPORAL								
Primavera-Verano								
Cebada forrajera en verde	200	7.2	1,440.0	500	3,500	0.72	0.70	0.02
Maíz grano	1,190	2.9	3,451.0	1,734	5,000	5.98	5.95	0.03
Subtotal por temporal	1,390		4,891.0			6.70	6.65	0.05
Total	5,098		48,733.0			94.39	39.95	54.42

^{1/}El costo de la producción incluye todos aquellos gastos necesarios para llevar a cabo la siembra (semilla, mano de obra, fertilizante, costo del agua, combustible, etc)

Fuente: Elaboración propia con base en la información recabada en el trabajo de campo.

A partir del análisis anterior, se efectúa la evaluación del proyecto de PTAR en un horizonte de evaluación de 22 años, aplicando la tasa social de descuento del 12% autorizada por la Unidad de Inversiones de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

2.4 Evaluación del proyecto

2.4.1 Identificación, cuantificación y valoración de los costos del proyecto

En el cuadro 2.17, se detallan los costos de inversión del proyecto por componente. El proyecto representa una inversión total de 162 millones de pesos, 158 millones para la obra civil de la PTAR y 4 millones para las obras complementarias de adaptación del colector principal, emisores y sistema de riego.

Cuadro 2.17 Costos de inversión del proyecto, 2010-2011
(millones de pesos de 2010)

PTAR	
Ingeniería	7.10
Equipamiento	76.59
Obra civil	51.43
Montaje	5.61
Puesta en marcha	4.67
Terreno (7 ha)	12.60
Total PTAR	158.00
OTROS COMPONENTES	
Adaptación a colectores y al emisor para riego	3.51
Adaptación al sistema de riego	0.49
PROYECTO	
Total proyecto	162.00

Fuente: Elaboración propia con base en la información recabada en el trabajo de campo.

En el año 0, se gastarán 85.302 millones de pesos que corresponden a la compra del terreno y a la mitad de la obra de la PTAR, mientras que en el año 1, se erogará el resto (76.698 millones de pesos) para terminar la obra y las adaptaciones.

En cuanto a los costos de operación y mantenimiento de la PTAR, estos ascienden a 0.98 pesos por metro cúbico de aguas residuales. Por lo tanto, al ser 14.12 millones de metros cúbicos los que ingresarían a la PTAR cada año (6.43 y 7.69 millones de metros cúbicos para los ciclos otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente), el costo anual de operación asciende a 13.84 millones de pesos.

2.4.2 Identificación, cuantificación y valoración de los beneficios del proyecto

El beneficio principal de este proyecto es el incremento en el excedente social agrícola, que resulta de la diferencia entre la situación sin proyecto y con proyecto. En particular, en el año 2015 en donde la incorporación de los nuevos cultivos es total, el incremento máximo en el excedente es de 36.39 millones de pesos anuales. Para los años de operación anteriores al 2015, el beneficio es proporcional a la tasa de incorporación. Para el 2012, el 25% de las hectáreas consideradas para la situación con proyecto habrán cambiado, lo que generaría un beneficio de 9.10 millones de pesos; en 2013, se generarían 18.19 millones de pesos (50%) y en 2014, 27.29 millones de pesos (75%).

Adicional al beneficio por mayor excedente agrícola, en este tipo de proyectos se debe contabilizar como beneficio el valor de rescate de la PTAR en el último año de operación (año 21), el cual correspondería al 100% del monto de inversión, con excepción del equipamiento, para el cual se considerará un valor de rescate del 25%. Eso corresponde a 104.56 millones de pesos.

Cabe señalar, que se está considerando el 100% de la inversión como valor de rescate, suponiendo que todos los mantenimientos requeridos por la PTAR, se realizan en tiempo y forma.

2.4.3 Indicadores de rentabilidad

En el cuadro 2.18, se resume la información antes descrita y se presenta el cálculo de los flujos de efectivo y del valor presente neto (VPN) de este proyecto.

Cuadro 2.18 Flujos de efectivo en millones de pesos de 2010

Año	Inversión	COM	Incremento en el excedente agrícola	Valor de rescate	Flujo de efectivo	Flujo de efectivo descontado
2010	85.30				-85.30	-85.30
2011	76.70				-76.70	-68.48
2012		13.84	9.10		-4.74	-3.78
2013		13.84	18.20		4.36	3.10
2014		13.84	27.29		13.45	8.55
2015		13.84	36.39		22.55	12.80
2016		13.84	36.39		22.55	11.42
2017		13.84	36.39		22.55	10.20
2018		13.84	36.39		22.55	9.11
2019		13.84	36.39		22.55	8.13
2020		13.84	36.39		22.55	7.26
2021		13.84	36.39		22.55	6.48
2022		13.84	36.39		22.55	5.79
2023		13.84	36.39		22.55	5.17
2024		13.84	36.39		22.55	4.61
2025		13.84	36.39		22.55	4.12
2026		13.84	36.39		22.55	3.68
2027		13.84	36.39		22.55	3.28
2028		13.84	36.39		22.55	2.93
2029		13.84	36.39		22.55	2.62
2030		13.84	36.39		22.55	2.34
2031		13.84	36.39	104.56	127.11	11.77

Indicador	Resultado
Valor Presente de los Beneficios	211.88
Valor Presente de los Costos	246.08
Valor Presente Neto (VPN)	-34.20
TIR	9.42%

Fuente: Elaboración propia con base en la información recabada en el trabajo de campo.

2.4.4 Conclusión y recomendación

Siendo el VPN el mejor indicador para tomar una decisión referente a la ejecución o no de este proyecto, se concluye que éste no es rentable, debido a que presenta un VPN negativo (-34.20 millones de pesos).

En estos casos, la recomendación es no ejecutar el proyecto y mejor llevar a cabo las medidas de optimización planteadas en la situación actual.