

## Capítulo 5

### Caso de estudio

### El saneamiento de la cuenca del río Apatlaco, Morelos, México

#### 5.1 Introducción

El crecimiento de la población y el desarrollo urbano e industrial en México ha provocado un aumento en la demanda de agua, así como un incremento en el volumen de aguas residuales.

El caso de estudio sobre la cuenca del río Apatlaco, la cual esta ubicada en el centro de la Republica Mexicana, tiene como objetivo determinar la viabilidad técnico-económica de implantar diferentes tipos de regeneración y reutilización de aguas residuales que contribuyan al saneamiento de la cuenca. La figura 5.1 presenta la ubicación geográfica de esta cuenca.

La cuenca del río Apatlaco ubicada dentro del estado de Morelos tiene una superficie de 49.42 km<sup>2</sup> y en la cual se concentra el 55% de la población del estado, existiendo 218 fuentes de abastecimiento con un gasto de extracción aproximado de 4.2 m<sup>3</sup>/s. Las principales poblaciones de esta cuenca son Cuernavaca, Jiutepec, Emiliano Zapata y Zacatepec.

La tabla 5.1 presenta las características más significativas de los municipios Jiutepec, Emiliano Zapata y Zacatepec, se destaca que:

Tabla 5. 1  
Características generales y económicas de los municipios de Jiutepec, Zacatepec y E. Zapata.

Características	Unidad	Jiutepec	Zacatepec	Emiliano Zapata
Superficie	Km <sup>2</sup> .	70.45	28.53	64.98
Usos del suelo	ha.	Agrícola (500)	Agrícola (1,175) Pecuario (84) Industrial (806)	Agrícola (1,274) Forestal (4,026) Pecuario (1,196) Industrial (16)
Población	Hab.	203,000	30,661	62,482
Cobertura en el suministro de Agua potable	%	100	95	100
Cobertura de Alcantarillado	%	89	90	50
<b>Actividad económica</b>				
	%	11.2	8.8	18
Sector Primario		Agricultura: Viveros y cultivos de alto valor agregado	Agricultura: caña de azúcar, arroz, maíz y frijol. Fruticultura: mango, aguacate y guayaba. Ganadería: Bovino, porcino, caprino y caballar	Agricultura: caña de azúcar, arroz, maíz, frijol, cacahuate, calabaza, alfalfa, floricultura e invernadero Ganadería: Bovino, porcino, caprino y caballar
Sector Secundario	%	49.3	36.9	39.3
		Industrias (250 plantas)	Ingenio azucarero "Emiliano Zapata"	Industria de la construcción
Sector Terciario	%	39.5	54.3	40.7
		Comercio establecido	Balnearios Comercio establecido	Comercio establecido

Fuente: Gobierno del Estado de Morelos, 2000



3. En Zacatepec se encuentra uno de los mayores ingenios del país, por su producción de azúcar y mieles incristalizables y,
4. En Jiutepec se asienta el parque industrial más importante del estado, con 250 industrias instaladas.

Las demandas de agua que se llevan a cabo cerca de los sitios donde están ubicadas las estaciones depuradoras de aguas residuales, tienen que ver con 4 usos: 1) Agrícola (tanto de terrenos de cultivo, como de riego de jardines, zonas ornamentales y viveros), 2) Recreativo (balnearios y actividades acuáticas), 3) Industriales (sector textil y azucarero) y 4) Acuicultura. Para la agricultura el agua abastecida proviene de manantiales, canales y/o ríos, mientras que para las demás actividades el suministro se obtiene de pozos y manantiales.

La microcuenca del río Apatlaco, forma parte de la cuenca del río Amacuzac, uno de los más importantes afluentes del río Balsas, que es a su vez uno de los principales ríos del país. Los municipios de Jiutepec, Zacatepec y Emiliano Zapata pertenecen a esta microcuenca y debido a las condiciones de la baja disponibilidad de agua y del deterioro ambiental que sufre esta, se tiene la necesidad de implementar acciones de saneamiento y uso eficiente del agua. La Comisión Nacional del Agua (CNA), organismo responsable en el ámbito nacional de la gestión del agua en el país, considera que el agua que circula por los ríos de la cuenca del río Apatlaco no es apta para ser utilizada en los usos público-urbano, ecológico y recreativo, siendo parcialmente apta para algunos usos industriales y algunos cultivos agrícolas (CNA, 2002).

Esta situación ha originado que el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), como centro de investigación, desarrolle estudios dentro de un marco general de tipo técnico, legal, económico y financiero para establecer los lineamientos necesarios para la formulación y evaluación de los proyectos de regeneración y reutilización de las aguas residuales.

### **5.1.1 Objetivo de la reutilización**

El objetivo del estudio es determinar la viabilidad técnico-económica de implantar la regeneración y reutilización de las aguas residuales en estas 3 ciudades. La figura 5.2 presenta la ubicación geográfica de las localidades de Jiutepec, Zacatepec y Emiliano Zapata.

El estudio considera la reutilización de las aguas regeneradas provenientes de las EDAR's de "La Gachupina" y "Puente Blanco", ubicadas en la localidad de Jiutepec, así como las EDAR's de las ciudades de Zacatepec y Emiliano Zapata. La implantación de estos SRRAR se visualizan como estrategia para aumentar la disponibilidad de agua en la zona y mejorar la calidad ambiental en la microcuenca.



### 5.1.2 Descripción técnica

Con el fin de cumplir con la legislación vigente en materia de prevención y control de la contaminación del agua (CNA, 1992), que permita el vertido al cuerpo receptor sin incumplir con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (CNA, 1998), los gobiernos municipales de Jiutepec, Zacatepec y Emiliano Zapata tienen proyectado la construcción de 3 EDAR's para el saneamiento de sus vertidos. Con la implantación de estas estaciones depuradoras las 3 localidades podrán verter sus aguas tratadas al río Apatlaco sin dañar el medio ambiente y cumplir con la legislación vigente. Para este estudio, los 5 sistemas de regeneración cuyo objetivo es el saneamiento de las aguas residuales, son considerados como la alternativa cero dentro de este análisis técnico-económico.

Ahora bien, de acuerdo con la ubicación de los terrenos destinados para la implantación de los sistemas de regeneración, la tabla 5.2 describe los nombres de los sistemas, el caudal de diseño y las posibles alternativas de reutilización con base en las características de la zona de estudio. Para la población de Jiutepec se han considerado 5 posibles alternativas de reutilización, la población de Zacatepec presenta dos alternativas de reutilización importantes, mientras que para el poblado Emiliano Zapata solamente se ha identificado una alternativa.

Tabla 5. 2  
EDAR's proyectadas para las localidades en estudio, caudales y alternativas de reutilización.

Población	Sistemas de regeneración	Caudal (l/s)	Alternativa	Reutilización	Usuarios
Jiutepec	La gachupina	75	1	Industrial Acuícola	Fabrica textiles de Morelos S.A. (15 l/s) Estanques piscícolas de San Gaspar (60 l/s)
			2	Agrícola	Agricultores aguas abajo (75 l/s)
	Puente Blanco	150	3	Industrial agrícola	Fabrica textil "San Gaspar" (50 l/s) Agricultores aguas abajo (100 l/s)
			4	Agrícola	Agricultores aguas abajo (150 l/s)
	La gachupina y Puente Blanco	225	5	Industrial	Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca (225 l/s)
Zacatepec	Zacatepec	70	1	Industrial Agrícola	Ingenio Azucarero Emiliano Zapata (50 l/s) Jardines del Instituto Tecnológico (20 l/s)
			2	Agrícola Recreativo	Agricultores de la zona Sur (20 l/s) Jardines Balneario "San Nicolás" (50 l/s)
E. Zapata	Zapata	75	1	Agrícola	Agricultores de la zona nordeste (75 l/s)

Fuente: Visita de campo y entrevista con el Organismo Operador del estado de Morelos.

La calidad del agua residual urbana que se ha tomado de referencia para el diseño de los sistemas de regeneración, según los datos proporcionados por el Organismo Operador del Gobierno del Estado de Morelos es la misma para las 3 localidades.

Los criterios de reutilización para los usos agrícola y acuícola se establecieron conforme a las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) publicadas en el Diario Oficial de la Federación (DOF, 1997), que aplican en todo el territorio nacional. Para la reutilización industrial se utilizaron los criterios de la Dirección General de Construcción y Obras Hidráulicas del Distrito Federal (DGCOH), estos criterios ha sido creados por la DGCOH para la capital de la Republica

Mexicana, debido a la inexistencia de un criterio de reutilización industrial en el ámbito nacional (DGCOH, 1987). La tabla 5.3 resume estos valores.

Los valores correspondientes al afluente son típicamente representativos de una agua residual doméstica. Los parámetros de interés en reducir son: 1) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), 2) Sólidos Suspendidos Totales (SST), 3) Coliformes Fecales, 4) Grasa y aceites, 5) Nitrógeno y 6) Fósforo.

Los Límites máximos permisibles del vertido son establecidos por la autoridad en materia de agua, actualmente la Comisión Nacional del Agua (CNA) es quien desarrolla las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) donde se establecen los límites de vertido a diversos cuerpos receptores según el uso para el cual están destinados.

Tabla 5. 3  
Calidad del agua del afluente y criterios de calidad para las alternativas de reutilización.

Parámetro	Unidad	Afluente	Límite máximo permisible del vertido <sup>a</sup>	Criterios de calidad para la reutilización		
				Agricultura <sup>b</sup>	Acuicultura <sup>c</sup>	Industrial <sup>d</sup>
pH	unidades	6.7	5 – 10	5 – 10	1.00	5 – 8.3
DBO <sub>5</sub>	mg/l	342.6	75	-----	60	20
Turbiedad	NTU	N.D.	-----	-----	-----	10
Sólidos Suspendidos	mg/l	755	75	-----	60	500
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	< 1000000	1000	< 1,000	2,000	-----
Cuenta Estándar	Colonias/ml	N.D.	-----	-----	-----	2,000
Huevos de Helminto	Huevos Viables	N.D.	-----	1	-----	-----
Cloro Residual	mg/l	N.D.	-----	-----	15.00	0.2
Grasas y Aceites	mg/l	59.6	15	15	25	-----
Materia Flotante		N.D.	-----	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	N.D.	-----	-----	40	1,200
Nitrógeno Total	mg/l	15	40	-----	25	0.5
Fósforo Total	mg/l	5.5	20	-----	10	1

N.D. No Determinado.  
Fuente: a) Ley Federal de Derechos 1998 (CNA, 1998), b) y c) Norma Oficial Mexicana-001-ecol-1996 (DOF,1997), d) DGCOH, 1987.

Desde 1976 las autoridades mexicanas han venido realizando acciones para la prevención y control de la contaminación de las aguas, para lo cual se han emitido normas que a lo largo de estos años han sufrido modificaciones importantes. En un principio solamente se regulaban 5 parámetros siendo este el primer intento por controlar el vertido de contaminantes a los cuerpos receptores. Esta primera regulación perseguía alcanzar el saneamiento de las aguas residuales en el ámbito del tratamiento primario.

Posteriormente, la autoridad en materia hidráulica estableció las Condiciones Particulares de Descarga (CPD's). Estas condiciones fijaban para cada vertido que fuese registrado ante la autoridad, una calidad específica que el usuario debería cumplir para poder verter sus aguas a un cuerpo receptor.

A principios de la década de los 90, y debido a la dificultad administrativa para fijar la CPD's, se implantó un marco normativo que regulaba cada tipo de vertido. Es decir, dependiendo de la fuente contaminante existía una norma específica, así fueron creadas 44 Normas Oficiales Mexicanas (NOM) para los sectores industriales más importantes y para el control de los vertidos urbanos.

En 1996 son derogadas las 44 NOM y sustituidas por la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996. Esta nueva norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en los vertidos de aguas residuales a aguas y bienes nacionales. Esta regulación tiene un cambio de enfoque respecto a las anteriores al buscar regular los vertidos con base en el uso para el cual se destina el cuerpo receptor, independientemente de las características de la fuente contaminante. La NOM-001-ECOL-1996 es la que actualmente tiene vigencia dentro del marco legislativo y la que sirve como base para el canon de vertido que se establece en la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (LFDMA). Sin embargo, esta última normativa dejó fuera la valoración de parámetros determinantes como la Demanda Química de Oxígeno (DQO), lo que provoca un sesgo de control para algunos vertidos, sobre todo de tipo industrial.

Por lo tanto la inversión en un sistema de regeneración de aguas residuales diseñado para cumplir con la normativa vigente puede en el corto plazo volverse obsoleta, debido a los posibles cambios en la legislación, este es un riesgo que deberá considerarse en el momento de tomar una decisión. Así mismo debe tenerse en cuenta que el único beneficio privado que logra el inversionista al cumplir con la norma es no pagar el canon de vertido de aguas residuales (al que en México están sujetos también los municipios).

Por lo que respecta a los criterios de calidad para la reutilización estos se establecen tomando de referencia las necesidades del uso, lo que conlleva una menor incertidumbre en posibles cambios normativos. Sin embargo, el desarrollo de métodos analíticos como la absorción atómica, la resonancia magnética o la espectrometría de masas están permitiendo la caracterización y cuantificación de compuestos presentes en el agua que anteriormente no eran identificados, lo que induce a investigaciones acerca de la influencia de estos compuestos en los usos a los que se destine el agua.

Las operaciones unitarias empleadas para la regeneración de las aguas residuales son una serie de procedimientos comunes, independientes entre sí, encaminados a eliminar una sustancia específica por desplazamiento de dicha sustancia al ambiente o bien por su transformación en otras sustancias inocuas, que son alojadas en la misma agua regenerada o en los fangos producidos.

Estas operaciones unitarias comprenden procesos físicos, biológicos y fisicoquímicos cuya colocación en serie forma una línea de tratamiento. El orden de dicha línea establece

primeramente la eliminación de sólidos grandes y pequeños, la eliminación de materia orgánica y finalmente la remoción de sustancias específicas para el pulimento del efluente final. La tabla 5.4 presenta el detalle de las líneas de regeneración propuestas.

La función del pretratamiento es eliminar las partículas grandes y basura acarreada por el sistema de alcantarillado. Usualmente está formado por el cribado y la desarenación.

La sedimentación primaria consiste en la eliminación por gravedad de los sólidos sedimentables de las aguas residuales. Usualmente se realiza en tanques circulares de sección cónica, provistos de rastras perimetrales, o bien en tanques de sección rectangular mediante rastras accionadas por cadenas, con tolvas en la cabecera para recoger los fangos.

El tratamiento secundario es el conjunto de operaciones unitarias encaminadas a remover la materia orgánica coloidal y soluble por medio de procesos biológicos, ya sean aerobios o anaerobios. Finalmente, el tratamiento terciario es el conjunto de operaciones unitarias encaminadas a remover sustancias específicas del agua que no son removidas por los tratamientos previos.

Tabla 5. 4  
Sistemas de tratamiento propuestos para la línea líquida.

Nivel	Unidad de Tratamiento	Saneamiento	Usos						
			Agrícola			Industrial			Acuícola
			AG-1	AG-2	AG-3	IT-1	IT-2	IT-3	AC-1
Preliminar	Pretratamiento	•	•	•	•	•	•	•	•
Primario	Sedimentación primaria	•	•	•	•	•	•	•	•
Secundario	Aireación convencional		•				•		
	Zanja de oxidación				•				
	Laguna anaerobia			•					
	Laguna Facultativa			•					
	Laguna de maduración			•					
	Filtro rociador			•				•	
	Disco biológico	•							•
	Sedimentación secundaria	•							
Terciario	Coagulación-floculación		•	•		•	•	•	•
	Filtración		•	•		•	•	•	•
	Cloración	•	•	•		•	•	•	•

Los contaminantes presentes en el agua residual son trasladados a los fangos o lodos. Si estos fangos no son tratados y estabilizados adecuadamente, se incurrirá en un daño al medio ambiente y como consecuencia se provocará una externalidad negativa. La tabla 5.5 describe las líneas propuestas para el tratamiento de los fangos. Se proponen 4 alternativas de tratamiento (la alternativa III y la de saneamiento son la misma) con las cuales se obtendrán residuos inocuos y físicamente manejables.

Las líneas para la estabilización de los fangos consideran tratamientos aerobios o anaerobios, los primeros implican menos costes de inversión pero mayores costes de explotación, mientras que para los segundos la situación es inversa. El secado de los fangos contempla la filtración y

los lechos de secado, el uso de la filtración implica mayor tecnificación y consumo de energía, mientras que en los lechos de secado la condicionante para su implantación es la disponibilidad de terreno.

Tabla 5. 5  
Sistemas de tratamiento propuestos para la línea de fangos.

Unidades de tratamiento	Alternativas				
	Saneamiento	I	II	III	IV
Espesador por gravedad	•	•	•	•	•
Digestión anaerobia		•	•		
Digestión aerobia	•			•	•
Filtros prensa	•	•		•	
Lechos de secado			•		•
Acarreo de lodos a relleno	•	•	•	•	•

Las propuestas para los sistemas de tratamiento de la línea de fangos buscan primeramente reducir el volumen acuoso, posteriormente estabilizar biológicamente el fango, para finalmente eliminarle un alto porcentaje de agua con el objeto de obtener una masa sólida, que permita su acarreo a terrenos de cultivo.

Una vez establecidas las líneas de tratamiento, el siguiente paso es su diseño y dimensionamiento con lo cual se obtendrán los volúmenes de obra que se requieren para realizar los SRRAR propuestos, así como identificar los diferentes equipos y accesorios necesarios para la instalación y su puesta en funcionamiento.

Para diseñar y dimensionar los SRRAR se recurrió al uso del simulador de diseño para Estaciones Depuradoras CAPDET-PC, el cual es un programa de ordenador modular multiusos. Este simulador requiere para su ejecución: 1) el caudal, 2) la calidad del afluente, 3) la calidad del efluente, y 4) la línea de tratamiento de aguas residuales propuesta. A partir de esta información, el simulador calcula y diseña el sistema de regeneración determinando todos los costes privados para cada alternativa de tratamiento (Hydromantis, 2002).

## 5.2 Materiales y métodos.

### 5.2.1 Materiales

La información que será utilizada para esta evaluación ha sido obtenida a partir del informe técnico: "Tecnología de punta para el reúso de aguas residuales en México. Investigación y factibilidad" desarrollado por Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 1998) para la Gerencia de Estudios para el Desarrollo Hidráulico Integral de la CNA.

A partir de esta información se han extraído los costes privados para los SRRAR que incluyen los costes de inversión, así como los costes de explotación y mantenimiento. El anexo 5.A resume los costes privados de todas las alternativas propuestas de los sistemas de

regeneración y reutilización de las aguas residuales para las ciudades de Jiutepec, Zacatepec y Emiliano Zapata. Esta será la información base para ser utilizada en la metodología que a continuación se desarrolla.

### 5.2.2 Métodos

Este método consiste en la identificación, periodicidad, cuantificación y valoración de los impactos del proyecto, para un ámbito determinado y respecto a un agente en específico. Estos impactos son agregados a una evaluación que combina el análisis coste-eficiencia (ACE), el Análisis Coste-Beneficio (ACB) y la técnica del Valor Actual Neto (VAN) con el fin de establecer la viabilidad económica de las alternativas propuestas técnicamente, así como determinar la alternativa que proporcione el máximo beneficio.

#### 5.2.2.1 Definición de objetivos

El objetivo del presente análisis técnico-económico es identificar la alternativa tecnológica para la regeneración y reutilización de las aguas residuales que permite maximizar la diferencia entre los ingresos y los costes asociados con la producción del agua regenerada y su posterior reutilización, de acuerdo con la ecuación 1. El agente que realiza la elección entre alternativas tecnológicas es el Organismo Operador del Gobierno del Estado de Morelos. Este criterio de optimización económica fue seleccionado debido a su intuitiva interpretación, así como a su aplicabilidad en el problema que se presenta.

La función objetivo a optimizar es:

$$MAX B_T = \sum_{n=0}^n [(VAR_n * PV_n) - (CI_n + CEM_n + CFin_n + IMP_n) + (EP_n - EN_n) - CO_n] \quad (1)$$

De donde:

$B_T$  = Beneficio Total

$VAR$  = Volumen anual de Agua Regenerada

$PV$  = Precio de Venta del Agua Regenerada

$CI$  = Costes de Inversión

$CEM$  = Costes de Explotación y Mantenimiento

$CFin$  = Costes Financieros

$IMP$  = Impuestos

$EP$  = Externalidades Positivas del impacto  $ep_j$

$EN$  = Externalidades Negativas del impacto  $en_j$

$CO$  = Coste de Oportunidad

$n$  = Año

### 5.2.2.2 Definición del ámbito de estudio

El ámbito de estudio se centra en la microcuenca del río Apatlaco.

### 5.2.2.3 Los impactos del proyecto

El análisis de los impactos considerados dentro de esta investigación se describen en la tabla 5.6, los cuales han sido recogidos y analizados con la experiencia profesional de los que intervienen en esta investigación (ver IMTA, 2002), a continuación se detallan las principales características por cada grupo de los impactos analizados:

- **Infraestructura hidráulica.-** Se refiere a los efectos relacionados con la implantación y explotación de la infraestructura relacionada con la producción y distribución del agua regenerada. A este impacto corresponden las inversiones que son necesarias realizar para la implantación del SRRAR o el sistema de depuración para el saneamiento, así como todos los costes de explotación y mantenimiento para el funcionamiento del sistema. Todos estos costes son privados y su determinación es producto de los presupuestos del proyecto.
- **Acondicionamiento y reutilización de contaminantes.-** Dentro de este grupo se considera el posible impacto por la reutilización y comercialización de dos componentes del agua residual en usos agrícolas: 1) el nitrógeno existente en el agua regenerada y 2) los fangos estabilizados.

Para el caso de la reutilización del nitrógeno contenido en el agua regenerada, se ha considerado que el aporte efectivo es de 20 mg/l.

Por lo que respecta a la reutilización del fango estabilizado, los proyectos desarrollados solamente consideran la estabilización para su disposición en un lugar inocuo. Ninguno de los proyectos desarrollados considera la producción de compost para su posterior comercialización, a pesar de que el uso del compost es una práctica muy común en la zona de estudio, para esta evaluación no se cuantificará y valorará la reutilización de los fangos producidos.

- **Uso del recurso.-** En este grupo consideramos los efectos producidos por el aumento en la disponibilidad de agua. El SRRAR proporcionará agua en cantidad y calidad suficiente, así como garantizar el suministro al 100%. Para lo cual consideramos los costes de obtención, distribución y de derechos de uso del agua procedente de una fuente convencional.

Sin embargo, la coyuntura de disponer de agua provoca un coste de oportunidad que debe ser considerado, debido a la posibilidad de destinar dicho recurso hacia otras actividades más productivas. Por este motivo el coste de oportunidad por el aumento en la disponibilidad de agua será incluido dentro de este análisis.

Tabla 5. 6  
Análisis de los impactos considerados dentro de la investigación (Elaboración propia).

Grupo de Impacto	Impacto Implicados	Identificación		Periodicidad		Cuantificación	
		Negativo (Costes)	Positivo (Ingresos)	Negativo (Costes)	Positivo (Ingresos)	Negativo (Costes)	Positivo (Ingresos)
Infraestructura hidráulica	El tratamiento y/o vertido del agua residual.	Depuración de las aguas residuales		Inversión Inicial y durante la vida útil de proyecto		11.66 hm <sup>3</sup> anuales de agua depurada <sup>(a)</sup>	
	La regeneración y reutilización del agua residual.	Producción y distribución de agua regenerada		Inversión Inicial y durante la vida útil de proyecto		11.66 hm <sup>3</sup> anuales de agua regenerada <sup>(a)</sup>	
Acondicionamiento y reutilización de contaminantes	Fertilizantes (nitrógeno)		Aporte de nutrientes agrícolas		Durante la vida útil de proyecto		233 toneladas anuales de fertilizante
	Los fangos		Aporte de nutrientes agrícolas		Durante la vida útil de proyecto		No cuantificado
Uso del recurso	La cantidad de agua.	Oportunidad de disponer agua para otra actividad más rentable	Aumento de la disponibilidad del recurso	Durante la vida útil de proyecto	Durante la vida útil de proyecto	11.66 hm <sup>3</sup> anuales disponibles	11.66 hm <sup>3</sup> anuales disponibles
	Las garantías de suministro.		Fiabilidad en suministro de agua		Durante la vida útil de proyecto		100% garantía en suministro
	La calidad del agua.		Calidad que satisface las necesidades de uso.		Durante la vida útil de proyecto		90% de Confianza en la calidad producida
La salud pública	Los riesgos Biológicos		Disminución de las enfermedades de origen hídrico		Durante la vida útil de proyecto		No cuantificado
Medio ambiente	El agua subterránea.		Aumento de los niveles freáticos		Durante la vida útil de proyecto		No cuantificado
	La contaminación de las masas de agua.		Mejora de la calidad del agua superficial		Durante la vida útil de proyecto		8,689 toneladas de SST removido
Educación	Cultura del agua.		Sensibilización a la cultura de la regeneración y reutilización del agua residual		Durante la vida útil de proyecto		No cuantificado

(a) Capacidad Instalada de las EDAR's de Jiutepec, Zacatepec y Emiliano Zapata.

Nota: La valoración de los impactos deberá estar homogenizada de tal manera que los costes e ingresos estén anualizados a lo largo de la vida útil del proyecto y expresados en U.M. por unidad de volumen (m<sup>3</sup>).

- La salud pública.- Dentro de este grupo de impactos se encuentran las posibles afectaciones que los contaminantes físico-químicos y biológicos pueden causar a la salud pública de los habitantes de la región. En México existen zonas geográficas con serios problemas de salud pública relacionados con enfermedades de origen hídrico, ejemplo de ello es la epidemia del cólera que reapareció en 1991 en una comunidad rural del Estado de México, que había estado ausente del territorio nacional por más de un siglo. En 1991 se identificaron 2,690 casos en 17 estados, la mayoría de ellos del centro, sur y sureste del país.

La enfermedad tuvo un comportamiento ascendente hasta alcanzar el mayor número de casos en 1995 (16,430); a partir de esa fecha, la notificación se redujo drásticamente, con 71 casos en 1998, nueve en 1999 y cinco en el 2000. La última muerte por ésta enfermedad ocurrió en noviembre de 1997, siendo 1993 el año en que se registró el mayor número de defunciones (198). Desde el inicio de la epidemia, y hasta el año 2000, la entidad federativa de Morelos notificó casos durante nueve años. El análisis del comportamiento de la enfermedad en el período de 1995 al 2000 mostró que en Morelos, hubo 23 municipios repetidores, es decir, el 70% (SSA, 2001).

Uno de los vectores relacionados con este tipo de epidemias son las aguas residuales sin tratamiento, sin embargo determinar la correlación directa entre aguas residuales y enfermedad es complicado y más aun determinar los costes sanitarios relacionados con la falta de saneamiento, por tal motivo este impacto no es valorado dentro de esta evaluación.

- Medio ambiente.- Dentro de este grupo se han considerado los siguientes dos impactos:
  - 1) El aumento en el nivel freático de los acuíferos por la disminución de las extracciones. Los acuíferos de esta zona de estudio se encuentran en equilibrio o sobre-explotados, sin embargo es necesario establecer un modelo hidrogeológico que permita determinar el impacto que tendrá la sustitución de aguas subterráneas por aguas regeneradas en estos acuíferos. Debido a la falta de información este impacto no se ha cuantificado, ni valorado económicamente.
  - 2) La disminución en la contaminación de las masas de agua. Respecto a la contaminación de las masas de agua, la CNA considera al río Apatlaco como una fuente de suministro apta solamente para algunos sectores industriales y cultivos agrícolas, pues para los usos público-urbano, recreativo, pesca y vida acuática el río no cumple con la calidad para poder ser utilizado. La implantación de los SRRAR para las tres ciudades en estudio evitará verter al río 8,689 toneladas de sólidos suspendidos totales (SST). Se propone que la valoración económica de esta mejora en la calidad del agua superficial sea mediante el método de los

costes evitados o inducidos, tomando de referencia el canon de vertido establecido en la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (CNA, 1998).

- Educación.- En este apartado de impactos se considera el efecto debido a la sensibilización hacia una cultura por la regeneración y reutilización del agua residuales. La implantación de este tipo de SRRAR pueden estimular el uso del agua regenerada como una fuente alternativa de suministro, sin embargo debido a la complejidad para evaluar este tipo de impactos éste no será incluido dentro de la evaluación.

#### **5.2.2.4 Identificación de los agentes implicados**

Del análisis de los impactos, se desprende que los agentes implicados en el ámbito de estudio son:

1. El Organismo Operador del Gobierno del estado de Morelos.
2. Los usuarios agrícolas aguas abajo de los sistemas de regeneración de: “La gachupina” y “Puente Blanco” en Jiutepec. El Instituto Tecnológico y los agricultores aguas abajo del sistema de regeneración de Zacatepec. Y finalmente, los agricultores aguas abajo del sistema de regeneración del poblado de Emiliano Zapata.
3. Los usuarios industriales de la fabrica textiles de Morelos S.A. y la fabrica textil de San Gaspar en el municipio de Jiutepec, el ingenio azucarero Emiliano Zapata del municipio del mismo nombre y la ciudad industrial del Valle de Cuernavaca (CIVAC).
4. Los usuarios recreativos del balneario “San Nicolás”, en el municipio de Zacatepec.
5. Los usuarios acuícolas de los estanques piscícolas de San Gaspar, en Jiutepec.

#### **5.2.2.5 Estudio de las necesidades financieras**

De acuerdo con la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos es responsabilidad de los municipios el proporcionar a la población de los servicios de agua potable y saneamiento. Los Organismos Operadores de Agua Potable y Saneamiento son las entidades responsables de proporcionar estos servicios al municipio, y por lo general los organismos son entes descentralizados de la administración municipal.

El estudio considera una financiación del 100% con capital social, a partir de la aportación de fondos públicos. La tasa del coste de capital real es del 12%, la cual es una tasa para el coste de capital social considerada para la evaluación de proyectos por parte del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua durante el primer semestre del año 1998, esta tasa es considerada por algunos autores (Katz y Ramiro, 1997) para la evaluación de la concesión privada de infraestructuras públicas en México.

### 5.2.2.6 Agregación de costes e ingresos

- Selección de tecnología (costes privados)

Los costes descritos en el anexo 5.A corresponden a los costes privados. A partir de esta información, se busca determinar el coste por metro cúbico, el cual lo consideramos igual al Precio Mínimo de Venta (*PMV*) que garantice la recuperación de los costes.

Así pues, el *PMV* se define como el precio mínimo al cual el agente debe vender el agua regenerada para garantizar la recuperación de los costes y el beneficio esperado, de tal forma que la inversión realizada sea rentable bajo el criterio del Valor Actual Neto (*VAN*). En un proceso de optimización y cuando el mercado presenta condiciones de competencia perfecta, se puede considerar a este coste por metro cúbico como una aproximación del Coste Marginal (*CMg*). Este precio se calcula a partir del algoritmo representado en la figura 4.5 descrito en el capítulo 4. En el anexo 5.A se presentan los supuestos sobre los cuales se ha calculado el Coste por metro cúbico (tabla 5.23) para cada alternativa propuesta, y los resultados de la ejecución del modelo (tabla 5.24 a tabla 5.28).

Las tecnologías seleccionadas fueron aquellas con el coste por metro cúbico más bajo de cada una de las opciones de reutilización evaluadas, siguiendo de esta forma el principio del análisis coste-eficiencia (OCDE, 2002). La tabla 5.7 resume las tecnologías elegidas para las poblaciones de Jiutepec, Zacatepec y Emiliano Zapata, respectivamente.

Tabla 5. 7  
Descripción de cada SRRAR seleccionado y el Coste Por metro cúbico  
de las cada una de las alternativas propuestas.

Población	Sistemas de regeneración	Caudal (l/s)	Alternativa	Reutilización	Línea Líquida <sup>(a)</sup>	Línea de Lodos <sup>(b)</sup>	Coste/m <sup>3</sup> <sup>(c)</sup> (USD/m <sup>3</sup> )
Jiutepec	La gachupina	75	0	Saneamiento	P,SP,BD,SS,CL	E, DA, FP	0.3741
			1	Industrial y Acuícola	P, SP, ZO, CF,F, CL	E, DA, LS	0.3513
			2	Agrícola	P, LA, LF, LM	----	0.1441
	Puente Blanco	150	0	Saneamiento	P,SP,BD,SS,CL	E, DA, FP	0.2146
			3	Industrial y agrícola	P, SP, ZO, CF,F, CL	E, DA, LS	0.2346
			4	Agrícola	P, LA, LF, LM	----	0.0902
La gachupina y Puente Blanco	225	0	Saneamiento	P,SP,BD,SS,CL	E, DA, FP	0.2678	
		5	Industrial	P, SP, ZO, CF,F, CL	E, DA, LS	0.2751	
Zacatepec	Zacatepec	70	0	Saneamiento	P,SP,BD,SS,CL	E, DA, FP	0.4703
			1	Industrial y Agrícola	P, SP, AC, CF,F, CL	E, DA, LS	0.3413
			2	Agrícola y Recreativo	P, LA, LF, LM	----	0.1146
E. Zapata	Zapata	75	0	Saneamiento	P,SP,BD,SS,CL	E, DA, FP	0.4592
			1	Agrícola	P, LA, LF, LM	----	0.1269

(a) P= Pretratamiento, SP= Sedimentación Primaria, BD= Biodiscos, AC= Aireación Convencional, LA= Laguna Anaerobia, LF= Laguna Facultativa, LM= Laguna de Maduración, SS= Sedimentación Secundaria, CF= Coagulación-Floculación, F= Filtración, CL= Cloración  
(b) E= Espesamiento por gravedad, DA= Digestión Aerobia, FP= Filtros Prensa, LS= Lechos de Secado.  
(c) Costes en USD de 1998. Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (1998).

- Ingresos

Los impactos que proporcionan algún ingreso al proyecto son:

1. Aporte de nutrientes agrícolas en el agua regenerada.
2. Aporte de nutrientes agrícolas en el fango estabilizado.
3. Aumento de la disponibilidad de agua.
4. Fiabilidad en suministro de agua.
5. Calidad del agua que satisface las necesidades de uso.
6. Disminución de las enfermedades de origen hídrico.
7. Aumento de los niveles freáticos.
8. Mejora de la calidad del agua superficial.
9. Sensibilización a la cultura de la regeneración y reutilización del agua residual.

De estos 9 puntos solamente son valorados económicamente: 1) el aporte de nutrientes en el agua regenerada, 2) el aumento en la disponibilidad de agua y 3) la mejora en la calidad del agua superficial.

- 1) Aporte de nutrientes en el agua regenerada.- Para valorar este impacto se ha empleado la técnica del coste sustituto (Edwards-Jones, 2000). Esta técnica consiste en la valoración de un bien o servicio ambiental por el coste de un sustituto, para lo cual el sustituto deberá: 1) proporcionar la misma función que el bien o servicio sustituido, 2) el sustituto debe ser de un menor coste alternativo y 3) la buena disponibilidad del usuario por pagar la sustitución. El cultivo predominante en los terrenos de la zona de estudio es la caña de azúcar, este cultivo demanda de 50 kg de nitrógeno por hectárea y una lamina de agua de 176 cm/ha, el precio del fertilizante nitrogenado en 1998 era de 2,040 USD/ha (FIRA, 1998). De esta información se concluye que considerando 20 mg/l de nitrógeno aprovechable del agua regenerada, el ahorro en fertilización sería de 0.102 USD/m<sup>3</sup>.
- 2) Aumento en la disponibilidad de agua.- Este impacto será valorado económicamente bajo la técnica del coste sustituto, descrito en el punto anterior. Una estrategia comercial es ofertar el agua regenerada al mismo precio que el agua que se obtiene de una fuente convencional, con el fin de poder competir en el mercado. Los costes que implican la producción del agua procedente de una fuente convencional están dados por: 1) el coste para la obtención y distribución de agua y 2) el coste por el derecho al aprovechamiento del agua proveniente de la fuente convencional establecidos en la Ley Federal de Derechos. La tabla 5.8 describe estos costes y su cálculo se detalla en el anexo 5.B.

De esta manera el ingreso máximo que se podrá obtener por la venta de agua regenerada estará definido por el coste total del agua de la fuente convencional según la reutilización que se realice. Este ingreso lo definimos como Ingreso de Venta Máximo (*IVM*).

Tabla 5. 8  
Ingresos de Venta Máximos de agua regenerada.

Reutilización	USD/m <sup>3</sup>		
	Coste de obtención y distribución de agua de una fuente convencional <sup>(a)</sup>	Coste por los derechos de aprovechamiento de una fuente convencional <sup>(b)</sup>	Coste Total (USD/m <sup>3</sup> )
Industrial	0.1938	0.3168	0.5106
Acuícola	0.1938	0.0734	0.2672
Recreativo	0.1938	0.3012	0.4950
Agrícola	0.1938	0.0000	0.1938

a) Según datos proporcionados por el Organismo Operador del Gobierno del Estado de Morelos.  
b) Ley Federal de Derechos en Materia de Agua de 1998, CAPITULO VIII Agua (CNA, 1998).

Sin embargo la reutilización del agua regenerada, en algunos casos, es destinada a más de un uso por lo que es necesario ponderar el ingreso. La tabla 5.9 presenta el Ingreso Ponderado Máximo (*IPM*) que se podría obtener para cada uno de los SRRAR propuestos.

Tabla 5. 9  
Ingreso Ponderado Máximo para cada SRRAR propuestos.

Población	Sistemas de regeneración	Caudal (l/s)	Alternativa	Reutilización	Caudal Reutilizado	Factor de Ponderación	IVM USD/m <sup>3</sup>	IPM USD/m <sup>3</sup>	
Jiutepec	La gachupina	75	1	Industrial	15	0.20	0.5106	0.3159	
				Acuícola	60	0.80	0.2672		
	Puente Blanco	150	2	Agrícola	75	1.00	0.1938	0.1938	
				3	Industrial	50	0.33		0.5106
					Agrícola	100	0.67		0.1938
	4	Agrícola	150	1.00	0.1938	0.1938			
La gachupina y Puente Blanco	225	5	Industrial	225	1.00	0.5106	0.5106		
Zacatepec	Zacatepec	70	1	Industrial	50	0.71	0.5106	0.4201	
				Agrícola	20	0.29	0.1938		
			2	Agrícola	20	0.29	0.1938	0.4089	
				Recreativo	50	0.71	0.4950		
E. Zapata	Zapata	75	1	Agrícola	75	1.00	0.1938	0.1938	

Este *IPM* esta determinado por la ponderación en función del caudal demandado (ver tabla 5.2) y el *IVM* correspondiente para la reutilización respectiva (ver tabla 5.8). Por ejemplo para la alternativa 1 de Jiutepec, cuyo caudal de diseño es de 75 l/s, se tienen dos usos (industrial y acuícola) y cada uno de ellos demanda un caudal de 15 l/s y 60 l/s respectivamente, así mismo el *IVM* para cada uno de estos usos es industrial 0.5106 USD/m<sup>3</sup> y para el acuícola 0.2672 USD/m<sup>3</sup>. De tal forma que el Ingreso Posible Máximo estará dado por:

$$IPM = \left[ \left( \frac{Caudal_{industrial}}{Caudal_{diseño}} * 100 \right) * IVM_{industrial} + \left( \frac{Caudal_{acuicola}}{Caudal_{diseño}} * 100 \right) * IVM_{acuicola} \right]$$

$$IPM = \left[ \left( \frac{15}{75} * 100 \right) * 0.5106 + \left( \frac{60}{75} * 100 \right) * 0.2672 \right] = 0.3159$$

- 3) Mejora de la calidad del agua superficial.- La valoración económica de este impacto se realiza mediante la técnica del coste de reemplazo o restauración (Edwards-Jones, 2000). Este método de valoración se fundamenta en calcular el actual o potencial coste por la limpieza del medio ambiente, para este caso de estudio, los derechos por descarga de aguas residuales estas establecidos bajo este criterio, por lo que serán tomados de referencia para calcular este ingreso.

Las localidades estudiadas no cuentan con ningún sistema de saneamiento en este momento, motivo por el cual el Organismo Operador esta obligado al pago por derechos de descarga (canon de vertido), tal y como lo establece la LFDMA de 1998, en su capítulo XIV, "Derecho por Uso o Aprovechamiento de bienes del Dominio Público de la Nación como Cuerpos Receptores de las Descargas de Aguas Residuales". Así pues, según el cálculo que se detalla en el anexo 5.B, el Organismo Operador deberá pagar al Gobierno Federal 0.2236 USD/m<sup>3</sup>. El Organismo Operador al implantar el SRRAR evitará este pago.

- Costes

Los grupos de impactos que producen algún coste en este proyecto son: 1) la infraestructura hidráulica y 2) el uso del recurso.

- 1) Infraestructura hidráulica.- De las 57 posibles alternativas a ser implantadas han sido seleccionadas 13 alternativas que corresponden a los sistemas de más bajo coste por metro cúbico para cada alternativa de reutilización y saneamiento, la tabla 5.10 resume estos costes.

Tabla 5. 10  
Costes por metro cúbico para cada SRRAR propuestos.

Población	Sistemas de regeneración	Caudal (l/s)	Alternativa	Reutilización	Coste/m <sup>3</sup> (a) (USD/m <sup>3</sup> )
Jiutepec	La gachupina	75	0	Saneamiento	0.3741
			1	Industrial y Acuícola	0.3513
			2	Agrícola	0.1441
	Puente Blanco	150	0	Saneamiento	0.2146
			3	Industrial y agrícola	0.2346
			4	Agrícola	0.0902
La gachupina y Puente Blanco	225	0	Saneamiento	0.2678	
		5	Industrial	0.2751	
Zacatepec	Zacatepec	70	0	Saneamiento	0.4703
			1	Industrial y Agrícola	0.3413
			2	Agrícola y Recreativo	0.1146
E. Zapata	Zapata	75	0	Saneamiento	0.4592
			1	Agrícola	0.1269

(a) Calculado a partir de la información del anexo 4.B. Los costes están en USD de 1998.  
Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (1998).

- 2) Uso del recurso.- Consideramos como el coste de oportunidad (*CO* de la ecuación 1), aquel coste o pérdida en el que incurre el agente inversor por dejar de invertir en aquella alternativa que le reporte un mayor rendimiento. Así pues el *CO* se determinará por la diferencia entre el ingreso máximo ponderado (ver tabla 5.9) de las alternativas en estudio por municipio, y el ingreso de cada una de las alternativas estudiadas. La tabla 5.11 presenta los costes de oportunidad para cada una de las alternativas propuestas.

Tabla 5. 11  
Coste de Oportunidad para cada SRRAR propuestos.

Población	Sistemas de regeneración	Caudal (l/s)	Alternativa	Reutilización	IPM (USD/m <sup>3</sup> )	Coste de Oportunidad (USD/m <sup>3</sup> )
Jiutepec	La gachupina	75	0	Saneamiento	0	0.5106
			1	Industrial y Acuícola	0.3159	0.1947
			2	Agrícola	0.1938	0.3168
	Puente Blanco	150	0	Saneamiento	0	0.5106
			3	Industrial y agrícola	0.2994	0.2112
			4	Agrícola	0.1938	0.3168
La gachupina y Puente Blanco	225	0	Saneamiento	0	0.5106	
		5	Industrial	0.5106	0	
Zacatepec	Zacatepec	70	0	Saneamiento	0	0.4201
			1	Industrial y Agrícola	0.4201	0
			2	Agrícola y Recreativo	0.4089	0.0112
E. Zapata	Zapata	75	0	Saneamiento	0	0.1938
			1	Agrícola	0.1938	0

- Beneficios.

Una vez identificados, cuantificados y valorados económicamente los impactos existentes en el proyecto estos son agregados para determinar el beneficio total. Todos los impactos están expresados en USD por metro cúbico, las tablas 5.12 a 5.16 recogen las valoraciones económicas de los impactos, tanto negativos como positivos, para cada una de las alternativas propuestas, así como el beneficio total que se obtiene de cada SRRAR.

Tabla 5. 12  
Resumen de la valoración de los impactos para el SRRAR de la Gachupina, Jiutepec.

Grupo de Impacto	Alternativa					
	0		1		2	
	Saneamiento		Ind. y Acuícola		Agrícola	
	Costes	Ingresos	Costes	Ingresos	Costes	Ingresos
Infraestructura hidráulica (ver tabla 5.10)	0.3741		0.3513		0.1441	
Acondicionamiento y reutilización de contaminantes (punto 1 los ingresos)						0.1020
Uso del recurso (ver tablas 5.9 y 5.11)	0.5106		0.1947	0.3159	0.3168	0.1938
La salud pública		N.V.		N.V.		N.V.
Medio ambiente (ver anexo 5.B)		0.2236		0.2236		0.2236
Educación		N.V.		N.V.		N.V.
<b>Total</b>	0.8847	0.2236	0.5460	0.5395	0.4609	0.5194
<b>Beneficio Total</b>	-0.6611		-0.0065		0.0585	

N.V.- No Valorado. Todas las cantidades están expresadas en USD/m<sup>3</sup> del año 1998.

Tabla 5. 13

Resumen de la valoración de los impactos para el SRRAR de Puente Blanco, Jiutepec.

Grupo de Impacto	Alternativa					
	0		3		4	
	Saneamiento		Ind. y Agrícola		Agrícola	
	Costes	Ingresos	Costes	Ingresos	Costes	Ingresos
Infraestructura hidráulica (ver tabla 5.10)	0.2146		0.2346		0.0902	
Acond. y reut. de contaminantes (punto 1 ingresos)				0.0683		0.1020
Uso del recurso (ver tablas 5.9 y 5.11)	0.5106		0.2112	0.2994	0.3168	0.1938
La salud pública		N.V.		N.V.		N.V.
Medio ambiente (ver anexo 5.B)		0.2236		0.2236		0.2236
Educación		N.V.		N.V.		N.V.
<b>Total</b>	0.7252	0.2236	0.4458	0.5913	0.407	0.5194
<b>Beneficio Total</b>	-0.5016		0.1455		0.1124	

N.V.- No Valorado. Todas las cantidades están expresadas en USD/m<sup>3</sup> del año 1998.

Tabla 5. 14

Resumen de la valoración de los impactos para el SRRAR de la Gachupina y Puente Blanco, Jiutepec.

Grupo de Impacto	Alternativa			
	0		5	
	Saneamiento		Industrial	
	Costes	Ingresos	Costes	Ingresos
Infraestructura hidráulica (ver tabla 5.10)	0.2678		0.2751	
Acond. y reut. de contaminantes (punto 1 ingresos)				
Uso del recurso (ver tablas 5.9 y 5.11)	0.5106			0.5106
La salud pública		N.V.		N.V.
Medio ambiente (ver anexo 5.B)		0.2236		0.2236
Educación		N.V.		N.V.
<b>Total</b>	0.7784	0.2236	0.2751	0.7342
<b>Beneficio Total</b>	-0.5548		0.4591	

N.V.- No Valorado. Todas las cantidades están expresadas en USD/m<sup>3</sup> del año 1998.

Tabla 5. 15

Resumen de la valoración de los impactos para el SRRAR de Zacatepec, Jiutepec.

Grupo de Impacto	Alternativa					
	0		1		2	
	Saneamiento		Ind. y Agrícola		Agrícola y Recreativo	
	Costes	Ingresos	Costes	Ingresos	Costes	Ingresos
Infraestructura hidráulica (ver tabla 5.10)	0.4703		0.3413		0.1146	
Acond. y reut. de contaminantes (punto 1 ingresos)				0.02958		0.02958
Uso del recurso (ver tablas 5.9 y 5.11)	0.4201			0.4201	0.0112	0.4089
La salud pública		N.V.		N.V.		N.V.
Medio ambiente (ver anexo 5.B)		0.2236		0.2236		0.2236
Educación		N.V.		N.V.		N.V.
<b>Total</b>	0.8904	0.2236	0.3413	0.67328	0.1258	0.66208
<b>Beneficio Total</b>	-0.6668		0.3320		0.5363	

N.V.- No Valorado. Todas las cantidades están expresadas en USD/m<sup>3</sup> del año 1998.

Tabla 5. 16

Resumen de la valoración de los impactos para el SRRAR de Zapata, Jiutepec.

Grupo de Impacto	Alternativa			
	0		1	
	Saneamiento		Agrícola	
	Costes	Ingresos	Costes	Ingresos
Infraestructura hidráulica (ver tabla 5.10)	0.4592		0.1269	
Acondicionamiento y reutilización de contaminantes (punto 1 los ingresos)				0.102
Uso del recurso (ver tablas 5.9 y 5.11)	0.1938			0.1938
La salud pública		N.V.		N.V.
Medio ambiente (ver anexo 5.B)		0.2236		0.2236
Educación		N.V.		N.V.
<b>Total</b>	0.653	0.2236	0.1269	0.5194
<b>Beneficio Total</b>	-0.4294		0.3925	

N.V.- No Valorado. Todas las cantidades están expresadas en USD/m<sup>3</sup> del año 1998.

### 5.2.2.7 Análisis de sensibilidad

Para el análisis de sensibilidad se seleccionaron las alternativas con el mayor beneficio total, así del municipio de Jiutepec se seleccionó la alternativa 5 con un beneficio total de 0.4591 USD/m<sup>3</sup>, la alternativa 2 de Zacatepec con un beneficio total de 0.5363 USD/m<sup>3</sup> y la alternativa 1 del municipio de Emiliano Zapata con un beneficio total de 0.3925 USD/m<sup>3</sup>, tal y como se aprecia en las tablas 5.12 a 5.16. El análisis permite evaluar la sensibilidad del modelo a los cambios en algunas de las principales variables que intervienen en la producción de agua regenerada. Las variables seleccionadas para realizar el análisis de sensibilidad son: 1) tasa de descuento, 2) amortización fiscal, 3) coste de oportunidad, 4) vida útil del proyecto y 5) precio del agua regenerada (zonas de disponibilidad). Las tablas 5.17 a la 5.21 recogen los ingresos, costes y Valor Actual Neto (VAN) al modificar estas variables.

Tabla 5. 17  
Análisis de sensibilidad para diferentes tasas de descuento en los SRRAR seleccionados.

Tasa de Descuento (%)	Jiutepec			Zacatepec			Zapata		
	Industrial			Agrícola y Recreativo			Agrícola		
	Ingresos (USD/m <sup>3</sup> )	Costes <sup>(a)</sup> (USD/m <sup>3</sup> )	VAN (USD/m <sup>3</sup> )	Ingresos (USD/m <sup>3</sup> )	Costes <sup>(a)(b)</sup> (USD/m <sup>3</sup> )	VAN (USD/m <sup>3</sup> )	Ingresos (USD/m <sup>3</sup> )	Costes <sup>(a)</sup> (USD/m <sup>3</sup> )	VAN (USD/m <sup>3</sup> )
0	0.7342	0.1518	0.5824	0.6621	0.0502	0.6119	0.5194	0.0428	0.4766
2	0.7342	0.1700	0.5642	0.6621	0.0614	0.6007	0.5194	0.0552	0.4642
5	0.7342	0.1985	0.5357	0.6621	0.0789	0.5832	0.5194	0.0747	0.4447
10	0.7342	0.2519	0.4823	0.6621	0.1115	0.5506	0.5194	0.1110	0.4084
15	0.7342	0.3116	0.4226	0.6621	0.1481	0.5140	0.5194	0.1517	0.3677
20	0.7342	0.3757	0.3585	0.6621	0.1873	0.4748	0.5194	0.1954	0.3240

(a) Coste/m<sup>3</sup> calculado a partir del algoritmo de la figura 4.5  
(b) Coste/m<sup>3</sup> más el Coste de Oportunidad

Tabla 5. 18  
Análisis de sensibilidad para diferentes tasas de amortización en los SRRAR seleccionados.

Tasa de amortización (%)	Jiutepec			Zacatepec			Zapata		
	Industrial			Agrícola y Recreativo			Agrícola		
	Ingresos (USD/m <sup>3</sup> )	Costes <sup>(a)</sup> (USD/m <sup>3</sup> )	VAN (USD/m <sup>3</sup> )	Ingresos (USD/m <sup>3</sup> )	Costes <sup>(a)(b)</sup> (USD/m <sup>3</sup> )	VAN (USD/m <sup>3</sup> )	Ingresos (USD/m <sup>3</sup> )	Costes <sup>(a)</sup> (USD/m <sup>3</sup> )	VAN (USD/m <sup>3</sup> )
0	0.7342	0.3287	0.4055	0.6621	0.1586	0.5035	0.5194	0.1634	0.3560
5	0.7342	0.2989	0.4353	0.6621	0.1403	0.5218	0.5194	0.1431	0.3763
10	0.7342	0.2836	0.4506	0.6621	0.1309	0.5312	0.5194	0.1326	0.3868
20	0.7342	0.2751	0.4591	0.6621	0.1258	0.5363	0.5194	0.1269	0.3925
40	0.7342	0.2751	0.4591	0.6621	0.1258	0.5363	0.5194	0.1269	0.3925
60	0.7342	0.2751	0.4591	0.6621	0.1258	0.5363	0.5194	0.1269	0.3925
80	0.7342	0.2751	0.4591	0.6621	0.1258	0.5363	0.5194	0.1269	0.3925
100	0.7342	0.2751	0.4591	0.6621	0.1258	0.5363	0.5194	0.1269	0.3925

(a) Coste/m<sup>3</sup> calculado a partir del algoritmo de la figura 4.5  
(b) Coste/m<sup>3</sup> más el Coste de Oportunidad

Tabla 5. 19  
Análisis de sensibilidad para diferentes costes de oportunidad en los SRRAR seleccionados.

Coste de oportunidad (USD/m <sup>3</sup> )	Jiutepec			Zacatepec			Zapata		
	Industrial			Agrícola y Recreativo			Agrícola		
	Ingresos (USD/m <sup>3</sup> )	Costes <sup>(a)</sup> (USD/m <sup>3</sup> )	VAN (USD/m <sup>3</sup> )	Ingresos (USD/m <sup>3</sup> )	Costes <sup>(a)</sup> (USD/m <sup>3</sup> )	VAN (USD/m <sup>3</sup> )	Ingresos (USD/m <sup>3</sup> )	Costes <sup>(a)</sup> (USD/m <sup>3</sup> )	VAN (USD/m <sup>3</sup> )
0	0.7342	0.2751	0.4591	0.66208	0.1146	0.54748	0.5194	0.1269	0.3925
0.1	0.7342	0.3751	0.3591	0.66208	0.2146	0.44748	0.5194	0.2269	0.2925
0.2	0.7342	0.4751	0.2591	0.66208	0.3146	0.34748	0.5194	0.3269	0.1925
0.3	0.7342	0.5751	0.1591	0.66208	0.4146	0.24748	0.5194	0.4269	0.0925
0.4	0.7342	0.6751	0.0591	0.66208	0.5146	0.14748	0.5194	0.5269	-0.0075
0.5	0.7342	0.7751	-0.0409	0.66208	0.6146	0.04748	0.5194	0.6269	-0.1075
0.6	0.7342	0.8751	-0.1409	0.66208	0.7146	-0.05252	0.5194	0.7269	-0.2075
0.7	0.7342	0.9751	-0.2409	0.66208	0.8146	-0.15252	0.5194	0.8269	-0.3075

(a) Coste/m<sup>3</sup> calculado a partir del algoritmo de la figura 4.5 más el Coste de Oportunidad

Tabla 5. 20

Análisis de sensibilidad para diferentes tiempos en al vida útil de los SRRAR seleccionados.

Tiempo (Años)	Jiutepec			Zacatepec			Zapata		
	Industrial			Agrícola y Recreativo			Agrícola		
	Ingresos (USD/m <sup>3</sup> )	Costes <sup>(a)</sup> (USD/m <sup>3</sup> )	VAN (USD/m <sup>3</sup> )	Ingresos (USD/m <sup>3</sup> )	Costes <sup>(a) (b)</sup> (USD/m <sup>3</sup> )	VAN (USD/m <sup>3</sup> )	Ingresos (USD/m <sup>3</sup> )	Costes <sup>(a)</sup> (USD/m <sup>3</sup> )	VAN (USD/m <sup>3</sup> )
15	0.7342	0.2911	0.4431	0.66208	0.1355	0.52658	0.5194	0.1377	0.3817
20	0.7342	0.2751	0.4591	0.66208	0.1258	0.53628	0.5194	0.1269	0.3925
25	0.7342	0.2672	0.467	0.66208	0.1209	0.54118	0.5194	0.1215	0.3979
30	0.7342	0.263	0.4712	0.66208	0.1183	0.54378	0.5194	0.1186	0.4008
35	0.7342	0.2608	0.4734	0.66208	0.1169	0.54518	0.5194	0.1171	0.4023
40	0.7342	0.2595	0.4747	0.66208	0.1162	0.54588	0.5194	0.1162	0.4032
45	0.7342	0.2588	0.4754	0.66208	0.1157	0.54638	0.5194	0.1157	0.4037
50	0.7342	0.2584	0.4758	0.66208	0.1155	0.54658	0.5194	0.1154	0.404

(a) Coste/m<sup>3</sup> calculado a partir del algoritmo de la figura 4.5(b) Coste/m<sup>3</sup> más el Coste de Oportunidad

Tabla 5. 21

Análisis de sensibilidad para diferentes zonas de disponibilidad en los SRRAR seleccionados.

Zona de disponibilidad	Jiutepec			Zacatepec			Zapata		
	Industrial			Agrícola y Recreativo			Agrícola		
	Ingresos <sup>(a)</sup> (USD/m <sup>3</sup> )	Costes <sup>(b)</sup> (USD/m <sup>3</sup> )	VAN (USD/m <sup>3</sup> )	Ingresos <sup>(c)</sup> (USD/m <sup>3</sup> )	Costes <sup>(b) (d)</sup> (USD/m <sup>3</sup> )	VAN (USD/m <sup>3</sup> )	Ingresos <sup>(c)</sup> (USD/m <sup>3</sup> )	Costes <sup>(b)</sup> (USD/m <sup>3</sup> )	VAN (USD/m <sup>3</sup> )
1	1.4919	0.2751	1.2168	0.8809	0.1258	0.7551	0.5194	0.1269	0.3925
2	1.2770	0.2751	1.0019	0.8809	0.1258	0.7551	0.5194	0.1269	0.3925
3	1.1337	0.2751	0.8586	0.8809	0.1258	0.7551	0.5194	0.1269	0.3925
4	1.0084	0.2751	0.7333	0.8809	0.1258	0.7551	0.5194	0.1269	0.3925
5	0.8830	0.2751	0.6079	0.8809	0.1258	0.7551	0.5194	0.1269	0.3925
6	0.8382	0.2751	0.5631	0.8809	0.1258	0.7551	0.5194	0.1269	0.3925
7	0.7342	0.2751	0.4591	0.6608	0.1258	0.5350	0.5194	0.1269	0.3925
8	0.5300	0.2751	0.2549	0.5477	0.1258	0.4219	0.5194	0.1269	0.3925
9	0.5018	0.2751	0.2267	0.4949	0.1258	0.3691	0.5194	0.1269	0.3925

(a) Canon por el derecho de uso más Canon de vertido

(b) Coste/m<sup>3</sup> calculado a partir del algoritmo de la figura 4.3

(c) Canon por el derecho de uso más Canon de vertido más Acondicionamiento y reutilización de contaminantes

(d) Coste/m<sup>3</sup> más el Coste de Oportunidad

### 5.3 Resultados y discusión

La tabla 5.22 resume las 13 alternativas seleccionadas a partir de las 57 alternativas técnicamente viables que fueron propuestas para ser evaluadas en este estudio. La figura 5.3 representa los beneficios totales para las 13 alternativas seleccionadas. De estas las alternativas 3, 4 y 5 de Jiutepec reportan un beneficio positivo, así como las alternativas 1 y 2 de Zacatepec y la alternativa 1 de Emiliano Zapata. Es importante destacar que ninguna alternativa para el saneamiento (clasificadas como alternativas cero) son viables económicamente pues en todos los casos reportan pérdidas.

Respecto al análisis de sensibilidad se observa que:

- 1) Tasa de descuento. La figura 5.4 representa en el eje de las abscisas diferentes tasas de descuento y en el eje de las ordenadas el VAN. Para las 3 alternativas cuanto mayor es la tasa de descuento menores son los beneficios, así al pasar de una tasa de descuento del 12% al 20% la disminución para la alternativa de Jiutepec es del 22%, para Zacatepec del 11% y para Emiliano Zapata de 17%.

Tabla 5. 22

Resumen de las alternativas propuestas para el saneamiento de la cuenca del río Apatlaco.

Población	Sistemas de regeneración	Caudal (l/s)	Número de Alternativas	Alternativas Seleccionadas			
				No.	Reutilización	Línea líquida <sup>(a)</sup>	Línea de Lodos <sup>(b)</sup>
Jiutepec	La gachupina	75	18	0a	Saneamiento	P,SP,BD,SS,CL	E, DA, FP
				1	Industrial y acuícola	P, SP, ZO, CF,F, CL	E, DA, LS
				2	Agrícola	P, LA, LF, LM	----
	Puente Blanco	150	14	0b	Saneamiento	P,SP,BD,SS,CL	E, DA, FP
				3	Industrial y agrícola	P, SP, ZO, CF,F, CL	E, DA, LS
La gachupina y Puente Blanco	225	5	5	4	Agrícola	P, LA, LF, LM	----
				0c	Saneamiento	P,SP,BD,SS,CL	E, DA, FP
Zacatepec	Zacatepec	70	10	5	<b>Industrial</b>	P, SP, ZO, CF,F, CL	E, DA, LS
				0	Saneamiento	P,SP,BD,SS,CL	E, DA, FP
				1	Industrial y agrícola	P, SP, AC, CF,F, CL	E, DA, LS
E. Zapata	Zapata	75	10	2	<b>Agrícola y Recreativo</b>	P, LA, LF, LM	----
				0	Saneamiento	P,SP,BD,SS,CL	E, DA, FP
<b>Total de Alternativas</b>				<b>13</b>	(a) P= Pretratamiento, SP= Sedimentación Primaria, BD= Biodiscos, ZO= Zanjas de Oxidación, AC= Aireación Convencional, LA= Laguna Anaerobia, LF= Laguna Facultativa, LM= Laguna de Maduración, SS= Sedimentación Secundaria, CF= Coagulación-Floculación, F= Filtración, CL= Cloración (b) E= Espesamiento por gravedad, DA= Digestión Aerobia, FP= Filtros Prensa, LS= Lechos de Secado.		

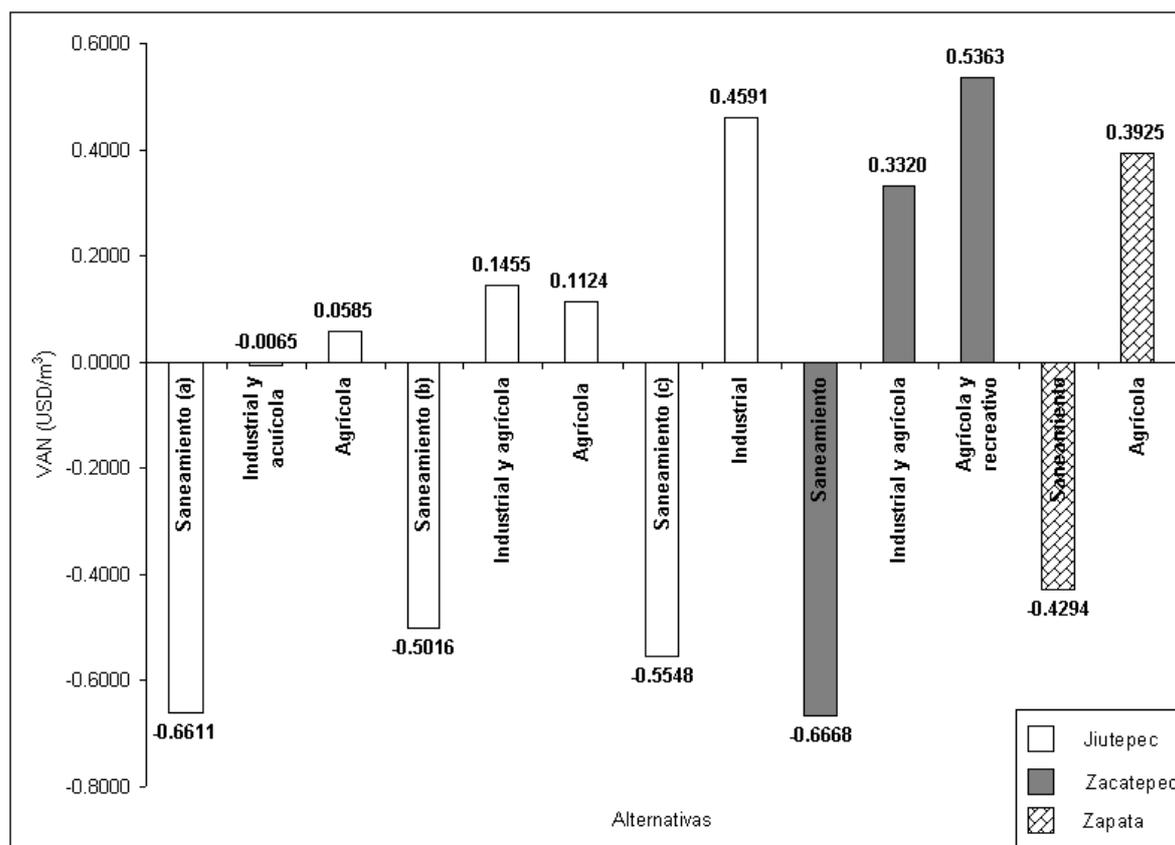


Figura 5. 3 Beneficio Total para cada alternativa propuesta.

- 2) Amortización. La figura 5.5 presenta el VAN para diferentes tasas de Amortización. El no amortizar fiscalmente los activos fijos de los SRRAR representan para las alternativas seleccionadas de Jiutepec, Zacatepec y Zapata una disminución en los beneficios totales del 12%, 6% y 9% respectivamente.
- 3) Coste de oportunidad. La figura 5.6 que presenta el gráfico del coste de oportunidad versus el VAN. Con un coste de oportunidad de 0.45 USD/m<sup>3</sup> para Jiutepec, 0.55 USD/m<sup>3</sup> para Zacatepec y 0.40 USD/m<sup>3</sup> para Emiliano Zapata los beneficios comienzan a ser negativos.
- 4) Vida útil del proyecto. La figura 5.7 presenta el comportamiento del VAN versus la vida útil del proyecto. El VAN aumenta al incrementar la vida útil del proyecto. Para Jiutepec, Zacatepec y Emiliano Zapata el evaluar el proyecto con una vida útil de 15 hasta 50 años reporta incrementos en los beneficios del 7%, 4% y 6% respectivamente.
- 5) Precio del agua regenerada. La Comisión Nacional del Agua (CNA) clasifica todos los cuerpos de agua, superficiales y subterráneos, en 9 zonas de disponibilidad dependiendo de varias características (entre ellas el tipo de usuario) de tal forma que este criterio permite fijar a la CNA un precio por el uso del recurso hídrico en México. Siendo la zona de disponibilidad numero 1 la más cara y la zona 9 la más barata. La figura 5.8 describe el comportamiento de las alternativas seleccionadas al evaluar el precio del agua regenerada. En el eje de las abscisas se representan las 9 zonas de disponibilidad según la LFDMA y en el de las ordenadas el VAN en USD/m<sup>3</sup>.

Para las 9 zonas de disponibilidad las 3 alternativas seleccionadas presentan un comportamiento irregular en los beneficios obtenidos. Para la alternativa de Jiutepec la disminución es gradual llegando a existir una diferencia entre la zona de disponibilidad 1 y la 9 del 81%. Mientras que para Zacatepec esta diferencia es del 51%, pero a partir de la zona 7 ya que entre la zona 1 y la 6 se mantiene constante. En Emiliano Zapata el beneficio total se mantiene constante debido a que el uso agrícola en México no tiene establecido un precio. El comportamiento tan diferente de las tres alternativas obedece a que para el caso de Jiutepec, la alternativa de reutilización es 100% industrial, este tipo de usuario, el industrial, es el único para el cual cada una de las 9 zonas de disponibilidad reporta una cuota por metro cúbico. Para el caso Zacatepec, la alternativa que reporta mayor beneficio es el agrícola / recreativo, el uso agrícola no tiene cuota establecida y el uso recreativo tiene la misma cuota para las zonas 1 a la 6, disminuyendo gradualmente para las zonas 7, 8 y 9. Esta situación es la que provoca para el caso de Zacatepec la disminución del beneficio de mantiene constante para las primeras 6 zonas. El caso del municipio de Emiliano Zapata es 100% reutilización agrícola.

## 5.4 Conclusiones

La baja disponibilidad de agua en algunas zonas de México esta provocando visualizar a la regeneración y reutilización de las aguas residuales como una alternativa que permita el abastecimiento de agua y la reducción de la contaminación, con la consecuente protección de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, tanto en cantidad como en calidad. Este estudio es una evaluación ex-ante cuya finalidad es proporcionar las herramientas necesarias, para que mediante criterios técnicos y económicos, se decida sobre la implantación de los SRRAR en la zona de estudio.

La metodología aplicada demuestra la viabilidad técnico-económica para la implantación de algunos de estos sistemas para las características de las zonas estudiadas, para lo cual se consideró la identificación, cuantificación y valoración económica de los diverso impactos, tanto privados como externos, seleccionando aquellas alternativas que proporcionaron el máximo beneficio total.

Las conclusiones de este estudio son las siguientes:

- a) El presente estudio deja de manifiesto la viabilidad técnico-económica de algunas de las alternativas de regeneración y reutilización propuestas para las condiciones de esta zona de estudio.
- b) Las alternativas más rentables son: En Jiutepec la alternativa para la reutilización industrial en el parque industrial de CIVAC (alternativa 5), con un beneficio máximo de 0.4591 USD/m<sup>3</sup>, para Zacatepec la reutilización agrícola de los usuarios de la zona sur del SRRAR, así como los usuarios del balneario “San Nicolás” (alternativa 2) en la cual el máximo beneficio es de 0.5363 USD/m<sup>3</sup>, y finalmente para la localidad de Emiliano Zapata la reutilización agrícola en la zona nordeste del SRRAR (alternativa 1) presenta el máximo beneficio que puede llegar hasta los 0.3925 USD/m<sup>3</sup>. Este estudio permite garantizar económicamente la viabilidad de estas alternativas. El análisis de sensibilidad deja de manifiesto que a pesar de una posible fluctuación, en las principales variables, el beneficio total de los SRRAR sigue siendo positivo.
- c) Con la finalidad de recobrar todos los costes privados correspondientes al SRRAR el precio mínimo de venta del agua regenerada que garantizará su recuperación es para la alternativa 5 de Jiutepec 0.2751 USD/m<sup>3</sup>, para la alternativa 2 de Zacatepec 0.1146 USD/m<sup>3</sup> y para la alternativa 1 de Emiliano Zapata 0.1269 USD/m<sup>3</sup>.
- d) A pesar de que no se han valorado económicamente todos los impactos, esto no afecta el resultado sobre la decisión de esta investigación, pues los impactos sin evaluar solo aumentarían la rentabilidad de los sistemas seleccionados.

e) Por lo que respecta al saneamiento ninguna de las alternativas propuestas es rentable, esta situación pone de manifiesto que la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua no estimula acciones para el saneamiento, pues es más rentable pagar por contaminar que por depurar las aguas residuales.

De estas conclusiones se desprenden las siguientes propuestas de política económica:

1. El Organismo Operador del estado de Morelos cuenta con un margen de negociación importante para poder comercializar el agua regenerada de las ciudades de Jiutepec, Zacatepec y Emiliano Zapata. Así mismo es importante que dicho organismo considere que de continuar con la situación de escasez de agua en la región es probable que en poco tiempo sean reajustadas las zonas de disponibilidad aumentando el precio de agua de las fuentes convencionales. Esta situación favorecería aun más las acciones de regeneración y reutilización de las aguas residuales.
2. Por lo que respecta al saneamiento este estudio refleja que la CNA tendría que replantear su política tarifaria respecto al instrumento económico sobre los derechos de descarga (canon de vertido), de lo contrario este instrumento tendrá simplemente un fin recaudatorio sin alcanzar el objetivo para el cual fue creado: el saneamiento de los cuerpos receptores.

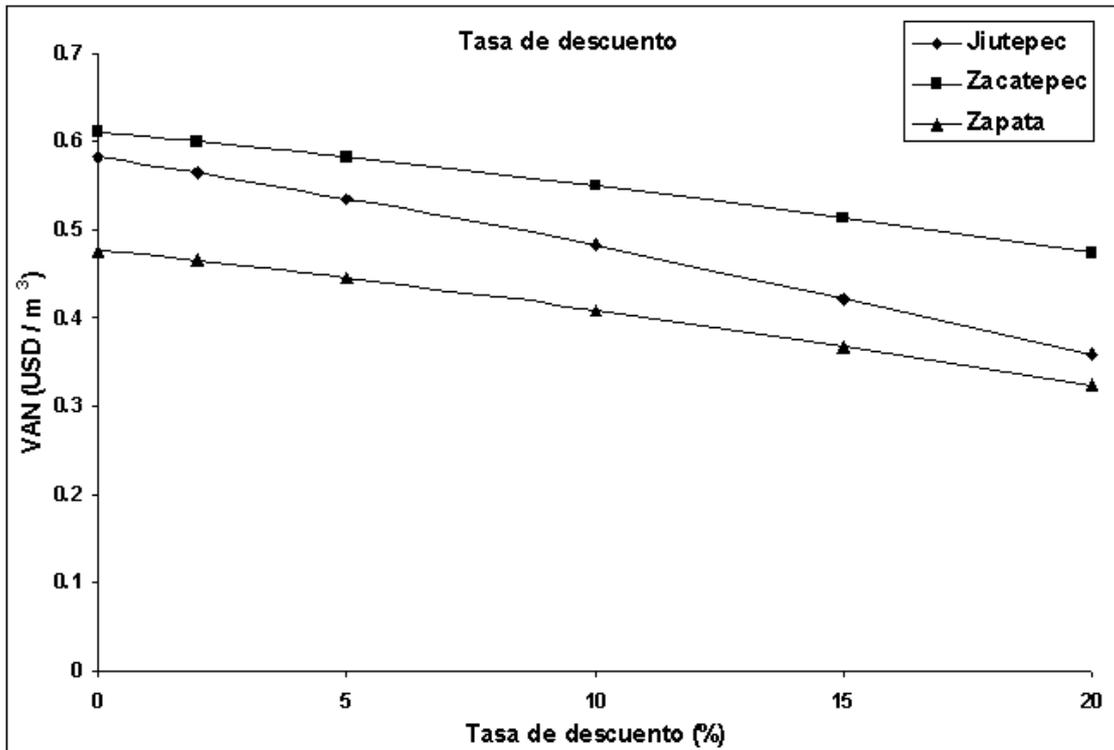


Figura 5. 4 Análisis de sensibilidad para la tasa de descuento.

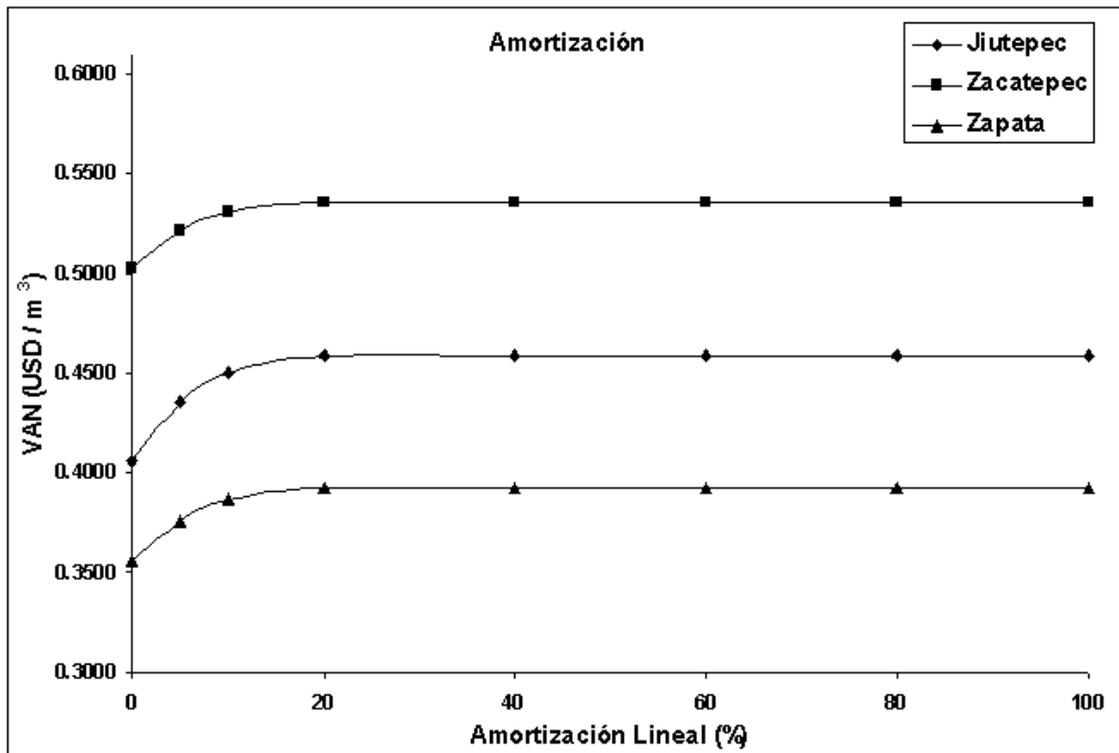


Figura. 5. 5 Análisis de sensibilidad para la amortización.

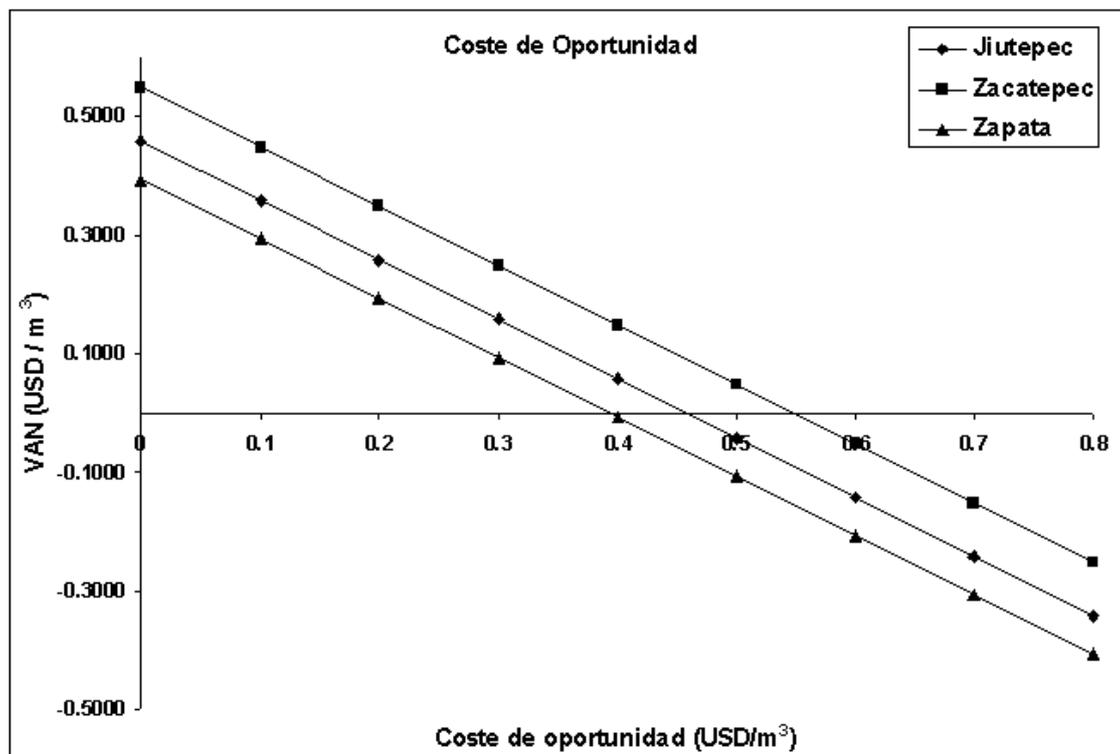


Figura. 5. 6 Análisis de sensibilidad para el coste de oportunidad.

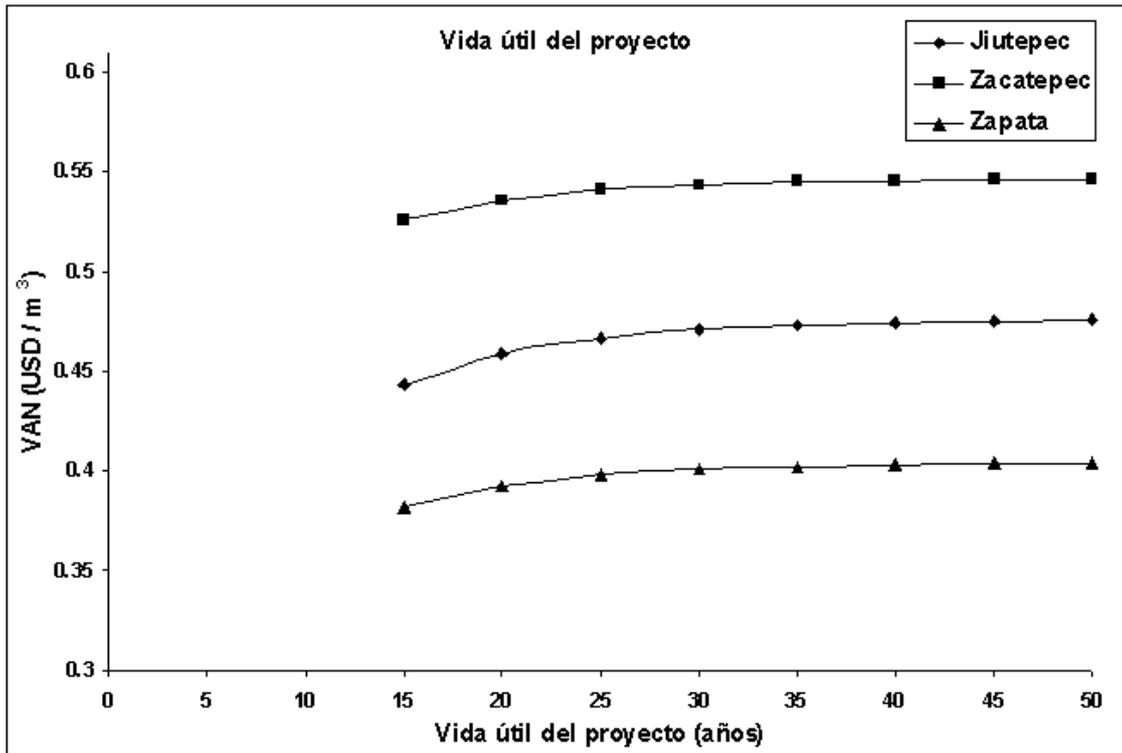


Figura 5. 7 Análisis de sensibilidad para la vida útil del proyecto

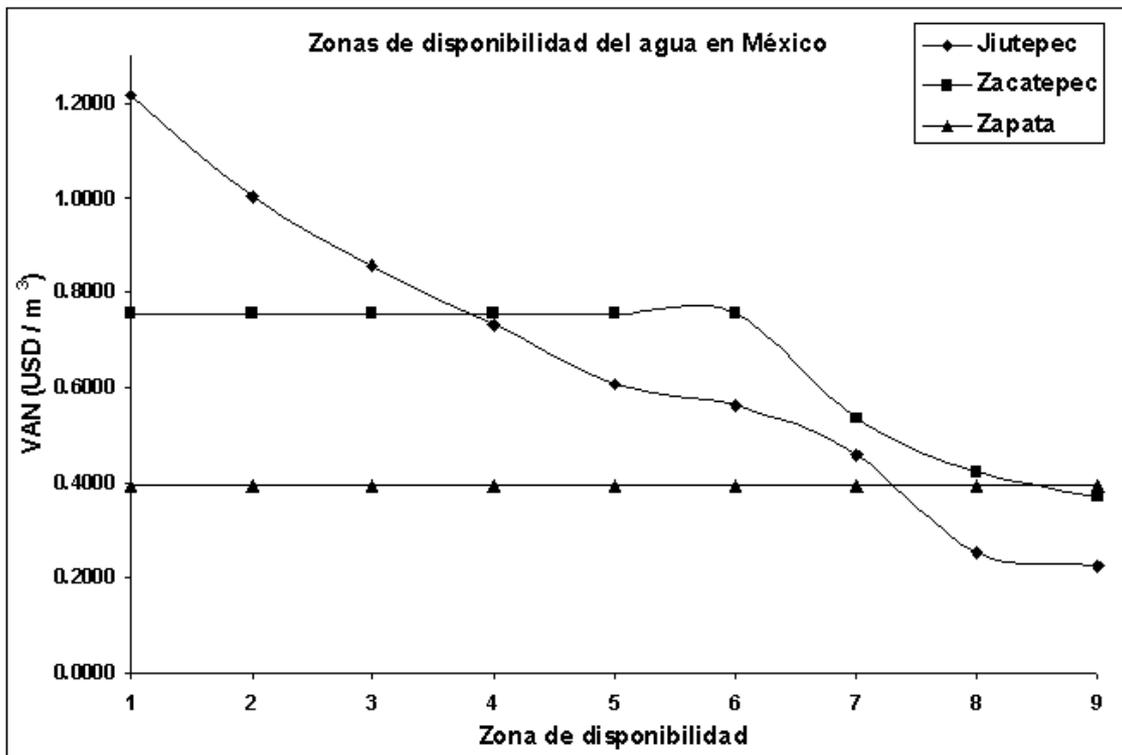


Figura. 5. 8 Análisis de sensibilidad para las zonas de disponibilidad del agua en México.

## Anexo 5.A.

## Costes de Tratamiento para las diferentes alternativas de reutilización de las aguas regeneradas de las localidades de Jiutepec, Zacatepec y Zapata.

Tabla 5. 23  
Datos iniciales para la ejecución del modelo

CARACTERÍSTICAS PROPIAS DEL PROYECTO			
Capacidad Instalada		Unidad	Cantidad
Jiutepec	"La gachupina" (alternativas 0,1 y 2)	l/s	75
	"Puente Blanco" (alternativas 0, 3 y 4)	l/s	150
	"La gachupina" y "Puente Blanco" (alternativas 0 y 5)	l/s	225
Zacatepec	Zacatepec (alternativas 0, 1 y 2)	l/s	70
Emiliano Zapata	Zapata (alternativas 0 y 1)	l/s	75
Vida útil del proyecto		Años	20
Tasa de descuento del proyecto		%	12.00
IMPUESTOS			
Impuesto <sup>(a)</sup>		%	32
Depreciación Fiscal (Lineal) <sup>(b)</sup>		%	100
FINANCIERA			
Deuda		%	0
Capital		%	100
Total		%	100
<p>a) Ley del Impuesto Sobre la Renta (SAT, 1998). Título II. Tasa de impuesto para personas morales. Artículo 10.- Las personas morales deberán calcular el impuesto sobre la renta, aplicando al resultado fiscal obtenido en el ejercicio la tasa del 32%.</p> <p>b) Ley del Impuesto Sobre la Renta (SAT, 1998). Porcentajes para depreciación de maquinaria y equipo. Artículo 41, párrafo XIV.- 100% en la conversión a consumo de gas natural y para prevenir y controlar la contaminación ambiental en cumplimiento de las disposiciones legales respectivas.</p>			

Tabla 5. 24  
Costes privados para las alternativas de los SRRAR de "La Gachupina" Jiutepec, Mor.

Alternativa	Reutilización	Línea Líquido	Línea de Lodos	Costes Privados		Coste/m <sup>3</sup> (USD/m <sup>3</sup> )
				Inversión (USD)	E y M (USD/año)	
0	Saneamiento	Jiu-ENP		3,951,796	266,029	0.3741
1	Industrial y Acuícola	IT-1	I	4,825,946	237,286	0.4198
			II	4,062,490	244,825	0.3724
			III	4,515,457	240,445	0.4006
			IV	3,740,958	245,205	0.3513
		AC-1	I	5,061,944	196,535	0.4182
			II	4,292,952	203,044	0.3700
			III	4,947,057	206,377	0.4147
			IV	4,170,447	210,779	0.3652
2	Agrícola	AG-A-1	I	4,975,730	250,736	0.4354
			II	4,227,878	261,245	0.3903
			III	4,565,305	260,384	0.4123
			IV	3,804,478	267,577	0.3650
		AG-A-2	I	5,079,427	184,412	0.4142
			II	4,307,705	192,424	0.3665
			III	4,926,002	194,862	0.4085
			IV	4,146,927	198,842	0.3586
AG-B-3	----	2,126,901	7,831	0.1441		
Costes en USD de 1998						
Área de Terreno necesaria para la reutilización Industrial y acuícola, según el simulador CAPDET 4.85 ha. Para la reutilización agrícola, en la alternativa AG-B-3, 10.10 ha.						

Tabla 5. 25

Costes privados para las alternativas de los SRRAR de "Puente Blanco" Jiutepec, Mor.

Alternativa	Reutilización	Línea Líquido	Línea de Lodos	Costes Privados		Coste/m <sup>3</sup> (USD/m <sup>3</sup> )
				Inversión (USD)	E y M (USD/año)	
0	Saneamiento	Jiu-ENP		4,608,711	293,615	0.2146
3	Industrial	IT-1	I	5,824,445	416,441	0.2808
			II	5,059,108	426,532	0.2576
			III	5,180,616	414,311	0.2590
			IV	4,401,496	420,859	0.2346
4	Agrícola	AG-A-1	I	6,194,865	468,159	0.3040
			II	5,487,020	489,201	0.2850
			III	5,751,641	485,537	0.2930
			IV	5,022,787	495,186	0.2709
		AG-A-2	I	6,701,210	281,472	0.2813
			II	5,902,505	285,366	0.2557
			III	6,385,498	288,087	0.2722
			IV	5,581,534	290,334	0.2461
AG-B-3	----	2,659,322	10,328	0.0902		

Área de Terreno necesaria para la reutilización Industrial y agrícola (AG-A-1 y 2), según el simulador CAPDET 5.66 ha. Para la reutilización agrícola, en la alternativa AG-B-3, 11.72 ha. Costes en USD de 1998

Tabla 5. 26

Costes privados para las alternativas de los SRRAR "La Gachupina" y "Puente Blanco", Jiutepec, Mor.

Alternativa	Reutilización	Línea Líquido	Línea de Lodos	Costes Privados		Coste/m <sup>3</sup> (USD/m <sup>3</sup> )
				Inversión (USD)	E y M (USD/año)	
0	Saneamiento	Jiu-ENP		8,560,507	559,644	0.2678
5	Industrial (CIVAC)	IT-1 225 (l/s)	I	10,723,492	653,727	0.3287
			II	9,194,699	671,357	0.2975
			III	9,769,174	654,756	0.3078
			IV	8,215,555	666,064	0.2751

Costes en USD de 1998

Tabla 5. 27

Costes privados para las alternativas de los SRRAR de Zacatepec, Mor.

Alternativa	Reutilización	Línea Líquido	Línea de Lodos	Costes Privados		Coste/m <sup>3</sup> (USD/m <sup>3</sup> )
				Inversión (USD)	E y M (USD/año)	
0	Saneamiento	Zac-BNP		5,871,891	118,839	0.4703
1		IT-2	I	4,376,828	239,443	0.4189
			II	3,621,913	249,080	0.3697
			III	3,953,937	247,937	0.3927
			IV	3,186,853	254,455	0.3413
		IT-3	I	4,473,641	181,214	0.3994
			II	3,696,010	186,581	0.3466
			III	4,330,245	188,969	0.3927
			IV	3,545,751	192,439	0.3386
2	Agrícola	AG-B-3	----	1,565,279	7,831	0.1146

Área de Terreno necesaria para la reutilización Industrial, según el simulador CAPDET 4.85 ha. Para la reutilización agrícola, en la alternativa AG-B-3, 10.12 ha. Costes en USD de 1998

Tabla 5. 28

Costes privados para las alternativas de los SRRAR de Zapata, Mor.

Alternativa	Reutilización	Línea Líquido	Línea de Lodos	Costes Privados		Coste/m <sup>3</sup> (USD/m <sup>3</sup> )
				Inversión (USD)	E y M (USD/año)	
0	Saneamiento	Zap-BNP		6,178,353	118,839	0.4592
1	Agrícola	AG-A-1	I	4,765,307	250,736	0.4214
			II	4,017,455	261,245	0.3764
			III	4,354,882	260,384	0.3984
			IV	3,594,055	267,577	0.3510
		AG-A-2	I	4,869,004	184,412	0.4003
			II	4,097,282	192,424	0.3526
			III	4,715,579	194,862	0.3945
			IV	3,936,504	198,842	0.3446
AG-B-3	----	1,866,478	7,831	0.1269		

Área de Terreno necesaria todos los casos 4.85 ha. Costes en USD de 1998

## Anexo 5.B.

### Calculo de los costes de obtención de agua proveniente de una fuente convencional y del canon de vertido del Organismo Operador de las localidades de Jiutepec, Zacatepec y Zapata.

- Costes de obtención de agua ( Datos proporcionados por el Organismo Operador):

Volumen Anual Extraído (VAE) = 4'105,576 m<sup>3</sup>

Gastos de explotación y mantenimiento = 4'992,246.00  
 Gastos de Administración = 1'382,253.00  
 Gastos Financieros = 9,164.00

T O T A L = 6'384,663.00

Coste de Obtención por m<sup>3</sup> = ( TOTAL / VAE ) = ( 6'384,663.00 / 4'105,576 )  
 = 1.55 \$/m<sup>3</sup> = 0.1938 USD/m<sup>3</sup>. (\*)

La tabla 5.29 presenta los valores estimados para los costes de obtención del agua de primer uso y los costes por el derecho al aprovechamiento.

Tabla 5. 29  
 Costes de obtención y aprovechamiento de la fuente convencional.

uso	Coste por obtención ( USD / m <sup>3</sup> )	Coste por aprovechamiento <sup>(a)</sup> ( USD / m <sup>3</sup> )	Coste total ( USD / m <sup>3</sup> )
Industrial	0.1938	0.3168	0.5105
Acuícola	0.1938	0.0734	0.2672
Recreativo	0.1938	0.3012	0.4949
Agrícola	0.1938	0.0000	0.1938

(a) Zona de Disponibilidad 7 de acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua de 1998. (CNA, 1998).

- Costes por descontaminar

Estos costes se calcularon con base en la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua de 1998, la tabla 5.30 resume los costes a pagar de acuerdo con la calidad del agua residual generada.

Tabla 5. 30  
 Costes de descarga según la calidad del agua residual establecida.

Parámetro	Calidad descargada (mg/l)	Límites máximos permisibles (mg/l)	Carga másica (kg)	Índice de incumplimiento	Cuota (\$)	Coste (\$)
GyA	60	15	26,244	3.00	3.89261	57,208.26
SST	755	150	440,316	4.03	4.23187	1,043,482.13
DBO	343	150	199,804	1.28	3.1248	349,635.18

Base de cálculo: Volumen trimestral descargado 583,200 m<sup>3</sup>

El monto mayor es el correspondiente a SST, por lo que se deberá pagar sobre esta cantidad.

Pago por derecho a descargar = \$ 1,043,482.13

Pago por derecho a descargar por m<sup>3</sup> = (1,043,482.13 / 583,200 ) = \$ 1.79/ m<sup>3</sup>

Pago por derecho a descargar por m<sup>3</sup> = 0.2236 USD/m<sup>3</sup> (\*)

(\*) coste de USD de 1998.

**Referencias**

- CNA (1992). *Ley de Aguas Nacionales*. Comisión Nacional del Agua. <http://www.cna.gob.mx>
- CNA (1998). *Ley Federal de Derechos*. Comisión Nacional del Agua México <http://www.cna.gob.mx>
- CNA (2002). Comisión Nacional del Agua. <http://www.cna.gob.mx>
- DGCOH.(1987). Análisis de factibilidad técnica, económica y operacional de aplicación de normas para el reúso de aguas residuales tratadas en el Distrito Federal. Departamento del Distrito Federal. DHTA. Contrato No. 7331- 721-1.2.México.
- DOF (1997). Norma Oficial Mexicana; NOM-001-ECOL-1996. Diario Oficial de la Federación del 6 de enero de 1997.
- Edwards-Jones G, Davies G y Hussain S. (2000). *Ecological Economics*, Blackwell Science, Londres, Inglaterra.
- FIRA (1998). Costos de cultivo. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. <http://www.fira.gob.mx>
- Gobierno del Estado de Morelos (2000). <http://e-municipios.e-morelos.gob.mx/>
- Hydromantis. (2002). Hydromantis, Inc. 1685 Main St. W., Suite 302, Hamilton, Ontario, Canada. <http://www.hydromantis.com>
- IMTA (1998). Tecnología de punta para el reúso de aguas residuales en México. Investigación y factibilidad. Proyecto TC9716. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Realizado para la CNA. Gerencia de Estudios para el Desarrollo Hidráulico Integral. Jiutepec, Mor. México. <http://www.imta.mx>
- IMTA (2002). Coordinación de tratamiento y calidad del agua. Subcoordinación de Tratamiento de Aguas Residuales. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Jiutepec, Morelos. Tel: +52 (777) 329-3622, Fax: +52 (777) 329-3622. Persona de contacto: Gabriela Moeller Chávez. Subcoordinadora. Correo electrónico: [gmoeller@tlaloc.imta.mx](mailto:gmoeller@tlaloc.imta.mx). Entrevista Personal. <http://www.imta.mx>
- Katz I. y Tovar R. (1997). The fiscal discount rate in México. ITAM.
- OCDE. (2002). Handbook of Biodiversity Valuation. A guide for policy makers. <http://www.oecd.org>
- SAT (1998). *Ley del Impuestos Sobre la Renta*. Servicio de Administración Tributaria. Secretaría de Hacienda y Crédito Público. <http://www.sat.gob.mx/nuevo.html>
- SSA (2001). Programa de Acción: Cólera. Subsecretaría de Prevención y Protección de la Salud. Secretaría de Salud. [www.ssa.gob.mx](http://www.ssa.gob.mx)