

Eficiencia en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

Contribución a la gestión y desarrollo
social

Marina Yolanda de la Vega Salazar

Indesol
Instituto Nacional de Desarrollo Social



Eficiencia en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

Contribución a la gestión y desarrollo social

Título derivado del proyecto “Estudio comparativo para evaluar eficiencia de plantas de tratamiento de aguas residuales y sistematización que contribuya al fortalecimiento de la gestión pública en materia de saneamiento de aguas residuales como promotor del desarrollo” registrado en el convenio 3DF09813-VI-DAJ/610/12.

Autora

Marina Yolanda de la Vega Salazar

REFUGIA CENTRO PARA LA CONSERVACIÓN DE LA ECOBIODIVERSIDAD A. C.

Colaboradores

Cesar Donovan L. Chávez Contreras

Jorge Eduardo Zamora Castro

Miguel Hermas Díaz Contreras

Leticia Álvarez Torres

Paulina González de la Vega

Leslie de la Vega Álvarez

Genny de la Vega Salazar

Galdy Hernández Zárate

Coordinación editorial

Victor Girón Ramírez

“Este material se realizó con recursos del programa de Coinversión Social, perteneciente a la Secretaría de Desarrollo Social. Empero la SEDESOL no necesariamente comparte los puntos de vista expresados por la autora del presente trabajo”

© REFUGIA CENTRO PARA LA CONSERVACIÓN DE LA ECOBIODIVERSIDAD A. C.

Norte 87-A 36 Col. Clavería

México Distrito Federal CP. 02080

Correo: refugia_a_c@yahoo.com.mx

México Distrito Federal

Primera edición: Noviembre 2012.

ISBN

Impreso y hecho en México

Agradecimientos

Agradezco a todas las personas que colaboraron en la realización de este proyecto:

Al Instituto Nacional de Desarrollo Social de la Secretaría de Desarrollo Social agradezco el financiamiento del proyecto a través del Programa de Coinversión Social 2012 Convocatoria: Vertiente Investigación para el Desarrollo Social.

A los directores y responsable de los sistemas operadores estatales y municipales, CNA-IFAI, Unidad de enlace y Dirección general de Obras y Conservación UNAM, que permitieron la obtención de muestras y/o información.

A los Ingenieros Fernando Ojeda Torres, Manuel Osés Pérez y Jorge Monreal Rocha por su apoyo en la gestión para las autorizaciones de los muestreos.

Especialmente agradezco al Ing. Guillermo Woo Gómez y a FIDERCO por su colaboración y su apoyo, así como al Ing. Alfonso Guzmán Delgado.

Índice

Introducción.....	11
I Situación de los recursos hídricos en México	
1.1 Panorama hídrico nacional.....	17
1.2 Contaminación del agua.....	21
1.3 Salud pública.....	27
1.4 Prioridades de agua y saneamiento.....	29
1.5 Referencias.....	32
II Importancia del agua como promotor de desarrollo social	
2.1 Agua de calidad un derecho humano y social.....	35
2.2 Importancia del saneamiento del agua en el desarrollo social.....	37
2.3 Indicadores de desarrollo social.....	38
2.4 Indicadores sociales.....	38
2.5 Consecuencias sociales de la falta de saneamiento.....	40
2.6 Derecho al agua.....	41
2.7 Desarrollo sustentable.....	43
2.8 Referencia.....	45
III Tipos de plantas de tratamiento que operan en México	
3.1 Tratamiento preliminar y primario.....	47
3.2 Tratamiento secundario.....	49
3.2.1 Reactores aerobios de biomasa en suspensión.....	50

3.2.2 Sistemas aerobios de biomasa fija.....	52
3.2.2.1 Filtros percoladores o rociadores.....	52
3.2.2.2. Discos biológicos rotativos.....	53
3.2.3 Sistemas anaerobios de biomasa no adherida.....	54
3.2.4 Sistemas anaerobios de biomasa fija.....	55
3.2.4.1 Reactores anaerobios de lechos fluidizados y expandidos.....	56
3.2.5 Sistemas combinados.....	56
3.3 Tratamiento terciario.....	58
3.4 Referencias.....	61

IV Problemática del saneamiento del agua en México

4.1 La situación actual.....	63
4.2 Situación del tratamiento de aguas municipales.....	64
4.3 Situación del tratamiento de aguas residuales industriales.....	66
4.4 Comparación de la cobertura entre comunidades urbanas y rurales.....	66
4.5 Nivel de saneamiento en el país.....	68
4.6 Causas del rezago en el tratamiento de aguas residuales.....	69
4.7 Experiencia de Regeneración y reutilización del agua.....	71
4.8 Referencias.....	73

V Estudio comparativo para evaluar eficiencia de plantas de tratamiento de aguas residuales

5.1 INTRODUCCIÓN.....	77
5.2 OBJETIVO.....	80
5.3 MATERIAL Y MÉTODOS.....	80

5.3.1 EFICIENCIA DE PLANTAS DE TRATAMIENTO.....	81
5.3.1.1 Remoción de contaminantes.....	81
5.3.1.2 Costos de operación de cada planta evaluada.....	81
5.3.1.3 Cálculo de Eficiencias.....	81
5.3.2 DETERMINACIONES ANALÍTICAS.....	82
5.3.2.1 Físicoquímicos.....	82
5.4 RESULTADOS.....	83
5.4.1 Sitios de estudio.....	83
5.4.2 Costos de operación de cada planta evaluada.....	88
5.4.3 Remoción de contaminantes por tipo de PTAR.....	89
5.4.4 Eficiencia de cada tipo de PTAR.....	96
5.4.4.1 Eficiencia en remoción de contaminantes.....	97
5.5 ANALISIS DE RESULTADOS.....	102
5.5.1 Capacidad de remoción de contaminantes.....	102
5.5.2 Eficiencias de Plantas de tratamiento de aguas residuales.....	103
5.6 Referencias.....	106

VI Discusión general

6.1 Situación de los recursos hídricos.....	107
6.2 Importancia del saneamiento.....	109
6.3 Gestión del agua.....	110
6.4 AGUAY DESARROLLO.....	111
6.4.1 Contribución a la salud pública.....	111
6.4.2 Contribución al desarrollo.....	112
6.5 Cultura de manejo sustentable del agua.....	113
6.6 Conclusiones.....	115

Introducción

La gestión de los recursos hídricos es un problema complejo debido a que intervienen factores naturales, socio-políticos, económico y culturales, y por muchos años las políticas han seguido un modelo de crecimiento económico basado en una continua extracción de recursos naturales por considerarlos inagotables y por suponer que el entorno natural (suelo, agua y bosque) tiene la capacidad de asimilar cualquier tipo y cantidad de contaminación. Ésta actitud ha resultado en una enorme pérdida y degradación de los cuerpos de agua, ocasionando el severo deterioro de la calidad del agua con impactos asociados a la salud y al medio ambiente, mismos que pueden agravarse ante los escenarios del calentamiento global.

Otro problema que hay que enfrentar es la creciente demanda de agua para satisfacer las necesidades de la población incluyendo el abasto de agua potable así como las necesidades agrícolas sin dejar de considerar las necesidades del medio ambiente.

A pesar de que se ha creado la legislación e instituciones públicas especialmente encargadas para la conservación de los recursos naturales y principalmente los recursos hídricos, en estudios previos realizados por la organización, se ha podido comprobar que el deterioro ambiental se ha incrementado considerablemente, poniendo en riesgo la salud de las poblaciones humanas y contribuyendo a la pérdida de importantes recursos naturales.

Lo más preocupante del severo deterioro encontrado, es determinar si en este punto hay la posibilidad de la recuperación de los ecosistemas. La pregunta es ¿cuántos recursos se deben invertir para recuperarlos? ¿Cuáles son las consecuencias de este deterioro?

Se puede decir que el tratamiento de las aguas residuales para reúso, reincorporación a los cuerpos de agua superficiales y re-infiltración a los mantos freáticos no es una opción generalizada en nuestro país. Ambientalmente, las plantas de tratamiento que existen tienen un grave impacto ya que utilizan en su mayoría tecnologías contaminantes, y requieren de pagar cuentas muy altas por el gasto en energía eléctrica, en insumos químicos y en la disposición de sus residuos. ¿Es esta la mejor opción para el manejo de las aguas residuales?

La escasez, el abuso del uso del agua y su contaminación, representan una amenaza seria y creciente al desarrollo social y económico. En este contexto es muy importante **impulsar medidas** que permitan recuperar y mantener los ecosistemas deteriorados y conservar los recursos naturales, entre los que podemos destacar al agua como recurso renovable e indispensable para la salud y el desarrollo económico, por ello es importante tener claro las causas de deterioro ambiental y planear las medidas necesarias para su recuperación y conservación.

Este documento permite identificar la problemática general del agua debido a la escasez y a la severa contaminación que enfrentan los cuerpos de agua por la continua descarga de aguas residuales tanto en pequeñas localidades como en centros urbanos de mayor tamaño. Se presentan los resultados de la evaluación de la eficiencia de plantas de tratamiento de aguas residuales con el fin de proponer el empleo de las mejores técnicas de saneamiento sustentables, accesibles y **eficientes** para las comunidades y que garanticen la conservación del recurso hídrico, y permitan establecer un balance

adecuado entre la disponibilidad, el uso y sobre todo, crear conciencia de la necesidad de garantizar su conservación y calidad, destacando la importancia de la participación social, así como establecer la posibilidad de crear redes que favorezcan el desarrollo sustentable de las regiones, que contribuyan al desarrollo social y económico.

El contenido del presente libro es parte de los resultados obtenidos en el proyecto “Estudio comparativo para evaluar eficiencia de plantas de tratamiento de aguas residuales y sistematización que contribuya al fortalecimiento de la gestión pública en materia de saneamiento de aguas residuales como promotor del desarrollo”, apoyado por el INDESOL en la convocatoria de Coinversión Social 2012.

OBJETIVOS

Revisar la problemática de los recursos hídricos y de la gestión del agua en el país.

Identificar la importancia del agua y el saneamiento en el desarrollo social.

Identificar los tipos de plantas de tratamiento que se encuentren operando en el país.

Determinar la eficiencia en la remoción de contaminantes en función de los costos de construcción y operación de los diferentes tipos de plantas de tratamiento que se encuentran operando en el país.

Sistematizar y difundir las experiencias de operación eficiente y exitosa de plantas de tratamiento que contribuya con la gestión pública y contribuyan a la mitigación, remediación y conservación de recursos hídricos, que pueden ser aplicables para enfrentar la problemática de cada localidad.

Dada la gran diversidad de sistemas de tratamiento de aguas residuales que existen, el presente libro tiene la finalidad de orientar en la toma de decisiones a profesionales del sector, proporcionando los elementos en cuanto a la eficiencia en la remoción de los contaminantes y financiera de las principales plantas de tratamiento que operan en el país, así como los elementos que les permitan implementar estas tecnologías de forma informada para que las obras sean sostenibles tanto técnica como económicamente.

Debido a los problemas que enfrentan los recursos hídricos en el país, se incluye la revisión de la situación del recurso a nivel nacional y los riesgos que implica para la población mantener las prácticas contaminantes del ambiente, buscando concientizar en la importancia del saneamiento de las aguas residuales con el fin de promover su conservación y una cultura de uso sustentable de los recursos naturales.

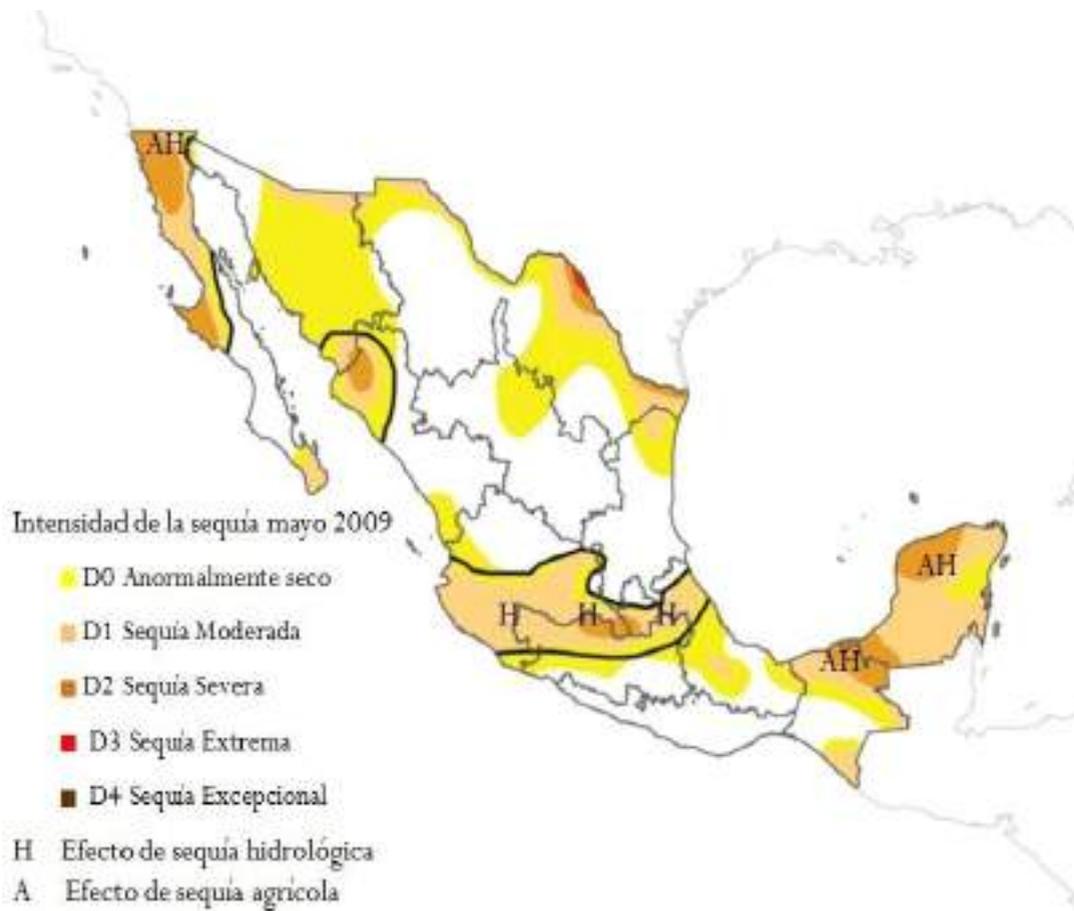
Esta obra no pretende agotar la temática de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, ya que hay mucha información al respecto y existen otros aspectos que es conveniente revisar como brindar una visión de los avances y problemas que existen en torno a la gestión del agua y sus implicaciones ambientales socio-económicas y culturales, además de difundir el uso de sistemas de tratamiento de las aguas residuales **eficientes y sustentables** y los beneficios que brindan, en salud pública, a nivel social, económicos y ambiental; esperando promover políticas públicas encaminadas a la conservación y uso sustentable de los recursos hídricos que promuevan el desarrollo social y la conservación de los recursos naturales.

I. Situación de los recursos hídricos en México

1.1 Panorama hídrico nacional

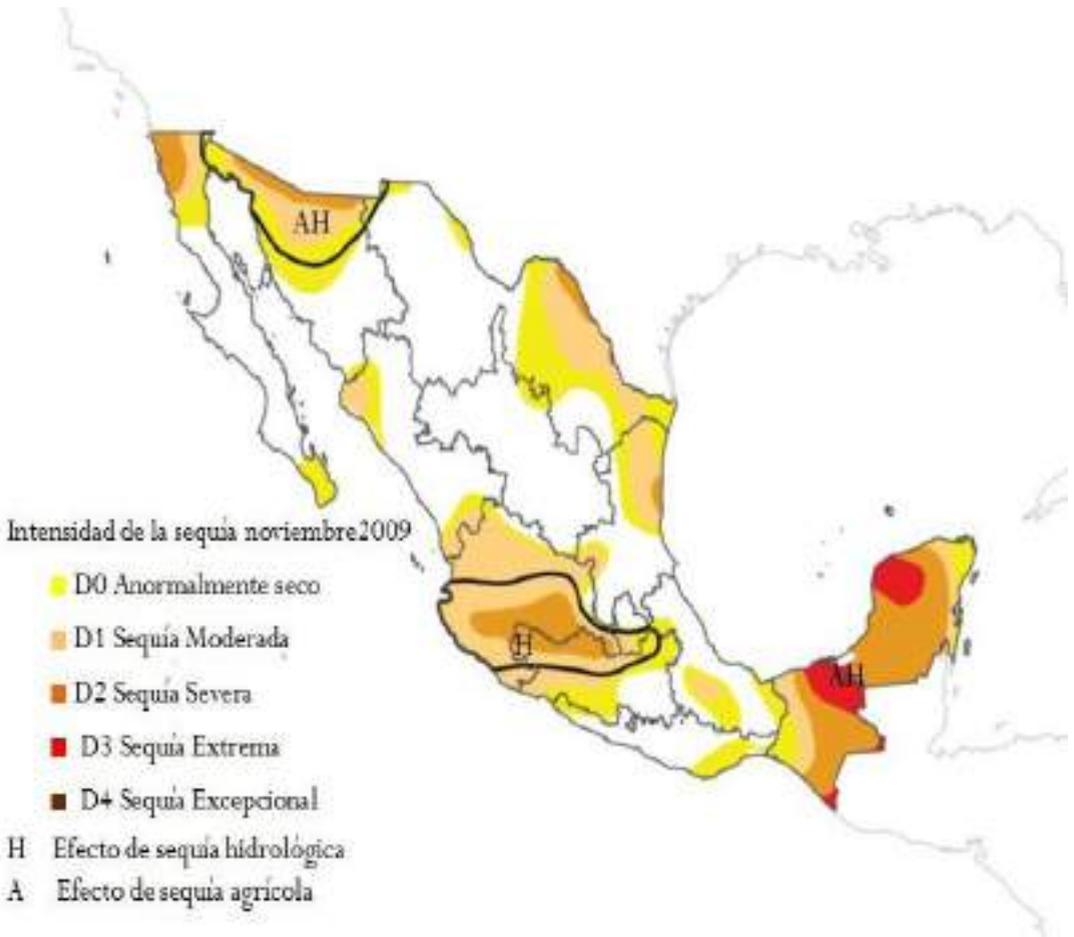
Uno de los principales problemas que enfrenta México es la desigual distribución del recurso hídrico a los largo del territorio; en la zona norte y centro el clima desértico y semiárido crean un escenario de escasez del recurso, ya que la época de lluvias tiene una duración promedio de cuatro meses lo que propicia una escasa captación. México se clasifica como un país predominantemente semiárido, acentuando la escasez del agua disponible para la mayoría de la población por la distribución de las fuentes naturales y lluvias. El promedio anual de precipitación es menor a 500 mm anuales en 52% del territorio, mientras que es mayor a 2,000 mm anuales en el 7% del territorio y sobrepasa los 3,200 mm al año sólo en la zona Sureste del país. Aunado a esto, del total de agua captada por lluvias, aproximadamente el 70% se evapora, todo esto hace que la disponibilidad del agua sea cada vez menor, a estas condiciones naturales se suman la sobrepoblación de las regiones centro y norte y la mayor actividad económica del país y las sequias prolongadas que se han presentado en los últimos años acentuando la escasez en el norte y centro del país principalmente (CNA 2010) como se aprecia en las figuras 1.1 y 1.2.

Figura 1.1 Condiciones de sequia al final de la temporada estival, 2009



Fuente: Conagua. Subdirección General de Programación. 2010. Elaborado a partir de: Conagua. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. 2010 (CNA 2010)

Figura 1.2 Condiciones de sequía al final de la temporada de lluvia, 2009



Fuente: Conagua. Subdirección General de Programación. 2010. Elaborado a partir de: Conagua. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. 2010. (CNA 2010)

Los recursos hídricos cada días más demandados enfrentan severos problemas entre los que podemos destacar:

- ❖ La sobreexplotación del agua subterránea y el hundimiento de la tierra.
- ❖ el riesgo de grandes sequias e inundaciones.
- ❖ el impacto de la creciente urbanización y el uso ineficiente del agua.
- ❖ uso de los cuerpos de agua para las descargas de basura, contaminantes y aguas residuales.
- ❖ un índice bajo de tratamiento de aguas residuales, baja calidad del agua y problemas de sanidad, la creciente demanda de los centros urbanos implica la importación de aguas de otras regiones y la recuperación limitada de costos.(Adams *et al.* 2009).

La Zona Central de México (ZCM) por su posición geográfica puede ser muy vulnerable al efecto del calentamiento global (CG) ya que se encuentra en la zona de transición entre la zona Neártica templada al norte del continente y el inicio de la zona tropical (Neotropical) al sur, que limitan en la cadena volcánica del país donde encuentran frontera las dos regiones, el mayor problema del CG puede ser el efecto en la diversidad biológica y los recursos naturales que pueden verse especialmente afectados y pueden ocasionar un problema grave en el futuro y agudizar los problemas de desertificación que ya existen.

Un síntoma temprano de la deficiencia regional de agua es la desecación de manantiales, en la región centro occidente la pérdida de manantiales se ha acelerado durante los últimos años. Un estudio reciente de la situación actual de manantiales en la región revela que solo el 20 % de una muestra de manantiales históricamente reportados se pueden considerar en buenas condiciones, mientras que el 68% están secos, por el incremento en la

explotación del acuífero, resultando en la desecación de manantiales y ríos en el área (De la Vega Salazar 20011a).

1.2 Contaminación del agua

Mientras que en muchos lugares el agua limpia y fresca se da por hecho, la realidad es que es un recurso escaso debido a la falta de agua pero también debido a la contaminación de sus fuentes por un creciente deterioro de la calidad debido a la contaminación y la sobreexplotación.

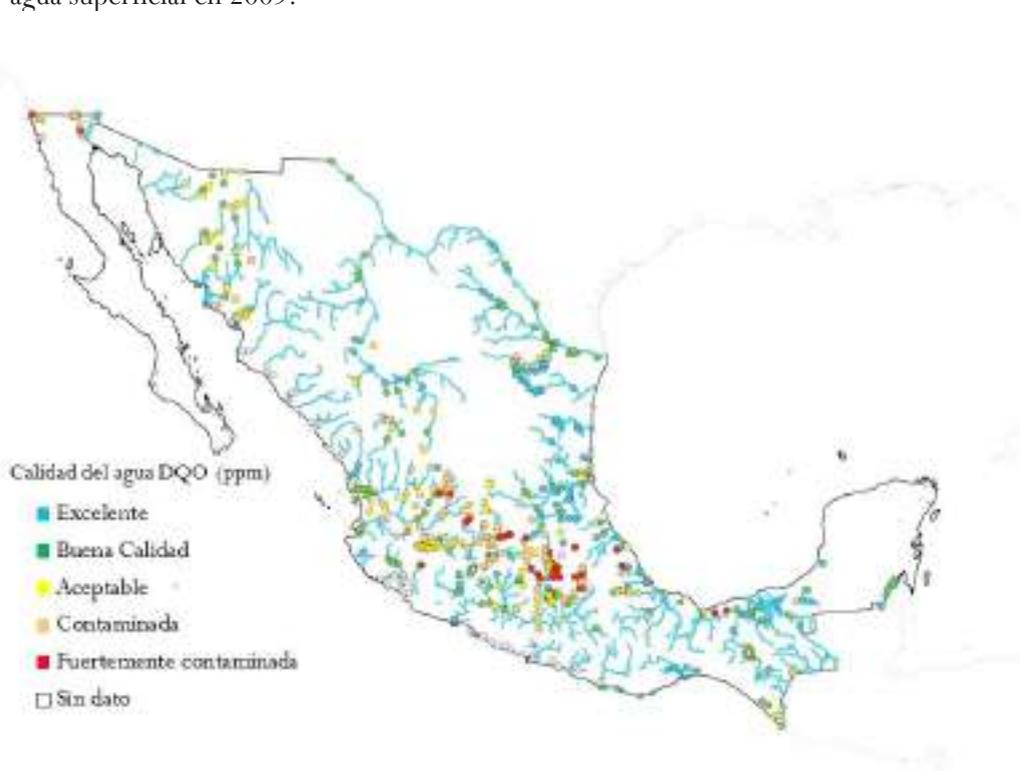
En México, un volumen considerable de aguas residuales es vertido sin previo tratamiento contaminando el suelo y las aguas superficiales, tanto en zonas urbanas como rurales, creando un riesgo obvio para la salud humana y el medio ambiente.

De acuerdo con los resultados de las evaluaciones de calidad del agua que ha venido realizando la CNA para tres indicadores de la misma (DBO_5 , DQO y SST), parámetros que permiten reconocer gradientes que van desde una condición relativamente natural o sin influencia de la actividad humana hasta agua que muestra indicios o aportaciones importantes de demanda de aguas residuales municipales y no municipales.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) determina la cantidad de materia orgánica biodegradable y la Descarga Química de Oxígeno (DQO) mide la cantidad total de materia orgánica, provenientes principalmente de las descargas de aguas residuales tanto de origen municipal como no municipal, los sólidos suspendidos totales (SST) tienen su origen en las aguas residuales y la erosión del suelo. El incremento de la concentración de estos parámetros incide en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua con la consecuente afectación a los ecosistemas acuáticos.

La evaluación de la calidad del agua al año 2009 determinó que veintiún cuencas están clasificadas como fuertemente contaminadas para los tres indicadores de la misma (DBO_5 , DQO y SST) aplicadas a los sitios de monitoreo en el año 2009, sin embargo como se puede observar en la figura 1.3 una gran proporción de sitios de monitoreo están contaminados. Cabe resaltar que en la Zona Central de México es donde se encuentran la mayoría de los sitios contaminados y fuertemente contaminados (figura 1.3, tabla 1.1) .

Figura 1.3 Calidad del agua según indicador DQO, en sitios de monitoreo de agua superficial en 2009.



Excelente (DQO menor o igual a 10), Buena calidad (DQO mayor a 10 y menor o igual a 20), Aceptable (DQO mayor a 20 y menor o igual a 40), Contaminada (DQO mayor a 40 y menor o igual a 200), Fuertemente contaminada (DQO mayor a 200). Fuente: Conagua. Subdirección General Técnica. 2010, modificado de CNA 2010

La descarga de aguas residuales a las fuentes receptoras ha sobrepasado en muchos casos, la capacidad auto-purificadora de dichas aguas degradando los cuerpos de agua que los reciben Tabla 1.1.

(Tabla 1.1) Distribución porcentual de sitios de monitoreo en cuerpos de agua superficiales por Región Hidrológica Administrativa (RHA) de acuerdo al indicador DQO, en 2009

RHA		Excelente	Buena calidad	Aceptable	Contaminada	Fuertemente contaminada
I	Península de Baja California	4.5	0	13.6	68.2	13.7
II	Noroeste	43.5	17.7	24.2	14.5	0.1
III	Pacífico Norte	11.7	41.2	11.8	35.3	0
IV	Balsas	9.5	21.4	27.4	28.6	13.1
V	Pacífico Sur	96	0	4	0	0
VI	Río Bravo	51.6	39.8	1.1	7.5	0
VII	Cuencas Centrales del Norte	25	30	45	0	0
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	4	17.3	26.7	42	10
IX	Golfo Norte	55.6	22.2	11.1	6.7	4.4
X	Golfo Centro	39.6	8.3	22.9	25	4.2
XI	Frontera Sur	16.6	50	13.9	13.9	5.6
XII	Península de Yucatán	55	30	10	5	0
XIII	Aguas del Valle de México	4.1	0	12.5	29.2	54.2
Total nacional		28.3	22.1	18.6	23.5	7.5

Fuente: Conagua. Subdirección General Técnica. 2010, (CNA 2010)

Otros factores que influyen para que el agua no sea de la calidad deseada, es la cercanía de los mantos con canales y ríos que conducen aguas negras.

La Zona Central de México se ha caracterizado por una gran explotación de recursos naturales, situación que ha sido favorecida por los grandes asentamientos urbanos, constituyendo a esta región en una de las más densamente pobladas de la República Mexicana, y como puede verse en la figura 1.3 y en la tabla 1.1, también la más contaminada, siendo las más severamente contaminadas la región VIII Lerma Santiago Pacífico y la Región XII Valle de México.

El país y la región enfrentan serios problemas en materia ambiental, la descarga de contaminantes al ambiente de forma descontrolada que ha ocasionado daños ambientales graves en los ecosistemas de la región siendo muy afectados los cuerpos de agua dulce, ocasionando:

- ❖ Problemas en la calidad del agua para consumo humano.
- ❖ La pérdida de importantes servicios ambientales entre los que se distinguen la de mantener la vida para muchas especies endémicas de la región.
- ❖ La falta de abastecimiento de agua potable y para uso agrícola por la severa contaminación del recurso.

Las regiones centro y norte son de las más densamente pobladas del país, el abastecimiento de servicios como el agua a las poblaciones ha ocasionado la sobre-explotación de los mantos acuíferos, problema que se ve agravado por la severa contaminación de las aguas superficiales por lo que la calidad del agua en la región se ha alterado considerablemente.

Es muy preocupante ver caudalosos ríos de aguas negras cuando la población no tiene agua para cubrir sus necesidades básicas o para el riego de sus milpas, lo que incrementa el severo problema alimentario en la zona (CNA 2010, De la Vega Salazar 2011, Holt 2000).



Figura 1.4 Caudaloso río de aguas negras en la ZCM en 2011.

Esta práctica común en México ha resultado en una enorme pérdida y degradación de los cuerpos de agua y que ha causado la extinción de muchas especies nativas de la región, e importantes cadenas tróficas han sido destruidas, sin embargo al realizar un manejo sustentable de las cuencas y evitar la sobre-explotación y contaminación de los cuerpos de agua se podrá conservar el hábitat para muchas especies nativas de la región y primordialmente la conservación del recurso hídrico (De la Vega Salazar 2003 y 2006).

La construcción de drenajes que sacan el agua de las localidades representa una solución inmediata pero no resuelve el problema ya que las aguas contaminadas se liberan al ambiente contaminándolo.



Figura 1.5 Ejemplos de sistemas de drenaje que no están conectados a una planta de tratamiento y el agua contaminada se vierte en zonas de cultivo

Todo esto ha contribuido a que los cuerpos de agua de la ZCM y del país en general, se encuentren severamente contaminados. La escasez, el abuso del uso del agua y su contaminación, representan una amenaza seria y creciente al desarrollo social y económico.

1.3 Salud pública



Figura 1.6 Descargas de drenaje directamente a río en la ZCM en 2011.

La contaminación del agua ha provocado riesgos a la salud pública, y a los ecosistemas, no solo en las grandes urbes sino también en zona rurales, la generalizada práctica de arrojar el agua residual a los cuerpos de agua cercanos, convirtiéndolos en pozos negros implica que el agua este contaminada y represente un riesgo para la salud ya que la mayor parte del agua potable se toma de los mismos cuerpos de agua contaminados. El agua que procede de estos cuerpos de agua contaminados se convierte en un vehículo de agentes infecciosos como hongos, virus y bacterias, además de sustancias tóxicas como pesticidas y metales pesados entre otros, que son perjudiciales para la salud. El agua también se utiliza para irrigar cultivos y para dar de beber a los animales, los cuales se convierten en alimento para los humanos y otros seres vivos, haciendo una cadena alimentaria, de tal manera que si las

fuentes utilizadas están contaminadas, también se contaminarán nuestros cultivos, los animales, los humanos, y los peces que forman parte del medio acuático (figuras 1.3 y 1.4), por lo que los contaminantes que descargamos al ambiente y al agua principalmente pueden generar problemas de salud pública en poblaciones urbanas y rurales por igual, por tal razón se debe procurar tratar las aguas residuales en su totalidad y evitar en lo posible usar el drenaje para descargar cualquier contaminante especialmente las sustancias tóxicas que pueden permanecer por mucho tiempo en el agua y se ha comprobado que están asociados a graves enfermedades crónicas (De Rosa *et al.* 2004, Smith, Marshall *et al.* 2006, Torres *et al.* 2002, Vörösmarty 2010).



Figura 1.7. Canal de aguas residuales junto a zona recreativa y ganado en la ZCM en 2011.

La Organización Mundial de la Salud ha manifestado reiteradamente que, las principales causas de enfermedades y de muertes en el mundo, se asocian con el agua contaminada y la falta de acceso a la misma. Anualmente, la disentería, la diarrea y otras enfermedades hídricas cobran las vidas de 3 millones de personas (OMS 2007).

Una consecuencia de contaminar sistemáticamente todas las fuentes de agua es la repercusión que tiene en la calidad del agua potable, el agua suministrada por lo general no tiene la calidad para consumirse sin un tratamiento adicional en los hogares. La sensación que tiene la población de México de que la calidad del agua corriente no es apta para su consumo como agua para beber ha tenido un impacto enorme en la economía del país. En 2007, México se convirtió en el mayor consumidor per cápita de agua embotellada del mundo, con un consumo total que aumentó desde los 11.6 mil millones de litros en 1999 hasta los 22,33 mil millones de litros. Actualmente, el consumo per cápita de agua embotellada en México es casi el doble al de los Estados Unidos, pese a que el PIB per cápita es alrededor de 1/6 del de Estados Unidos (FEA 2006, Laclette y Zúñiga 2012, Monforte y Cantú 2009).

1.4 Prioridades de agua y saneamiento

Un alto porcentaje de las aguas residuales son evacuadas en los distintos cuerpos de agua del país sin tratamiento alguno, por ello actualmente cerca de noventa millones de mexicanos, a pesar de tener la supuesta infraestructura para recibir agua potable, necesitan potabilizar su agua a través de sistemas de purificación doméstica o comprarla a muy altos costos a empresas privadas, ya que es muy difícil eliminar todos los contaminantes que se descargan al ambiente antes de llegar al consumidor final. Por lo que ha resultado ser un muy lucrativo negocio, convirtiendo al agua potable en un bien privado (COMDA 2012, Laclette y Zúñiga 2012, Monforte y Cantú 2009).

Para mejorar las condiciones de salud y saneamiento, se necesitan hacer cumplir las medidas para el control de la contaminación del agua que incluya el desarrollo de los métodos y medios para mantener una calidad adecuada del agua.

Parte de la solución es fomentar la construcción de plantas de tratamiento eficientes para el manejo de agua potable y aguas residuales, sin embargo para proporcionar el tratamiento adecuado a las aguas residuales se requieren inversiones sustanciales de capital.

Con la construcción y operación de un mayor número de plantas de tratamiento se generará un mayor volumen de agua tratada que se podrá destinar a sectores como el agrícola e industrial, liberándose importantes volúmenes de agua de primer uso para cubrir las necesidades de las poblaciones. Por medio del tratamiento de las aguas residuales también se persigue reducir la incidencia de enfermedades de origen hídrico al contribuir a crear y fortalecer un medio armónico de convivencia entre la población y la naturaleza (Reynolds 2002).

Por ello se han creado criterios, normas o guías de calidad de agua para consumo humano, para uso industrial, para uso agrícola y recreación que deben hacerse cumplir, sin embargo el medio ambiente como un usuario más del agua se ha descuidado. Los beneficios de contar con agua de calidad son innumerables, por esta razón, el estado mexicano ha creado un marco jurídico que se encarga de regular las descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores a través de las Norma Oficial Mexicana NOM-publicadas por la SEMARNAT (tabla 1.2).

Tabla 1.2 Comparación de las normas oficiales mexicanas en materia de descargas de aguas residuales y tratadas, expedidas por la SEMARNAT

NORMA	ESTABLECE	NÚMERO DE CATEGORÍAS	Rango de principales parámetro mg/L
NOM-001-SEMAR-NAT-1996,	Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.	Parámetros 9 Categorías 11	SST 40-200 DBO ₅ 15-200 NT 15-60 PT 5-60 Grasas y aceites 15-25
NOM-002-SEMAR-NAT-1996	Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.	Parámetros 11 Categorías 3	Grasas y aceites 50-100 Sólidos sedimentables 5-10 Metales pesados
NOM-003-SEMAR-NAT-1997	Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.	Parámetros 7 Categorías 2	Coliformes fecales 240-1000 Grasas y aceites 15 DBO ₅ 20-30 SST 20-30

SST= Sólidos suspendidos totales, DBO=Demanda bioquímica de oxígeno, NT= Nitrógeno total, PT= Fósforo total. (AEF 2010).

Es muy importante vigilar el cumplimiento de la normatividad con el fin de evitar el deterioro del recurso y del medio ambiente, también se sugiere la revisión de la normatividad ya que como puede observarse en la tabla 1.2, existe mucha variación entre las normas en la materia y en el caso de la NOM 001 se establecen muchas categorías con rangos muy amplios en algunos casos.

1.5 Referencias

- Addams L., Boccaletti G., Kerlin M., Stuchtey M., (2009) *Charting our water future 2030(reporte técnico)* . Water resources Group.
- Agenda Ecológica Federal AEF (2010). Ediciones fiscales ISEF. SA México.
- COMDA (2012) México, el país que consume más agua embotellada del mundo Coalición de organizaciones Mexicanas por el derecho al agua <http://www.comda.org.mx/el-derecho-al-agua-a-la-constitucion/28-el-agua-en-los-medios/6663-mexico-el-pais-que-consume-mas-agua-embotellada-del-mundo> (Octubre 10 del 2012).
- Comisión Nacional del Agua (2010). *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento* Editor: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- De la Vega-Salazar M Y (2011) Evaluar factores de riesgo de los recursos hídricos en la región centro occidente y determinar medidas de recuperación y protección específico a cada localidad de la región centro occidente (reporte técnico) Refugia Centro para la Conservación de la Ecobiodiversidad A. C. 103 p.p.
- De la Vega-Salazar M Y. (2011 a) Posibles factores de riesgo de los peces epicontinentales de México ante el calentamiento global. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 15(2): 65-78
- De la Vega-Salazar M Y. 2003. Situación de los peces dulceacuícolas de México. *Rev. Dif. Ciencias* 78:20-30.
- De la Vega-Salazar M.Y.(2006) Estado de conservación de los peces de la familia goodeidae (Cyprinodontiformes), que habitan la Mesa Central de México. *Revista de biología tropical* 54(1):163-177
- De Rosa C.T. El-Masri H. A. Pohl H, Cibulas W. Mumtaz M. M. (2004) *Implications of chemical mixtures in public health practice*. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev*; 7(5): 339-50.

- FEA (2006) *El agua en México: lo que todas y todos debemos saber*. Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C. Centro Mexicano de Derecho Ambiental, A.C. Presencia Ciudadana Mexicana, A.C. 93 p.p. https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:OvWgwgbUIcYJ:portalsostenibilidad.upc.edu/archivos/fichas/informes/el_agua_en_mexico%5B1%5D.pdf (Octubre 10 del 2012).
- Holt M.S. (2000). *Source of chemical contaminants and routes into the freshwater environment*. Food Chem Toxicol.; 38 (1 Suppl):S21-27.
- Laclette J. P., Zúñiga P (2012) Diagnóstico del agua en las Américas Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC p.p. 309-355.
- Monforte García G., y Cantú Martínez P. C. (2009) Escenario del agua en México CULCyT 6:31-40. www2.uacj.mx/IIT/CULCYT/enero.../6%20Art_3%20Rev_30.pdf (Octubre 10 de 2012)
- Organización Mundial de la Salud (2007). *Lucha contra las enfermedades transmitidas por el agua en los hogares / Red internacional para la promoción del tratamiento y el almacenamiento seguro del agua doméstica* www.who.int/entity/household_water/advocacy/combating_disease_es.pdf (12 de septiembre 2012)
- Reynolds K. (2002). *Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica Identificación del Problema*. Agua Latinoamérica Septiembre-Octubre 2002. 4 p.p. www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/DeLaLaveSepOct02.pdf
- Smith AH, Marshall G, Yuan Y, et al. 2006. *Increased mortality from lung cancer and bronchiectasis in young adults after exposure to arsenic in utero and in early childhood*. Environ Health Perspect. 114: 1293-6.
- Torres Rodríguez MT, García Melián M, Hernández MT, Sardiñas Peña O, Martínez Varona M, Brown LA. *Perfiles toxicológicos de contaminantes químicos peligrosos*. Rev Cubana Hig Epidemiol. 2002; 40(1): 132-35.
- Vörösmarty C. J (2010) *Global threats to human water security and rivers biodiversity*. Nature .467: 555-561.

II. Importancia del agua y saneamiento como promotor de desarrollo social

2.1 Agua de calidad un derecho humano y social.

En el desarrollo socioeconómico del país, los recursos hídricos juegan un papel primordial. El acceso al agua de buena calidad debe ser garantizado a todos los habitantes como derecho básico.

El enfoque de los derechos humanos se ha constituido en un referente de las políticas sociales, en particular los derechos humanos de segunda generación que se definen como los derechos económicos, sociales y culturales, debido a los cuales, el Estado de Derecho pasa a una etapa superior, es decir, a un Estado Social de Derecho (Dourojeanni 2002, Ross *et al.* 2006).

En México hasta febrero de 2012 se aprobó un decreto sobre el derecho humano al agua y al saneamiento, los cuales se incorporaron a la Constitución como derechos humanos fundamentales y que puede considerarse como un logro ciudadano muy necesario.

El 8 de febrero de 2012 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el decreto por el que se declara reformado el párrafo quinto y se adiciona un párrafo sexto recorriéndose en su orden los subsecuentes, al artículo 4o. de

la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM), para quedar como sigue:

Toda persona tiene derecho a un medio ambiente **sano para su desarrollo y bienestar**.

El estado garantizará el respeto a este derecho.

El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley.

Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible.

El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines.

Las reformas y adiciones de referencia, quedan incorporadas al capítulo I “*De los Derechos Humanos y sus Garantías*”, por lo que a su vez es aplicable lo dispuesto por el artículo 1° de la CPEUM, el cual reconoce los derechos humanos contenidos en los tratados internacionales firmados por el Estado Mexicano además de considerar que las autoridades, cada una en el ámbito de su competencia, tienen la **obligación de promover, respetar, proteger y garantizar** los derechos humanos, de acuerdo con los principios de **universalidad, interdependencia, indivisibilidad y progresividad**, lo que a su vez impacta en sus **deberes de prevención, investigación, sanción y reparación** de las violaciones a tales derechos.

Es importante tener en cuenta que el Congreso de la Unión, incorporó las disposiciones relativas al derecho a un medio ambiente sano y las responsabilidades por el daño y deterioro ambiental, y que contará a su vez, con un plazo de 360 días para emitir una Ley General de Aguas que sustituirá a la existente, sin embargo además de la nueva ley que incorpore las garantías mencionadas deberá incluir los mecanismos que lleven a su aplicación y cumplimiento.

2.2 Importancia del saneamiento del agua en el desarrollo social

De acuerdo con James Midgley (1995) el desarrollo social es “un proceso de promoción del bienestar de las personas en conjunción con un proceso dinámico de desarrollo económico”. El desarrollo social es un proceso que conduce al mejoramiento de las condiciones de vida de la población en ámbitos como **salud**, educación, nutrición, **vivienda**, **vulnerabilidad**, entre otros, con el fin de promover la reducción de la pobreza y la desigualdad. En este proceso, es primordial el papel del **Estado** como promotor y coordinador del mismo, incluyendo la **activa participación de los actores sociales**.

Entre los derechos sociales se encuentran la seguridad social, un nivel de vida que garantice la salud, la alimentación, el vestido, la vivienda, la asistencia médica y los servicios sociales necesarios entre otros.

El desarrollo social implica el mejoramiento de las condiciones de vida y de bienestar de toda la población. Este enfoque de políticas públicas ha implicado que la meta principal de los programas sociales sea la reducción de la pobreza, particularmente de la pobreza extrema. El mecanismo para lograr este objetivo es impulsar del desarrollo humano a través de incrementar las *capacidades* y de las *oportunidades* de los individuos. (Banco Mundial 2004).

2.3 Indicadores de desarrollo social

El término **nivel de vida** hace referencia al nivel de confort material que un individuo o grupo aspira o puede lograr obtener, incluyendo no solamente los bienes y servicios adquiridos individualmente, sino también los productos y servicios consumidos colectivamente como los suministrados por el servicio público y los gobiernos.

Existen varios indicadores cuantitativos, entre los cuales se encuentran: Los indicadores sociales que se establecen en los planes de desarrollo, y son una medida para establecen los lineamientos para las **prioridades sociales**.

2.4 Indicadores sociales

Los indicadores sociales empleados para planificar objetivos a corto y medio plazo sobre la calidad de vida de la población incluyen:

❖ Costo para el acceso al cuidado de la salud que incluye:

- la expectativa de vida,
- el acceso a comida nutritiva,
- seguridad en el **abastecimiento de agua**,
- la disponibilidad de servicios médicos.

❖ Viviendas y personas sin hogar.

❖ Economía autosuficiente.

❖ Violencia.

❖ Abusos de sustancias y otras adicciones.

- ❖ Discriminación.
- ❖ Estrés, ansiedad y depresión, entre otros.

Como se puede observar los temas de la salud, seguidos de los temas de la vivienda se han considerado de suma importancia.

La medición de las **necesidades Básicas Insatisfechas (NBI)** es un método directo para identificar carencias críticas en una población y caracterizar la pobreza.

Usualmente utiliza indicadores directamente relacionados con las cuatro áreas de necesidades básicas de las personas como son vivienda, servicios sanitarios, educación básica e ingreso mínimo, y que generalmente se incluyen en los censos de población y vivienda.

En América Latina es un método muy utilizado, a raíz de su recomendación por la CEPAL a partir de la década del 80. Se distingue de otros indicadores relacionados con el nivel de vida de la población, como los índices de **indigencia** (pobreza extrema) y **pobreza**, en el hecho que estos últimos miden el ingreso de una persona o una familia, y deducen del mismo su nivel de vida, por lo que se los denomina métodos indirectos (Feres y Mancero 2001).

La CEPAL recomienda construir el índice de necesidades básicas a partir del esquema presentado en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Índice de necesidades básicas

Necesidades básicas	Dimensiones	Variables Censales
Acceso a la vivienda	Calidad de la vivienda	Materiales de construcción utilizados en piso, paredes y techo
	Hacinamiento	a) Número de personas en el hogar b) Número de cuartos de la vivienda
Acceso a servicios sanitarios	Disponibilidad de agua potable	Fuente de abastecimiento de agua en la vivienda
	Tipo de sistema de eliminación de excretas	a) Disponibilidad de servicio sanitario b) Sistema de eliminación de excretas
Acceso a educación	Asistencia de los niños en edad escolar a un establecimiento educativo	a) Edad de los miembros del hogar b) Asistencia
Capacidad económica	Probabilidad de insuficiencia de ingresos del hogar	a) Edad de los miembros del hogar b) Último nivel educativo aprobado c) Número de personas en el hogar d) Condición de actividad

(Dourojeanni et al.2002)

2.5 Consecuencias sociales de la falta de saneamiento

No disponer de acceso a agua y saneamiento significa que la gente debe recurrir a fuentes de agua como ríos y lagos contaminados. También implica no disponer de agua suficiente para cubrir siquiera las necesidades humanas básicas, y un reto más que la ciudades enfrentan, es garantizar el abasto futuro de agua para su creciente población. La Organización Mundial de la Salud reporta que el 85% de las causas de enfermedades y de muertes en el mundo, se asocian con el agua contaminada y la falta de acceso a la misma. Anualmente, la disentería, la diarrea y otras enfermedades hídricas cobran las vidas de millones de personas (OMS 2007).

El acceso al agua y saneamiento refuerza algunas viejas lecciones del desarrollo humano, en promedio, las tasas de cobertura en ambas áreas aumentan con los ingresos: el aumento de la riqueza suele venir acompañado

de un mayor acceso al agua y saneamiento. Pero alrededor del promedio se producen variaciones muy marcadas. En algunos países (como Bangladesh y Tailandia en el caso del saneamiento y Sri Lanka y Viet Nam en el caso del agua) los resultados son mucho mejores de lo esperado únicamente en función de sus ingresos. En otros (como México en el caso del saneamiento), los resultados son mucho peores, lo que indica que los ingresos son importantes, pero la política pública es la que determina la conversión de esos ingresos en desarrollo humano (Ross *et al.* 2006, Reynolds 2002).

2.6 Derecho al agua

Si bien actualmente se acepta que el desarrollo social debe adecuarse a las condiciones económicas y sociales particulares de cada país, existen estándares internacionales que se consideran “metas sociales deseables”. La Organización de las Naciones Unidas (ONU) y sus diferentes organismos asociados son el referente principal en esta materia.

Mejorar el acceso a los servicios de agua y saneamiento es fundamental para alcanzar tres de los ocho Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) asumidos por la ONU en el 2000: reducir la mortalidad infantil, mejorar la salud materna, y garantizar la sostenibilidad del ambiente (PNUD 2011) .

Incluyendo el Objetivo 7 relacionados con el agua, denominado “Garantizar la sustentabilidad ambiental” y propone reducir a la mitad el porcentaje de personas que carecen de acceso al agua potable. Esta meta establece reducir a la mitad el número de habitantes que en 1990 carecían de los servicios de agua potable (PNUMA 2000).

Posteriormente, en el marco de la Cumbre de Desarrollo Sostenible efectuada en Johannesburgo, Sudáfrica, en el año 2002, se agregó la meta de reducir a la mitad el porcentaje de habitantes que en 1990 carecían de los servicios de saneamiento básico, que conforme al tipo de servicio que se brinda equivale a lo que en México se denomina como alcantarillado.

Para la gran mayoría de las metas se trazó su punto de culminación en un periodo de 25 años, esto es, iniciando en el año 1990 y finalizando en el 2015. Los avances alcanzados reportados para México respecto al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo para el Milenio, en materia de agua potable, de 1990 a 2005 se logró reducir a la mitad el porcentaje de habitantes que carecían del servicio en el país, alcanzando el Objetivo de Desarrollo para el Milenio. En diciembre de 2009 el objetivo se superó en 1.5 puntos porcentuales. En materia de alcantarillado, al igual que en agua potable, de 1990 a 2005 se logró reducir a la mitad el porcentaje de habitantes que carecían del servicio en el país y en diciembre de 2009 se superó en 6.1 puntos porcentuales la meta establecida para 2015. Es decir, con siete años de anticipación se logró cumplir con el compromiso establecido. Por lo tanto, de lograrse los nuevos retos planteados en el Programa Nacional Hídrico (PNH) 2007- 2012, en el año 2015 nuestro país superará con 8 puntos porcentuales la meta de los Objetivos de Desarrollo para el Milenio.

En materia de Desinfección del agua la estrategia 6, “Mejorar la calidad del agua suministrada a las poblaciones”, del objetivo 2 del PNH 2007-2012, que establece un indicador en porcentaje denominado “Volumen de agua desinfectada”. Para obtener este indicador, se da continuidad a las acciones del Programa Agua Limpia, cuyo objetivo es asegurar a la población acceso a agua de calidad bacteriológicamente apta para el uso y consumo humano, como medida preventiva de transmisión de enfermedades infecciosas intestinales, así como en la protección contra riesgos sanitarios relacionados con el agua, en apoyo a las autoridades de salud.

La calidad del servicio de agua que recibe una comunidad es un importante indicador del nivel de vida de su población. Un servicio de agua óptimo consiste en suministrar el volumen de agua necesario por habitante, con calidad adecuada para evitar efectos adversos sobre la salud. Otro indicador es el relativo a la recolección y tratamiento de las aguas residuales; la

recolección y tratamiento deficientes es causa de contaminación de los cuerpos receptores y las fuentes de abastecimiento.

2.7 Desarrollo sustentable

El objeto central del desarrollo sustentable es guiar las decisiones sobre los recursos naturales para utilizarlos al máximo sin agotarlos para beneficio de las comunidades tanto para el presente como para el futuro y asegurar usos alternativos de aprovechamiento que aseguren la conservación de los recursos naturales (Pérez 2000).

Por su parte el convenio marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático en 1992, propone establecer para uso sustentable de las aguas incluyendo diversas acciones:

- 1.- Concientizar acerca del funcionamiento del ciclo del agua, el efecto de los usos del suelo en el ciclo hidrológico, la importancia de los humedales y los ecosistemas claves, y cómo usar el agua y los recursos acuáticos de manera sustentable.
- 2.- Manejo de la demanda de agua para asegurar un uso eficiente y equitativo.
- 3.- Manejo integrado de los usos del agua y de los suelos.
- 4.- Fortalecimiento de la capacidad de las comunidades para usar de manera sustentable el recurso hídrico.
- 5.- Favorecer procesos biológicos que aumenten la captura de carbono para la reducción de gases de efecto invernadero.

La recuperación de cuerpos de agua es prioritario para mantener este recurso que cada vez es más escaso pero principalmente muy contaminado, los proyectos sustentables además de impulsar acciones para proteger y preservar el medio ambiente, permite la posibilidad del manejo sustentable

del sistema que puede ser una fuente importante de recursos para la región, así como establecer la posibilidad de crear redes que favorezcan el desarrollo sustentable.

El deterioro ambiental no solo pone en riesgo las funciones vitales de los ecosistemas y los servicios ambientales que proporcionan, también reducen las posibilidades de aprovechar los recursos naturales en beneficio de las comunidades, se requiere redoblar esfuerzos para controlar las descargas de aguas residuales y la liberación de tóxicos al ambiente, así mismo es muy recomendable revisar la legislación vigente para que se garantice la integridad de los recursos naturales y promover prácticas verdaderamente sustentable de los recursos que permitan su recuperación y aprovechamiento (Pérez 2000, De La Vega-Salazar 2012).

2.8 Referencias

- Banco Mundial (2004), *La pobreza en México. Una evaluación de las condiciones, las tendencias y la estrategia del Gobierno*. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/ Banco Mundial. 281 p.p
- Diario Oficial de la Federación (2012) *Decreto por el que se declara reformado el párrafo quinto y se adiciona un párrafo sexto recorriéndose en su orden los subsecuentes, al artículo 4o. de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. 12 de febrero de 2010 p.p.5. http://www.dof.gob.mx/nota_to_imagen_fs.php?codnota=5232952&fecha=08/02/2012&cod_diario=244788 (3 de abril 2012)
- Dourojeanni A., Jouravlev A., Chávez G. (2002). *Gestión del agua a nivel teoría y práctica. Comisión económica para américa Latina (CEPAL)* Washington D. C.
- De la Vega Salazar (2010) *Investigar alternativas de aprovechamiento sustentables de la producción primaria de cuerpos de agua dulce eutrofizados como medida de recuperación ambiental en la región centro occidente (reporte técnico)*. Refugia centro para la conservación de la ecobiodiversidad, A.C. 103 p.p.
- Feres, Juan Carlos; Mancero, Xavier (2001). *El método de las necesidades básicas insatisfechas (NBI) y sus aplicaciones en América Latina*. Santiago de Chile, CEPAL.
- Gobierno de los estados Unidos Mexicanos (2011). *Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012. Cuarto informe de ejecución del plan nacional de desarrollo 2007-2012 SECTOR HIDRÁULICO* p.p.404-414 <http://pnd.calderon.presidencia.gob.mx/cuarto-informe-de-ejecuci-n.html> (3 de octubre 2012)
- Midgley, J., (1995). *Social Development: The Developmental Perspective in Social Welfare*, Londres, Sage 8.

Organización Mundial de la Salud (OMS) (2007). *Lucha contra las enfermedades transmitidas por el agua en los hogares / Red internacional para la promoción del tratamiento y el almacenamiento seguro del agua doméstica* www.who.int/entity/household_water/advocacy/combating_disease_es.pdf (25 de septiembre 2012)

Pérez E. (2000) *Derecho ambiental*. Mc Graw Hill. Colombia, 294 p.p.

PNUD *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo* (2011). Informe sobre Desarrollo Humano 2011 Sostenibilidad y equidad: Un mejor futuro para todos. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Mundi-Prensa Libros, S.A. 195 p.p. www.pnud.org.ec/Noticias2011/HDR_2011_ES_Complete.pdf (2 de Octubre 2012)

PNUMA (2000). *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial 2000 La problemática global del agua*. Ed. Mundi-Prensa Vivendi Environment. Annual Report 2000. <http://www.monografias.com/trabajos14/problemadelagua/problemadelagua.shtml> (29 julio 2012).

Reynolds K. (2002). *Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica Identificación del Problema*. Agua Latinoamérica Septiembre-Octubre 2002. 4 p.p. www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/DeLaLaveSepOct02.pdf (3 de octubre del 2012)

Ross-Larson B, Coquereaumont M, y Trott C. editores (2006) *RESUMEN Informe sobre Desarrollo Humano 2006 Más allá de la escasez: Poder, pobreza y la crisis mundial del agua*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Mundi-Prensa Libros, S.A. 423 p.p. hdr.undp.org/en/media/HDR2006_Spanish_Summary.pdf (2 de octubre 2012)

III. Tipos de plantas de tratamiento que Operan en México

Teniendo en cuenta la gran cantidad de operaciones y procesos disponibles para tratamiento de aguas, es común hablar de pre-tratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o avanzado de aguas residuales.

3.1 Tratamiento preliminar y primario

El tratamiento preliminar del drenaje doméstico retira físicamente los sólidos a través de procesos como el cribado, bombeo del fluido entrante y separación de sólidos. En el tratamiento primario, los sólidos y materiales flotantes son retirados en tanques de sedimentación.

El tratamiento primario se refiere comúnmente a la remoción parcial de sólidos suspendidos, materia orgánica u organismos patógenos, mediante sedimentación u otros medios y constituye un método de preparar el agua para el tratamiento secundario. Típicamente el tratamiento primario remueve alrededor del 60% de los sólidos suspendidos del agua residual cruda y un 35% de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5).

Los beneficios derivados del pre-tratamiento y el tratamiento primario para una planta del tipo biológico son: protección del equipo e instalaciones; la remoción de contaminantes que el sistema biológico no es capaz de eliminar, o en su defecto, no tiene necesidad de eliminar; obra civil de menor tamaño y mayor eficiencia de remoción de contaminantes.



Figura 3.1 Sistemas de tratamiento primario en las plantas de tratamiento de aguas residuales de la Piedad Michoacán y Valle Dorado en Veracruz.

Aunque la mayoría de los procesos de tratamiento primario no consumen mucha energía, existen oportunidades de incrementar la eficiencia. Por ejemplo, algunas veces los desechos en las aguas residuales son triturados en partículas más finas con trituradores, como una alternativa al uso de cribas para eliminarlos del agua. Al usar trituradores, posteriormente se requiere más energía para retirar este material durante la etapa de tratamiento secundario. Una alternativa preferida es la remoción de desechos utilizando una criba.

3.2 Tratamiento secundario

El tratamiento secundario de las aguas residuales incluye la purificación biológica del agua. Estos procesos son un tipo biológico de crecimiento suspendido, como el lodo cloacal activado o un tipo de crecimiento adherido, como los filtros aeróbicos granulares o los contactores biológicos.

El tratamiento secundario convencional se usa principalmente para remoción de DBO_5 soluble y sólidos suspendidos e incluye los procesos biológicos de lodos activados, filtros percoladores, sistemas de lagunas y sedimentación. Estos últimos, que generalmente son aplicables a operaciones de plantas de tamaño medio, consumen menos energía que el lodo activado. Los costos energéticos relacionados con cada una de estas opciones obviamente serán el factor decisivo para la selección final.

El tratamiento secundario tiene como objetivo eliminar la materia orgánica disuelta. Para ello se emplean microorganismos encargados de transformar la materia orgánica en sustancias más sencillas, tales como bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), nitrógeno amoniacal (NH_3), nitratos (NO_3^-) y agua (H_2O).

La figura 3.2 muestra los productos finales que se obtienen por las vías aerobia y anaerobia.

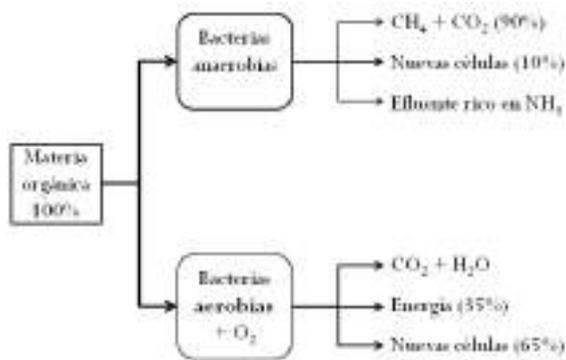


Figura 3.2 Diagrama de comparación de productos finales de la digestión anaerobia y aerobia.

Se observa que las bacterias aerobias van a obtener como producto principal nuevas células y el agua tratada contendrá muy poca materia disuelta. Por su parte, las bacterias anaerobias dirigen la mayor parte de su actividad a generar gases (metano y bióxido de carbono) y en menor grado células nuevas.

El crecimiento celular genera **biomasa**, que es necesario separarla del agua, de lo contrario, para efectos prácticos, no ha habido tratamiento. La separación de la biomasa se hace por efecto de la gravedad: en los sistemas aerobios es en los sedimentadores secundarios; en los procesos anaerobios, generalmente, la separación ocurre dentro del mismo reactor, ya que la producción de biomasa es mucho más limitada y generalmente está adherida a un soporte, por lo mismo, el arrastre de biomasa activa no es significativo. Además, es frecuente que a un reactor anaerobio le siga un reactor aerobio que retiene la biomasa arrastrada fuera del primero.

Además de la vía metabólica de los microorganismos (aerobia o anaerobia), los reactores biológicos se clasifican con base en la forma en que la población microbiana se encuentra dentro del reactor. Se conoce como biomasa suspendida a aquellos reactores que no utilizan un medio de soporte y los microorganismos forman agregados conocidos como flóculos.

Cuando el reactor cuenta con un medio, ya sea natural o sintético, que sirve de soporte para que se desarrolle la comunidad microbiana en forma de “lama” o película, se dice que es un reactor de biomasa fija.

3.2.1 Reactores aerobios de biomasa en suspensión

Este grupo está representando por el sistema conocido como lodos activados. Los lodos activados están constituidos por el tanque de aeración, el sistema de aeración, el sedimentador, la línea de recirculación y la línea de purga.

En el tanque de aeración se mezclan la materia orgánica, los microorganismos y el oxígeno disuelto. Una vez que la mezcla abandona el reactor entra en un sedimentador secundario, en el cual se separa la biomasa del agua; la biomasa o lodo precipita hacia el fondo del sedimentador. Estos lodos se regresan al tanque de aeración para mantener una concentración determinada de microorganismos.

Como la reproducción de microorganismos es muy alta, parte de ese lodo se tiene que desechar del sistema y tratarse para convertirlo en un residuo inocuo antes de su disposición final.

Existen muchas variantes de este proceso, pero en esencia todas contienen estos cinco elementos. Las diferencias están dadas por la forma en la que se alimenta el agua residual, la manera en que se suministra el aire y por los tiempos de retención hidráulico y celular.

Tipos de reactores aerobios de biomasa en suspensión

- ❖ Completamente mezclado o convencional
- ❖ Contacto-estabilización
- ❖ Aeración extendida, zanja de oxidación y proceso carrusel
- ❖ Aeración por etapas
- ❖ Alimentación escalonada
- ❖ Aeración a contracorriente

3.2.2 Sistemas aerobios de biomasa fija

Este tipo de reactores se caracteriza por contar con un medio de soporte o empaque sobre el que se desarrolla una película biológica. Como empaque se utilizan piedras, madera y objetos plásticos de muchas formas. La película biológica está compuesta, principalmente, por bacterias y protozoarios.

El agua escurre sobre la película y de esta forma es que entra en contacto con los microorganismos y con el aire. Los sistemas aerobios de biomasa fija más comunes son los filtros percoladores y los discos biológicos rotativos.

Estos procesos, si bien suelen ser más estables y requieren menos operación que los sistemas de biomasa en suspensión, son más sensibles a la temperatura del ambiente y también a los fenómenos atmosféricos.

3.2.2.1 Filtros percoladores o rociadores

Contienen un lecho empacado, el empaque descansa sobre un bajo-dren que permite el paso del agua hacia los canales colectores. El agua residual se distribuye mediante brazos giratorios, escurre por la película biológica y ocurre una adsorción y asimilación biológica de la materia contaminante.



Figura 3.3 Filtro percolador o rociador

La película biológica va engrosando y llega un momento en que se desprende del soporte; y es separada del efluente en el sedimentador secundario.

El medio de soporte puede ser natural, tal como piedras de río o plástico. La cantidad de materia orgánica que pueden remover los filtros percoladores está dada por la superficie de contacto.

3.2.2.2 Discos biológicos rotativos

Este proceso consta de una serie de discos montados sobre una flecha horizontal que gira. En cada giro la superficie de los discos, sobre la que se desarrolla la biopelícula, entra en contacto con el agua residual y con el aire. La película cuando se expone al aire, se oxigena, y al entrar en contacto con el agua residual pueden adsorber la materia orgánica; de esta forma se logra el tratamiento del agua. Los esfuerzos cortantes generados por la rotación del disco mantienen la película con un espesor casi constante, así, los excesos de biomasa se desprenden del disco, salen del reactor y se separan del agua residual en el sedimentador secundario.



Figura 3.4 Biodiscos en Teuchitlán Jalisco

Los discos se sumergen de tal forma que sólo 40% del área esté bajo el agua. Tienen bajo costo de consumo de energía y la simplicidad de operación y mantenimiento, ya que al prescindir de la recirculación, se minimizan apreciablemente los costos de construcción, operación y mantenimiento. Las desventajas que tiene este sistema es que sus costos se comportan de manera casi lineal con respecto a los caudales de agua por tratar, lo cual no sucede en otros sistemas convencionales. Se debe hacer un diseño mecánico riguroso, pues se han registrado varios rompimientos y des-anclaje de la flecha que soporta a los discos.

3.2.3 Sistemas anaerobios de biomasa no adherida

Los reactores anaerobios de biomasa no adherida son, en esencia, separadores de sólidos suspendidos. Una vez separados los sólidos, se depositan en el fondo del tanque, y ahí son degradados en un ambiente anaerobio.

No hay una interacción real entre la biomasa activa (lodo) y el agua residual, por lo mismo, la remoción de la materia disuelta es muy baja o nula. A este grupo pertenecen la fosa séptica y el tanque Imhoff.

La fosa séptica: es un tanque que generalmente va enterrado y su función principal es la separación de sólidos suspendidos y los hidroliza.

El reactor con manto de lodos anaerobios de flujo ascendente (RAFA) representa la transición entre los sistemas anaerobios de biomasa no adherida y los de biomasa fija, si bien, no cuenta con un medio de soporte para el desarrollo de la biomasa, se considera de biomasa fija por los flóculos o *pellets* tan densos que forma como gránulos de hasta 5 mm de diámetro que cuentan con alta actividad metanogénica. A diferencia de la fosa séptica y el tanque Imhoff, el RAFA tiene mayor capacidad de remoción de materia disuelta.

El reactor es de flujo ascendente y en la parte superior está equipado con un sistema de separación gas-líquido-sólido que evita la salida de sólidos

suspendidos en el efluente y favorece la evacuación del gas. En este reactor es muy importante la distribución del agua residual afluente ya que una mala repartición puede provocar zonas muertas en el lecho de lodos. La cantidad de agua que se aplique debe ser tal que favorezca la formación de los gránulos pero que evite el arrastre de la biomasa. Pueden soportar cargas orgánicas hasta de $30 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{día}$.



Figura 3.5 Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) en Ameca Jalisco

3.2.4 Sistemas anaerobios de biomasa fija

Los reactores de biomasa fija están destinados a la remoción de la materia disuelta, aunque pueden también retener y tratar materia suspendida. Dado que la biomasa anaerobia puede flotar muy fácilmente por la generación de gases que se pueden adherir como microburbujas a los flóculos, el desarrollo de sistemas de biomasa adherida a un soporte minimiza la pérdida de materia activa y con ello se logran mayores eficiencias de remoción de materia orgánica y la disminución del tamaño de los reactores.

3.2.4.1 Reactores anaerobios de lechos fluidizados y expandidos

Son reactores anaerobios de flujo ascendente empacados con algún material suficientemente pequeño y ligero que permita la expansión o la fluidización del lecho al recircular el efluente. Han alcanzado a tratar cargas orgánicas de hasta 40 kg DQO/m³·día. El mayor inconveniente que tienen es que su consumo de energía es mayor que el de un reactor RAFA y su operación es más delicada. Su uso en México es todavía incipiente.

3.2.5 Sistemas combinados

Los sistemas combinados se integran por dos procesos o dos reactores biológicos en serie, las combinaciones posibles son anaerobio-aerobio o aerobio-aerobio. Los diseñadores de sistemas biológicos han optado por estos sistemas combinados ya que de esta forma se minimizan las debilidades de los procesos individuales, se potencian los beneficios y resultan más económicos.

Los sistemas combinados anaerobio-aerobio soportan cargas orgánicas muy altas (reactor anaerobio) y obtienen un efluente de muy buena calidad (pulimento por parte del reactor aerobio) a un costo menor que si se tratara de un sistema puramente aerobio; se obtiene gas metano que puede utilizarse en la propia planta de tratamiento o en las calderas de la industria que utiliza el proceso. Las aplicaciones de estos sistemas son principalmente para efluentes industriales. Los arreglos posibles son muchos, pero los que se encuentran se muestran en la tabla 3.2.

3.2.6 SISTEMA DE MEMBRANA SUMERGIDA

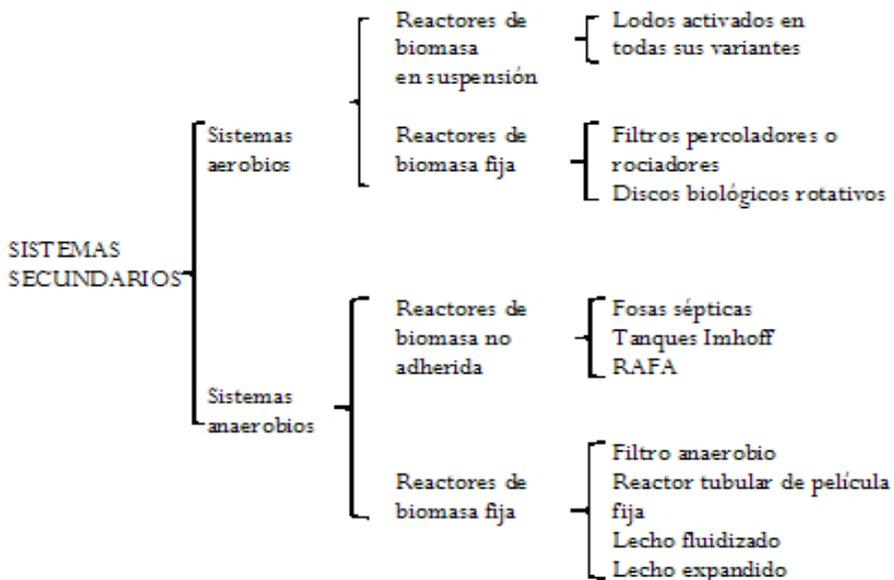
Un innovador sistema que instaló la UNAM en el 2010 para incrementar el gasto tratado es el sistema de membrana sumergida que consiste de un

sistema de placas planas rotatorias y membrana de poliuretano con tamaño nominal de poro de 38 nm (nanómetros) que ocupa menor área y no requiere sedimentación y produce un efluente de mejor calidad, incluso de calidad superior al establecido por la NOM ECOL 003, y produce la remoción total de microorganismos (Romero 2012).



Figura 3.6. Membrana de ultrafiltración: funciona para separar el lodo activado del agua tratada removiendo sólidos de hasta 2 μm . Fotos proporcionadas por transparencia UNAM.

Tabla 3.1 Tipos de plantas de tratamiento secundario



3.3 Tratamiento terciario

En el tratamiento primario se remueven sólidos en suspensión y natas formadas por materia flotante, así como grasas y aceites. El tratamiento biológico o secundario se encarga de remover del agua la materia orgánica (DBO_5).

El tratamiento secundario tiene como objetivo eliminar la materia orgánica disuelta.

El tratamiento terciario y avanzado supone, generalmente, la necesidad de remoción de nutrientes para prevenir la eutrofización de las fuentes receptoras o de mejorar la calidad de un efluente secundario para adecuar el agua para su reuso.



Figura 3.7 Humedales en Michoacán

Tabla 3.2 Plantas de tratamiento de agua residual que operan en México por tipo de tratamiento

Tratamiento preliminar y primario	<ul style="list-style-type: none"> SISTEMA PRIMARIO O SEDIMENTACIÓN SISTEMA PRIMARIO AVANZADO
Tratamiento secundario	<ul style="list-style-type: none"> AEROBIO ANAEROBIO BIOLÓGICO DISCOS BIOLÓGICOS O BIODISCOS DUAL FILTROS BIOLÓGICOS O ROCIADORES O PERCOLADORES FOSA SÉPTICA FOSA SÉPTICA + FILTRO BIOLÓGICO FOSA SÉPTICA + WETLAND LAGUNAS AIREADAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN LODOS ACTIVADOS RAFA + FILTRO BIOLÓGICO RAFA O WASB REACTOR ENZIMÁTICO TANQUE IMHOFF TANQUE IMHOFF + FILTRO BIOLÓGICO
Tratamiento terciario	<ul style="list-style-type: none"> HUMEDALES (WETLAND) RAFA, WASB + HUMEDAL TANQUE IMHOFF + WETLAND SEDIMENTACIÓN + WETLAND

En la tabla 3.3 se presentan los datos de los tipos de plantas instaladas en México, cuantas de ellas se han instalado y el caudal tratado por cada tipo de tratamiento.

Tabla 3.3. Tipos de tratamientos empleados en las plantas municipales de aguas residuales en México.

Tipo de Tratamiento	Nº de Plantas	Caudal tratado L/s
Aerobio	7	270.2
Anaerobio	79	530.2
Biológico	20	388.5
Discos Biológicos y Biodiscos	9	331.5
Dual	12	4376.5
Filtros Biológicos y Rociadores o Percoladores	42	4974.5
Fosas Sépticas	86	108.6
Fosas Sépticas + Filtro Biológico	11	16.4
Fosas Sépticas + Wetlands	73	106.5
Humedales (Wetlands)	66	420.5
Lagunas aireadas	33	8424.2
Lagunas de Estabilización	723	13564.9
Lodos Activados	640	50895.6
Primario Avanzado	15	5727.7
Primario o Sedimentación	21	1598.6
RAFA + Filtro Biológico	27	84.4
RAFA o WASB	148	1145.5
RAFA, WASB + Humedal	9	41.6
Reactor Enzimático	70	130.5
Sedimentación + Wetland	18	24.7
Tanque Imhoff	58	429.2
Tanque Imhoff + Filtro Biológico	14	20.8
Tanque Imhoff + Wetland	1	80
Terciario	2	26
Zanjas de Oxidación	34	3400.7
Otros	2	29.2
Total	2220	97147

FUENTE: CONAGUA/SGAPDS/Gerencia de Potabilización y Tratamiento

3.4 Referencias

- Calderón Mólgora. *Serie autodidáctica de medición de la calidad del agua identificación y descripción de los sistemas secundarios de tratamiento de aguas residuales*. Comisión Nacional del Agua, CNA .Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA 28 pp.
- Comisión Nacional del Agua (2010) *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 317 p.p. www.conagua.gob.mx MÉXICO. www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/mexico/01531e14.pdf
- Melcalf y Eddy, (2003) *Wastewater Engineering Treatment and Ruse*. 4TH Edition. México. Mc Graw Hill. 1819 p. p.
- Noyola A., Vega E., Ramos J. G., y Calderón C. G. (2000) *Alternativas de tratamiento de aguas residuales. Módulo 4. México*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua., 127 p. p.
- Reynolds K. (2002). *Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica Identificación del Problema*. Agua Latinoamérica Septiembre-Octubre 2002.
- Romero L. (2012) *Tecnología de punta en la planta de aguas residuales*. Gaceta UNAM 13 de septiembre de 2012 4453: 9
- Romero Rojas J. A. (1999). *Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización*. Alfaomega Grupo Editor S. A. de C.V
- Wagner W. (2010) *Recomendaciones para la elección de plantas de tratamiento de agua residual aptas para Bolivia*. ANESAPA, 125 p.p. www.proapac.org

IV. Problemática del saneamiento del agua en México

Como se ha visto en capítulos anteriores uno de los principales problemas que enfrentan los recursos hídricos en el país es la contaminación del agua superficial, principalmente por la descarga de aguas negras sin tratar a los cuerpos de agua. Desde hace décadas en nuestro país se viene trabajando en materia de tratamiento de aguas residuales. En esta sección se presenta una revisión de la situación en la que se encuentra el país en materia de saneamiento.

4.1 La situación actual

Para empezar, existe una cantidad de agua residual que queda fuera de los sistemas de recolección que se estima puede ser de $35 \text{ m}^3/\text{s}$, cantidad nada despreciable si tomamos en cuenta que si se tratara de agua potable que podría surtir a casi todo el Distrito Federal. Por otro lado, la infraestructura que ha sido construida con un gran esfuerzo financiero no es usada al 100% de su capacidad instalada o simplemente está totalmente fuera de operación. Aunque las autoridades encargadas del manejo del agua a nivel federal han expresado repetidamente que el tratamiento de las aguas residuales en México debe ser una de las principales estrategias para preservar la calidad del agua, mejorar la calidad de vida, proteger la salud pública y garantizar el desarrollo sustentable, no ha sido posible solucionar este rubro a pesar del aumento en la inversión dedicada a él.

Revisando las estadísticas del agua en México, podemos ver que en los últimos años se ha incrementado la cobertura de agua potable y alcantarillado para los hogares, sobre todo urbanos, sin embargo el tratamiento de las aguas usadas por la población no ha aumentado en la misma proporción. Así, mientras se cubre el 90.3% de las necesidades de agua potable en el país, y el 86.4% del alcantarillado, tan sólo el 52.6 % de las aguas residuales son tratadas (Tabla 4.1). Esto quiere decir que una gran parte de las aguas servidas regresan a los cauces naturales sin ningún tratamiento, contaminando los cuerpos de agua, cambiando su química y alterando gravemente a los ecosistemas que dependen de ellos.

4.2 Situación del tratamiento de aguas municipales

Según la última información publicada disponible que cubre el año 2011, y parte del 2012 en México existen 2220 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación formal, repartidas en los 32 estados que conforman la República. La capacidad instalada de estas plantas es de 130 metros cúbicos por segundo (m^3/s), sin embargo, el caudal procesado es de $97.1 \text{ m}^3/\text{s}$, equivalente al 52.6% del total de las aguas residuales colectadas en los sistemas formales de alcantarillado municipal, estimado en $208 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabla 4.1 Situación del Caudal de aguas residuales municipales tratadas, en plantas de tratamiento por entidad federativa, y proporción de municipios atendidos en 2012.

ENTIDAD	Total de Municipios	Municipio con PTAR	Cobertura de municipios %	Total de PTARs	Capacidad Instalada	Caudal Tratado	% de Tratamiento
Aguascalientes	11	11	100	131	4583	3354.2	100
Baja California N	5	5	100	36	7568.6	6697.6	100
Baja California S	5	5	100	23	1447.5	1062.8	58.94
Campeche	11	4	36.4	22	143	99.8	6.25
Chiapas	122	17	14	21	1392.5	969.4	21.1
Chihuahua	67	56	83.6	154	9173.1	6433.8	77.59
Coahuila	38	14	36.9	23	5206.5	4026	49.8
Colima	10	10	100	65	1809.2	1368.4	52.42
Distrito Federal	16	11	68.8	28	6770.5	3329.8	14.4
Durango	39	39	100	175	4371.9	3359.6	70.9
Guanajuato	46	30	65.2	62	5990.4	4443.6	53.93
Guerrero	81	30	37.0	57	3875.8	3355	90.27
Hidalgo	84	12	14.3	17	377.5	367.2	98.66
Jalisco	151	74	49	151	7016.3	5255.3	35.9
México	125	63	50.4	136	8396	5999.6	25.66
Michoacán	113	24	21.2	32	3654.5	2846.6	30.98
Morelos	33	17	51.5	42	1726.7	1336.6	20.0
Nayarit	20	19	95	64	2393.6	1628.4	80.14
Nuevo León	51	46	90.2	61	13249	10877.2	100
Oaxaca	570	58	10.2	69	1520.5	995.1	44.50
Puebla	217	56	25.8	74	3178	2571.1	45.25
Querétaro	18	15	83.3	83	2278.4	1499.3	49.63
Quintana Roo	10	8	80.0	31	2216.5	1725.2	69.2
San Luis Potosí	58	16	27.6	30	2333.7	1906.2	63
Sinaloa	18	18	100	185	5645.4	4809.6	72.97
Sonora	72	57	79.16	81	4685.3	2960.4	38.44
Tabasco	17	17	100	76	1911	1561	21.80
Tamaulipas	43	25	58.14	42	7088.8	4962.5	74.43
Tlaxcala	60	31	51.7	57	1312.8	980.6	58.4
Veracruz	212	48	22.6	106	6911.87	5359.4	43.08
Yucatán	106	4	3.8	25	422.2	130.7	3.83
Zacatecas	36	36	100	61	970.8	875	21.85
Total Nacional	2465	876	35.54	2220	129621	97147	52.6

FUENTE: CONAGUA/SGAPDS/Gerencia de Potabilización y Tratamiento, CONAGUA 2010.

Sólo tres estados de la República tratan el 100% de las aguas que recogen en alcantarillas: Aguascalientes, Baja California Norte y Nuevo León (tabla 4.1), en contraste 17 estados están por debajo del promedio nacional que es de 52.6% y los tres estados que tienen menor porcentaje de agua tratada son Yucatán con el 3.84%, Campeche con el 6.25% y el Distrito Federal con el 14.4%. (CONAGUA 2010).

En cuanto al destino del agua tratada, la mayoría se descarga en cuerpos de agua (esteros, lagunas, ríos, arroyos, etc.), barrancas y grietas. Los usos principales son riego de áreas verdes y zonas agrícolas, reúso industrial e infiltración al subsuelo.

4.3 Situación del tratamiento de aguas residuales industriales

Con el propósito de conocer el nivel y la capacidad de tratamiento de las aguas residuales de origen industrial la CONAGUA publicó en el 2009 la actualización del inventario nacional de plantas de tratamiento de aguas residuales industriales, en donde se registran todos los sistemas que tratan aguas residuales de la industria nacional.

En dicho inventario se registran 2,256 plantas de tratamiento, de éstas 2,186 están en operación con un gasto de tratamiento de 36,700 l/s, que equivale al 50.6% de su capacidad instalada. Logrando una cobertura de tratamiento de 17.9% respecto al agua residual generada.

4.4 Comparación de la cobertura entre comunidades urbanas y rurales

Durante 2009 se destinaron 5,660 millones de pesos a la construcción y rehabilitación de obras de agua potable, alcantarillado y saneamiento, inversión 12.8% superior a la ejecutada el año anterior. De estos recursos

3,877.5 millones (68.5%) provinieron del Gobierno Federal, 1,294.5 millones (22.9%) de los gobiernos estatales, 431.3 millones (7.6%) de los gobiernos municipales y 56.7 millones (1%) de otras fuentes.

En las comunidades urbanas, donde se asienta el 76% de la población nacional, las inversiones gubernamentales se aplicaron de la siguiente manera: 28.0% se destinó para agua potable, 34.9% para alcantarillado, 8.2% para saneamiento, 22.1% para mejoramiento de la eficiencia y 6.8% para otros conceptos.

En el país existen 184,748 comunidades rurales, localidades con menos de 2,500 habitantes, en donde se ubica el 24% de la población nacional.

En las localidades rurales las inversiones la construcción y rehabilitación de obras de agua potable, alcantarillado y saneamiento se aplicaron de la siguiente manera: 54.5% se destinó para agua potable, 40.1% para alcantarillado, 4.6% para saneamiento y 0.8% para otros conceptos. El porcentaje que se aplica para saneamiento es muy bajo en ambos grupos pero las comunidades rurales son las que menos presupuesto reciben para saneamiento.

Estos apoyos se han dado mediante la implementación y puesta en marcha de programas como: Programa de Agua Potable y Alcantarillado en Zonas Urbanas (APAZU); Programa de Devolución de Derechos (PRODDER); Programa Federal de Saneamiento de Aguas Residuales (PROSANEAR); Programa de Modernización de organismos operadores (PROMAGUA). La CONAGUA, en coordinación con los gobiernos estatales, fomenta el desarrollo y mejoramiento de infraestructura de agua potable, alcantarillado y saneamiento básico a través del Programa para la Construcción y Rehabilitación de Sistemas de Agua Potable y Saneamiento en Zonas Rurales, (PROSSAPYS). Otros programas que tienen incidencia en la materia son: Desarrollo Local (Micro Regiones); Incentivos Estatales;

Iniciativa Ciudadana 3X1, Empleo Temporal 3X1 para migrantes y Jornaleros Agrícolas; programas que coordina la SEDESOL.

Resulta muy preocupante que únicamente el 35.5% de los municipios del país cuentan con sistema de saneamiento de aguas residuales, ocho estados atienden a todos sus municipios y cinco estados tienen sistemas de saneamiento en el 80% de los municipios pero el rezago en el resto de los estados aun es muy grande, aunque las principales ciudades cuentan con este servicio las pequeñas ciudades son las más desatendidas y ni hablar de las comunidades rurales donde por lo general no se cuenta con este servicio (tabla 4.1).

4.5 Nivel de saneamiento en el país

A diciembre de 2010, se han alcanzado coberturas de 91.3% en agua potable, 89.9% en alcantarillado y 52.6% en saneamiento y se estima alcanzar niveles de 92% en agua potable, 88% en alcantarillado y 60% en saneamiento en 2012. Para ello, conforme al Programa Nacional de Infraestructura 2007-2012, se requieren del orden de 25,700 millones de pesos anuales (a precios de 2006), adicionales a los 7 mil millones de pesos anuales que se estiman para la operación y mantenimiento de esa nueva infraestructura.

A pesar de los avances registrados en las últimas décadas, en el país persisten rezagos importantes:

- ❖ 10 millones de personas carecen de servicio de agua potable.
- ❖ 22 millones no tienen alcantarillado.
- ❖ Se trata sólo 52.6 por ciento de las aguas residuales.
- ❖ La percepción pública con respecto a la calidad del agua abastecida por los Organismos Operadores se ha deteriorado.

El consumo anual de agua embotellada es de 153 litros por habitante, el primero más alto del mundo.

4.6 Causas del rezago en el tratamiento de aguas residuales

Las causas son diversas:

- ❖ El aumento del número de habitantes en el país y el aumento en el caudal usado.
- ❖ Falta de conciencia de la población en cuanto a la posibilidad de contaminar el agua al hacer un uso indiscriminado de ella y ante el deterioro del ambiente.
- ❖ Falta de cultura ambiental en general y escasa disposición por contribuir a la solución del problema.
- ❖ Diseños de plantas de tratamiento sobredimensionados en los que, además, se observa una excesiva mecanización, instrumentación y automatización, que encarece y complica, tanto la operación y el mantenimiento, como la amortización de las inversiones.
- ❖ La existencia generalizada de sistemas de drenaje en los que se combinan aguas negras y de lluvia, que entorpece y encarece las operaciones de tratamiento durante la época de lluvias.
- ❖ Las descargas de tóxicos industriales sin tratamiento previo.
- ❖ Empleo generalizado de métodos convencionales de tratamiento, en particular por el de lodos activados que requiere de un uso intensivo de productos químicos y de energía en el proceso, genera emisiones de contaminantes al aire (como amoníaco) y tiene como residuo grandes cantidades de lodos tóxicos para los que no se tienen sitios seguros de disposición final.
- ❖ Respecto a lo económico, al tratarse de obras de ingeniería especializada muy costosa, este tipo de plantas de tratamiento de agua quedan fuera del alcance de muchos municipios.

- ❖ Se ha reportado una cantidad importante de plantas de tratamiento sin funcionar por los elevados costos de operación y mantenimiento.
- ❖ En el medio rural imperan condiciones deficientes en la prestación de un servicio básico, como lo es el saneamiento, esto hace necesario la definición de estrategias para abatir los rezagos y avanzar en la prestación de este servicio.
- ❖ El análisis preliminar de los listados de plantas indica que el 45% de ellas no opera eficientemente por falta de recursos financieros; en el 30% se debe a errores conceptuales en su diseño y, el 25% restante, por falta de capacitación de los operadores.
- ❖ En la práctica la instalación de la planta de tratamiento no resuelve el problema ya que los organismos operadores enfrentan diversos problemas en su mantenimiento y operación y en algunos casos la eficiencia del método no es suficiente para cumplir con la calidad de agua que se establece en la normatividad vigente.
- ❖ Los costos de operación son tan altos que se requiere participar de algún programa de operación federal o estatal que permita mantener la operación de las plantas de tratamiento sin embargo solo el 11% de las plantas reportadas tienen acceso a estos programas y otros recurren a fondos municipales o privados y el 64% no cuentan con un programa de operación y en la mayoría de los casos (54%) las autoridades municipales son las encargadas de la operación de las plantas.
- ❖ Las plantas de tratamiento enfrentan muchos problemas ya que el 20% de ellas requieren rehabilitación, el 2% están fuera de operación y el 30% requieren ampliación.
- ❖ Los mismos operadores reportan que un alto porcentaje de las plantas que operan tienen una baja eficiencia en la remoción de contaminantes, ocasionando que no se cumpla con la normatividad vigente por lo que no

pueden acceder a un programa de apoyo para la operación de la planta de tratamiento como lo exige la CONAGUA (SIARCO 2012).

Como puede verse el rezago en saneamiento es muy grande y aun alcanzando la meta de 60% de tratamiento de aguas residuales para el 2012 aun hay mucho que hacer.

Además, la necesidad de tratar las aguas servidas antes de regresarlas a los cauces naturales como una medida de proteger al ambiental, están los beneficios económicos que representaría para el municipio el uso propio y la venta de agua tratada para suplir usos no potables, así como la disminución de la demanda para las plantas potabilizadoras (Romero, *et.al.* 2010).

4.7 Experiencia de Regeneración y reutilización del agua

El “agua gris”, es decir, agua residual tratada proveniente de una planta, que no es potable por muy poco tiene una variedad de aplicaciones. Éstas incluyen la recarga de acuíferos de aguas subterráneas, suministro para procesos industriales, riego de algunos cultivos. Aunque la regeneración del agua gris no cambia la cantidad de agua utilizada por el cliente, ahorra energía y reduce los costos de tratamiento para ese uso del agua.

Muchas veces el agua pura es utilizada en aplicaciones en donde el agua de más bajo grado puede ser igual de efectiva. En Namibia, desde 1968 los residentes han utilizado el agua residual tratada para complementar hasta el 30% de la reserva de agua potable de la ciudad. En Israel, el 70% de las aguas residuales municipales son tratadas y reutilizadas, principalmente para el riego agrícola de cultivos no alimenticios. Además, extensas áreas agrícolas alrededor de la Ciudad de México, Melbourne en Australia y Santiago de Chile y muchas ciudades chinas, de igual manera son regadas con aguas residuales. En California, desde mediados de la década de los 90, más de 606 mil millones de litros (160 mil millones de galones) de agua regenerada son utilizados anualmente para riego, recarga de aguas subterráneas y procesos

industriales. Recientemente, las autoridades de la ciudad de Austin, Texas, instalaron una tubería de agua para el centro de la ciudad, exclusivamente de agua regenerada. Esta nueva tubería proporcionará a los usuarios finales una fuente de agua más barata para el riego de jardines y otras funciones donde no es necesaria el agua potable. Las autoridades de Austin planean recuperar su inversión rápidamente, al gastar mucho menos en el suministro de agua potable proveniente de fuentes de agua dulce y reducir enormemente la demanda en todo su sistema.

Es importante hacer notar que el agua reutilizada debe cumplir con los estándares de calidad para evitar, tanto problemas de salud pública como la contaminación de las aguas superficiales. Muchos países tienen sus propios criterios y estándares de calidad para el agua, con base en sus estándares para efluentes o cuerpos de agua de calidad limitada. Para la reutilización agrícola del agua o para fines de riego, la Organización Mundial de la Salud ha establecido lineamientos específicos que definen los límites microbiológicos aceptables para el agua regenerada.

4.8 Referencias

- CNA 2010. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2010. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 282 pp <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=106>
- Comisión Nacional del Agua (2010). *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 317 p.p. www.conagua.gob.mx MÉXICO. www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/mexico/01531e14.pdf
- CNA 2011 *Situación de los recursos hídricos | Estadísticas del agua en México, edición 2011* <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=106>
- Comisión Nacional del Agua (2010). *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento* Editor: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=106>
- Consejo consultivo del agua A. C. (2011). *La Gestión del Agua en las Ciudades de México. Indicadores de Desempeño 2011*, 63p. p. http://www.agua.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=16991&Itemid=100034 (7 septiembre 2012)
- De la Vega-Salazar (2011). *Evaluar factores de riesgo de los recursos hídricos en la región centro occidente y determinar medidas de recuperación y protección específico a cada localidad de la región centro occidente (reporte técnico)*. Refugia centro para la conservación de la ecobiodiversidad A. C. 103 p.p.

- Gutiérrez Mercadillo M T., D. de Regules Ruiz-Funes J y Noria Sánchez G *Guía para Organismo Operadores de Agua potable, alcantarillado y saneamiento*. Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental AC. 88 p.p. http://www.agua.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=9509:guia-para-organismos-operadores-agua-potable-alcantarillado-y-saneamiento&catid=103&Itemid=106
- INEGI 2011. *Panorama censal de los organismos operadores de agua en México. Censos económicos 2009. Serie Monografías Sectoriales*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática 35 p.p. www.inegi.org.mx/est/.../ce2009/.../Mono_Orgs_operadores_agua.pdf
- Melcalf & Eddy, Inc. *Wastewater Engineering Treatment and Ruse*. 4TH Edition. México. Mc Graw Hill. 2003. 1819 p. p.
- Monforte García G., y Cantú Martínez P. C. (2009) Escenario del agua en México. CULCyT 6:31-40.
- Municipios de México http://es.wikipedia.org/wiki/Municipios_de_M%C3%A9xico
- Noyola A., Vega E., Ramos J. G., y Calderón C. G. (2000) *Alternativas de tratamiento de aguas residuales. Módulo 4. México*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua., 127 p. p.
- Reynolds K. (2002). *Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica Identificación del Problema*. Agua Latinoamérica Septiembre-Octubre 2002. 4 p.p. www.aqualatinoamerica.com/docs/pdf/DeLaLaveSepOct02.pdf
- Romero Álvarez H, García Ollervides J., Janetti Dávila J. (2010). *Las vicisitudes de las plantas de tratamiento de aguas residuales en México*.

- Romero Rojas J. A. (1999). *Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización*. Alfaomega Grupo Editor S. A. de C. V.
- Ross-Larson B, Coquereaumont M, y Trott C. editores (2006) *RESUMEN Informe sobre Desarrollo Humano 2006 Más allá de la escasez: Poder, pobreza y la crisis mundial del agua* Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Mundi-Prensa Libros, S.A. 423 p.p. hdr.undp.org/en/media/HDR2006_Spanish_Summary.pdf (2 DE OCTUBRE 2012)
- SIARCO (2012). *Plantas de tratamiento de aguas residuales*. Sistema de información del agua de la región centro occidente. <http://www.siarco.org.mx/content/siarco> (Octubre 12 de 2012).
- Sistemas de Información Municipal : *Enciclopedia de los Municipios de México* *Sistemas de Información Municipal* SEGOB México http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/ELOC_Enciclopedia#

V. Estudio comparativo para evaluar eficiencia de plantas de tratamiento de Aguas residuales

5.1 INTRODUCCIÓN

Muchas localidades en el país, principalmente las de menos de 2500 habitantes no cuentan con planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) por el elevado costo que implica su construcción y principalmente su mantenimiento. En muchos casos la instalación de la planta de tratamiento no resuelve el problema ya que enfrentan diversos problemas en su mantenimiento y operación y los mismos operadores reportan que en algunos casos la eficiencia del método no es suficiente para cumplir con la calidad de agua que se establece en la normatividad vigente (De la Vega Salazar 2011, SIARCO 2012).

El tratamiento de aguas residuales es necesario para la prevención de la contaminación ambiental y del agua, al igual que para la protección de la salud pública. Mientras que cada región tiene sus propias necesidades correspondientes a métodos de tratamiento particulares, cierto número de opciones tradicionales y modernas de tratamiento se encuentran disponibles al diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales.

En la concepción, planteamiento y diseño de un sistema de tratamiento se pueden considerar objetivos diferentes, teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos económicos y técnicos, así como los criterios establecidos para descarga de efluentes o eficiencias para remover los contaminantes, así como motivaciones ecológicas. Es necesario hacer una evaluación del nivel óptimo de tratamiento requerido, al igual que una evaluación práctica de cuáles métodos de tratamiento, están dentro del presupuesto. En aquellas áreas donde no es factible construir plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales, podrían emplearse muchas otras opciones de tratamiento. El manejo efectivo de aguas residuales debe dar como resultado un efluente ya sea reciclado o reusable, o uno que pueda ser descargado de manera segura en el medio ambiente.

En México, el servicio de agua potable, conjuntamente con los de drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales se encuentra principalmente a cargo de los municipios. La problemática que enfrentan los tomadores de decisiones con respecto al tratamiento de aguas residuales y la construcción de plantas de tratamientos en las comunidades que carecen de ellas, es la selección entre diversas opciones de métodos de tratamiento que usualmente son muy costosos, y los municipios por lo general tienen que aportar el 50% del costo de construcción y el otro 50% lo aporta la Federación. Este problema se agrava por el elevado costo de mantenimiento y operación y el desconocimiento de la eficiencia de remoción de contaminante de cada una de las plantas que operan actualmente en el país lo que dificulta la selección adecuada por parte de las autoridades que comúnmente no cuentan con la información necesaria para que, los recursos se empleen de manera efectiva para solucionar el problema de la calidad del agua.

En este sentido es de gran importancia conocer el funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales en términos de su eficiencia. Existen trabajos reportados donde la eficiencia se considera únicamente

a la capacidad de remoción de contaminantes. Desde un punto de vista económico el término eficiencia se asocia con un uso racional de los recursos disponibles, es decir, se utiliza para describir aquel proceso productivo que emplea de una manera óptima todos sus factores de producción, según la tecnología existente. Aunque la obtención de indicadores de eficiencia asociados a los procesos de tratamiento no es un procedimiento muy extendido en la literatura, se ha demostrado ya su total utilidad en este campo (Hernández *et al.* 2007).

El estudio de eficiencia se refiere al estudio de las *funciones frontera*, utilizadas como referentes para la obtención de medidas de eficiencia para cada unidad productiva. Según el modelo propuesto por Farrell (1957), se construye una frontera de la mejor práctica constituida por las unidades más eficientes de la muestra. En este último caso, la eficiencia técnica de un proceso puede medirse a partir del cálculo de la máxima reducción proporcional posible en el uso de inputs (gastos) compatible con un nivel dado de output (resultados).

De éste modo, cuando un proceso obtenga el máximo output (por ejemplo volumen de agua tratada) dado un vector de inputs (recursos que se gastan para operar la planta), o bien, utilice un mínimo de inputs para producir un output determinado, se situará en la citada frontera de la mejor práctica.

Son muchas las razones entre ellas el elevado costo de construcción y mantenimiento, que justifican la necesidad de conocer en detalle las posibles ineficiencias existentes en los procesos de tratamiento por lo que el análisis de la eficiencia técnica y financiera en las plantas de tratamiento de aguas residuales es de suma importancia.

5.2 OBJETIVO

Determinar la eficiencia en la remoción de contaminantes en función de los costos de construcción y operación de los diferentes tipos de plantas de tratamiento que se encuentran operando en el país.

- ❖ En base a los tipos de plantas de tratamiento que se encuentran operando en el país, seleccionar instalaciones representativas de cada una y analizar la calidad del agua del afluente (entrada) y del efluente (salida).
- ❖ En base a los resultados de los análisis de calidad de agua que se realizaron, y la información acerca de los costos requeridos para la operación de los tipos de plantas y el costo del mantenimiento necesario para el funcionamiento de las plantas incluyendo los costos de construcción, se busca determinar la eficiencia de cada método de tratamiento para la remoción de los contaminantes como nutrientes, materia orgánica, metales pesados y coliformes.

5.3 MATERIAL Y MÉTODOS

En base a los tipos de plantas de tratamiento que se encuentran operando en el país se seleccionaron y ubicaron instalaciones representativas de cada una principalmente en la Zona Central de México en cuatro estados Guanajuato, Jalisco Michoacán y Veracruz y se incluye una planta en el Distrito Federal. En cada sitio se solicitó la autorización para realizar el análisis de la calidad del agua del afluente y del efluente, las localidades y tipos de plantas de tratamiento se muestran en la tabla 5.1.

5.3.1 EFICIENCIA DE PLANTAS DE TRATAMIENTO

5.3.1.1 Remoción de contaminantes

El grado de remoción de contaminantes de un PTAR puede definirse como la reducción porcentual de los parámetros de control especificados en la normatividad vigente. Para determinar cantidad removida de los parámetros de control específicos se considera la relación entre la carga que entra a la planta, o a una unidad de ella, y la correspondiente carga en el flujo de salida.

En este estudio, para el cálculo del porcentaje de la remoción de contaminantes, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Remoción (\%)} = (C_a - C_e) / C_a \times 100$$

Donde C_a = Concentración afluente y C_e = Concentración del efluente

5.3.1.2 Costos de operación de cada planta evaluada.

Los datos técnicos de cada planta de tratamiento que se consideraron en este estudio fueron costo de construcción, área de construcción, número de operadores (staff), gastos mensual de energía eléctrica y año de construcción.

5.3.1.3 Cálculo de Eficiencias

Se determinó la capacidad de cada planta en la remoción de los contaminantes evaluados y para determinar la eficiencia se empleó el uso de modelos DEA (Data Envelopment Analysis) propuesto por Farrell (1957) usado para evaluar plantas de tratamiento (Hernández *et al.* 2007), empleando los valores de Remoción de los diferentes parámetros de calidad del agua especificados por la normatividad vigente, y la matriz de costos y requerimientos para operar las plantas de tratamiento. Para evaluar la

eficiencia por factor se empleó la matriz de costos y el vector de cada factor, y para el cálculo de eficiencia de todos los parámetros se empleó la matriz de costos y la matriz de factores considerando los resultados en cantidad removida.

5.3.2 Determinaciones analíticas

El sistema se evaluó para conocer su eficiencia en el tratamiento del agua residual, la evaluación de cada sistema se realizó tomando una muestra simple del efluente y del afluente, el muestreo se realizó en los meses de agosto y septiembre del 2012, en algunas plantas no se permitió la toma de muestra de agua pero se proporcionó la información de la calidad del agua de ambos puntos realizada en un laboratorio certificado.

Las muestras tomadas se analizaron en base a los principales parámetros de calidad del agua establecidos en la normatividad vigente:

5.3.2.1 Físicoquímicos

Las determinaciones analíticas que se realizaron a las muestras tomadas fueron: *in-situ* (temperatura, conductividad, sólidos disueltos totales (SDT) y pH (Medidor Multiparamétrico impermeable para pH/EC/TDS/°C Hanna© modelo HI98130), se obtuvo la correspondiente muestra de agua para los análisis físicoquímicos (Demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno total (N T), fósforo total (P T), cobre, hierro (Fe) y zinc y coliformes en laboratorio:

Los análisis fueron realizados siguiendo los criterios de muestreo y conservación de las muestras propuestos por “Standard Methods for Examination Wastewater” (APHA, AWWA y WPCF) y se emplearon métodos colorimétricos aceptados por la EPA empleando el colorímetro Hanna© para aguas residuales (HI83214-01) para nitrógeno total, fósforo

total y el colorímetro Hanna© (EX C99) HI83099-01 para las restantes determinaciones.

Para la identificación de Coliformes y *E. coli* en agua se emplearon los Kits de ColiGel©:

Se tomaron las muestras de cada sitio que se agregaron en el volumen indicado (100 ml) a cada bolsa de prueba con el medio de cultivo, en el caso de la muestra de salida cuando fue posible se analizó la muestra de agua antes de ser clorada con el objeto de evaluar la capacidad del sistema para remover los microorganismos. Las muestras se incubaron en la incubadora Thermoline© a 35°C por 28 hrs.

La presencia de manchas azules, indicó la presencia de coliformes. El número de manchas azules es igual al número de coliformes en la muestra. La presencia de fluorescencia de la mancha azul bajo la luz UV, indica que es positivo para *E. coli* y la prueba está completa. Si no hay fluorescencia de los puntos azules se continuó incubando por 20 hrs adicional (48 hrs total). El número de manchas azules que presentan fluorescencia después de las 48 hrs., es igual al número de *E. coli* en la muestra. Si las manchas azules no presentan fluorescencia después de las 48 hrs la muestra es coliforme positiva y *E. coli* negativa.

5.4 RESULTADOS

5.4.1 Sitios de estudio

En este estudio se evaluaron 18 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARs) distribuidas en cuatro entidades de la Zona Central de México, Guanajuato, Jalisco y Michoacán de la zona Centro Occidente, Veracruz de la zona Centro Oriente y una planta en el Distrito Federal los tipos de plantas de tratamiento, su ubicación se muestran en la tabla 5.1.

De los 18 PTARs evaluados, en 14 se obtuvo la muestra de agua del afluente y del efluente para realizar los análisis de calidad de agua y en las cuatro restantes se proporcionaron los datos de calidad del agua realizados en laboratorios certificados. Las plantas evaluadas se muestran en la tabla 5.1, indicando el tipo de tratamiento y año de construcción de cada una, la mayoría de las plantas son de reciente construcción o rehabilitación y la que tiene más tiempo operando es el Humedal en Cuitzeo Michoacán.

De las 18 PTARs evaluados 16 plantas son de tipo secundario y dos son de tipo terciario. De las de tipo secundario dos PTARs son de sistema anaerobio, cinco combinan sistemas aerobios y anaerobios y el resto son aerobios (tabla 5.1).

Se obtuvieron las concentraciones de cada parámetro evaluado en el afluente y el efluente de cada PTAR (tabla 5.2) en base a estos resultados se determinó la cantidad que se removió de cada parámetro en función de la concentración de entrada y la concentración de salida y empleando la ecuación de porcentaje de remoción mismos que se muestran en la tabla 5.3.

Tabla 5.1. Relación de Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARs) evaluadas en cada localidad y entidad especificando tipo de PTAR, abreviatura empleada, año de construcción y tipo de tratamiento empleado.

TIPO DE PTAR	Abreviatura	ENTIDAD	Localidad	Tipo de Tratamiento	Año de Construcción
ANAEROBIO CON AEREAÇÃO SUPERFICIAL*	An Aer	VERACRUZ	Valle Dorado	anaerobio	2008
BIODISCOS*	Biod	JALISCO	Teuchitlán	aerobio	2011
FILTROS BIOLÓGICOS O ROCIADORES O PERCOLADORES*	Fil Biol	VERACRUZ	Punta Norte	aerobio	2011
FOSA SÉPTICA CON FILTROS BIOLÓGICOS	F S Fil Biol	JALISCO	San Juan de los Lagos	anaerobio-aerobio	2005
HUMEDAL ARTIFICIAL	Hum	MICHOACÁN	Cuitzeo	terciario	2000
HUMEDAL ARTIFICIAL	Hum	MICHOACÁN	Erongaricuaru	terciario	2007
LAGUNAS AEREADAS	Lag Aer	MICHOACÁN	La Piedad	aerobio	2004
LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	Lag Estab	JALISCO	Tapalpa	aerobio-anaerobio	2006
LAGUNA DE OXIDACIÓN	Lag Oxid	GUANAJUATO	Silao	aerobio	2006
LODOS ACTIVADOS	L A	MICHOACÁN	Patzcuaro Sn Pedrito	aerobio	2001
LODOS ACTIVADOS sistema aerobio anaerobio	L A A M	JALISCO	Poncitlán Mezcala	aerobio anaerobio	2001
LODOS ACTIVADOS sistema aerobio anaerobio	L A A S	JALISCO	Poncitlán San Juan Tecamatlán	aerobio anaerobio	2001
LODOS ACTIVADOS/ MEMBRANA DE ULTRAFILTAÇÃO*	L A Memb Ultr	D. F.	UNAM	aerobio	2010 - 2011
LODOS ACTIVADOS CONTRATAMIENTO DE BIOSÓLIDOS	L A Trat Biosol	JALISCO	Chapala	aerobio	2004
REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE	RAFA	JALISCO	Ameca La Coronilla	anaerobio	2008
TANQUE IMOFF CON BIOFILTROS ROCIADORES O PERCOLADORES	Ta Imof Biofil.	JALISCO	Magdalena	anaerobio-aerobio	2010
TANQUE DE OXIDACIÓN BIOLÓGICA	Ta Ox Biol	JALISCO	Ameca	aerobio	2011
ZANJAS DE OXIDACIÓN CON AEREAÇÃO EXTENDIDA	Za Ox Aer. Ext	MICHOACÁN	Pátzcuaro Las Garzas	aerobio	1991

Los sitios marcados con * corresponden a las plantas donde no se colectó muestra de agua, pero se proporcionaron los análisis de laboratorio certificado.

Tabla 5.2. Concentración de parámetros evaluados en las muestras de agua del Afluente y efluente en las PTARs, expresado en concentración y en porcentaje.

TIPO DE PTAR	Conductividad μS	pH	SDT* SST*	NT*	PT*	Fe*	DQO*	Coliformes
An Aer (E)	-	-	<u>0.28</u>	4.5	1.03	-	99.4	3
An Aer (A)	-	-	<u>0.35</u>	19.1	9.89	-	460.0	2400
Biod (E)	-	-	0.50	5.9	0.80	-	40.1	4050
Biod (A)	0.44	7.42	0.78	25.4	6.36	-	1094.6	13675
Fil Biol (E)	-	-	<u>0.03</u>	3.8	0.81	-	39.0	6.16
Fil Biol (A)	-	-	<u>0.48</u>	22.3	10.44	-	462.17	2400
F S Fil Biol (E)	1.69	7.92	0.84	30.0	0.07	0.0	0.0	208
F S Fil Biol (A)	2.08	7.67	1.01	38.0	1.84	0.06	453.0	2400
Hum (E)	2.14	7.80	0.93	25.0	8.10	0.08	101.0	208
Hum (A)	1.68	7.15	0.82	29.0	9.07	0.07	1162	2
Hum (E)	1.08	7.66	0.55	10.0	7.14	0.0	0.0	149
Hum (A)	1.50	7.30	0.77	41.0	7.44	0.39	829.0	437
Lag Aer (E)	1.20	7.97	0.60	10.0	4.70	0.0	0	667
Lag Aer (A)	1.13	7.65	0.55	22.0	5.10	0.07	382.0	2400
Lag Estab (E)	0.65	8.97	0.32	23.0	6.18	0.01	351.0	528
Lag Estab (A)	0.75	7.10	0.40	22.0	7.32	0.37	354.0	2400
Lag Oxid (E)	1.55	7.81	0.77	44.0	5.43	0.0	632.0	357
Lag Oxid (A)	1.57	7.69	0.77	15.0	6.66	0.15	1780.0	2400
LA (E)	1.00	7.43	0.47	10.0	3.96	0.05	477.0	1648
LA (A)	1.30	7.60	0.65	24.0	7.85	0.05	1067.0	2400
L A A M (E)	1.33	7.35	0.67	15.0	6.78	0.0	58.0	263
L A A M (A)	1.67	7.26	0.83	50.0	7.11	0.08	500.0	2400
L A A S (E)	1.08	7.49	0.54	22.0	8.55	0.09	108.0	208
L A A S (A)	1.26	8.10	0.62	27.0	7.11	0.01	511.0	2400
LA Memb Ultr (E)	<u>0.83</u>	<u>7.5</u>	<u>0.10</u>	<u>30</u>	<u>15</u>	-	<u>5.0</u>	<u>0</u>
L A Memb Ultr (A)	<u>1.50</u>	<u>7.5</u>	<u>0.50</u>	<u>38</u>	<u>15</u>	-	<u>500</u>	<u>2400</u>
LA Trat Biosol (E)	1.00	7.30	0.49	10.0	1.77	0.10	0.0	0
LA Trat Biosol (A)	1.34	7.67	0.67	23.0	6.46	0.02	765.0	2400
RAFA (E)	1.60	7.63	0.80	10.0	7.80	0.05	272.0	213
RAFA (A)	1.47	7.85	0.73	46.0	6.36	0.01	1151.0	469
Ta Imof Biofil. (E)	0.67	7.69	0.32	11.0	7.80	0.0	0.0	139
Ta Imof Biofil (A)	0.66	7.60	0.33	24.0	9.99	0.44	1453.0	224
Ta Ox Biol (E)	1.00	7.56	0.58	36.0	0.57	0.07	0.0	128
Ta Ox Biol (A)	1.45	7.58	0.73	32.0	9.27	0.07	524.0	325
Za Ox Aer. Ext (E)	0.70	7.30	0.35	27.0	1.58	0.11	0.0	299
Za Ox Aer. Ext (A)	1.12	7.63	0.56	25.0	3.66	0.22	271.0	864

*PPM= parte por millón=mg/L, E= Efluente, A= Afluente

Tabla 5.3. Matriz de resultados con valores del volumen de agua tratado (gasto) y cantidad de contaminantes eliminados por cada tipo de PTAR evaluado, expresado en concentración y en porcentaje.

TIPO DE PTAR	Gasto L/s	Cond mS	SDT/ <u>SST</u> mg/L	NT mg/L	PT mg/L	Fe mg/L	DQO mg/L	COLIFORMES NMP
An Aer	4.2	-	<u>0.07</u> (20)	14.6 (76.5)	8.9 (89.6)	-	360.6 (78.4)	2397 (99.9)
Biod	10	-	0.28 (35.9)	19.5 (76.8)	5.53 (87.4)	-	1054.5 (96.3)	2400 (70.4)
Fil Biol	1100	-	<u>0.45</u> (93.1)	18.5 (82.7)	9.6 (92.2)	-	423.2 (91.6)	2394 (99.7)
F S Fil Biol	200	0.39 (18.8)	0.17 (16.8)	8.0 (21.1)	1.8 (96.2)	0.06 (100)	453.0 (100)	2192 (91.3)
Hum	25	-0.46 (-27.4)	-0.11 (-13.4)	4.0 (13.8)	1.0 (10.7)	-0.01 (-14.3)	1061.0 (91.3)	-206 (-100)
Hum	10	0.42 (28)	0.22 (28.6)	31.0 (75.6)	0.3 (4.0)	0.39 (100)	829.0 (100)	288 (65.9)
Lag Aer	190	-0.07 (-6.2)	-0.05 (-9.1)	12.0 (54.5)	0.4 (7.8)	0.07 (100)	382.0 (100)	1733 (72.2)
Lag Estab	40	0.1 (13.3)	0.08 (20)	-1.0 (-4.5)	1.2 (15.6)	0.36 (97.3)	3.0 (0.85)	1872 (78.0)
Lag Oxid	110	0.02 (1.3)	0 (0)	-29.0 (-193)	1.2 (18.5)	0.15 (100)	1148 (64.5)	2043 (85.1)
LA	55	0.3 (23.1)	0.18 (27.7)	14.0 (58.3)	3.9 (49.6)	ND	590 (55.3)	752 (31.3)
LA A M	7	0.34 (20.4)	0.16 (19.3)	35.0 (70.0)	0.3 (4.6)	0.08 (100)	35.0 (37.6)	2037 (84.9)
LA A S	6	0.18 (14.3)	0.08 (12.9)	5.0 (18.5)	-1.4 (-20.3)	-0.08 (-800)	403.0 (95.9)	2192 (91.3)
LA Memb Ultr	10.5	<u>0.67</u> (44.7)	<u>0.40</u> (80.0)	<u>8.0</u> (21.5)	<u>0</u>		<u>495.0</u> (99)	<u>2400</u> (100)
LA Trat Biosol	70	0.34 (25.4)	0.18 (26.9)	13.0 (56.5)	4.7 (75.2)	-0.08 (-400)	765.0 (100)	384 (100)
RAFA	4	-0.13 (-8.9)	-0.07 (9.6)	36.0 (78.3)	-1.4 (-22.6)	-0.04 (-400)	879.0 (76.4)	256 (54.6)
Ta Imof Biofil.	60	-0.01 (-1.5)	0.01 (3.0)	13.0 (54.2)	2.2 (21.9)	0.44 (100)	1453.0 (100)	85 (37.9)
Ta Ox Biol	100	0.45 (31)	0.15 (20.6)	-4.0 (-12.5)	8.7 (93.8)	ND	524.0 (100)	197 (60.6)
Za Ox Aer. Ext	20	0.42 (37.5)	0.21 (37.5)	-2.0 (-8.0)	2.1 (56.8)	0.11 (50)	271.0 (100)	565 (65.4)

Datos entre paréntesis corresponden a los resultados expresados en porcentaje.
 ND= No detectable NMP=Número más probable

5.4.2 Costos de operación de cada planta evaluada.

Los datos técnicos de cada planta de tratamiento que se obtuvieron en el estudio se presentan en la tabla 5.4. En el caso de la PTAR Punta norte en Veracruz se consideró únicamente el costo de la rehabilitación y ampliación en lugar del costo de construcción que no fue proporcionado. El consumo de energía eléctrica es el que representa el mayor costo en la mayoría de las PTARs con excepción del Humedal y el RAFA que no tiene consumo de energía eléctrica ya que se aprovecha la pendiente del terreno y se mueve el agua por gravedad.

Tabla 5.4. Matriz de costos que incluyen, los principales recursos económicos que se requieren para el funcionamiento de cada planta evaluada.

TIPO DE PTAR	COSTO (Millones de \$)	ÁREA Ha.	STAFF	\$ Energía eléctrica(Miles)	SUMA
An Aer	30	0.7	6	100	136.7
Biod	16	0.3	3	13	32.3
Fil Biol	225	40	10	600	875
F S Fil Biol	35	2	10	100	147
Hum	60	3.3	2	0	65.3
Hum	10	1.5	1	0	12.5
Lag Aer	10	10	5	259	284
Lag Estab	1.38	0.75	2	107	119.65
Lag Oxid	35	2	10	185	232
LA	30.15	1.5	8	80	119.65
LA A M	25	0.75	5	21.5	52.25
LA A S	25	0.5	4	17.5	47
L A Memb Ultr	15.5	0.16			15.66
LA Trat Biosol	35	0.75	6	80	121.75
RAFA	9	0.35	1	0	10.35
Ta Imof Biofil.	1.3	1	4	36	42.3
Ta Ox Biol	35	2	5	103	145
Za Ox Aer. Ext	35	2	8	48	93

Para el manejo de los datos de costo de construcción y energía eléctrica se emplearon valores quitando los millares y millones con el fin de evitar que todo el peso del análisis se cargue a un factor y que todos los factores tengan un efecto relativo en la matriz de costos; se incluye el área en esta matriz de costos como un estimado del costo del terreno (tabla 5.4).

5.4.3 Remoción de contaminantes por tipo de PTAR

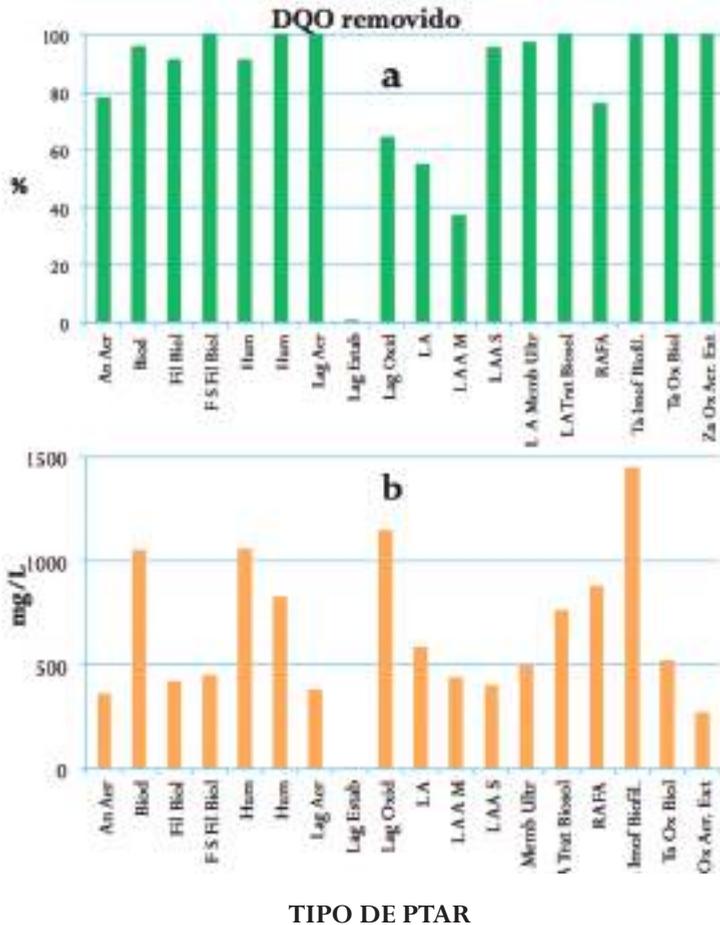
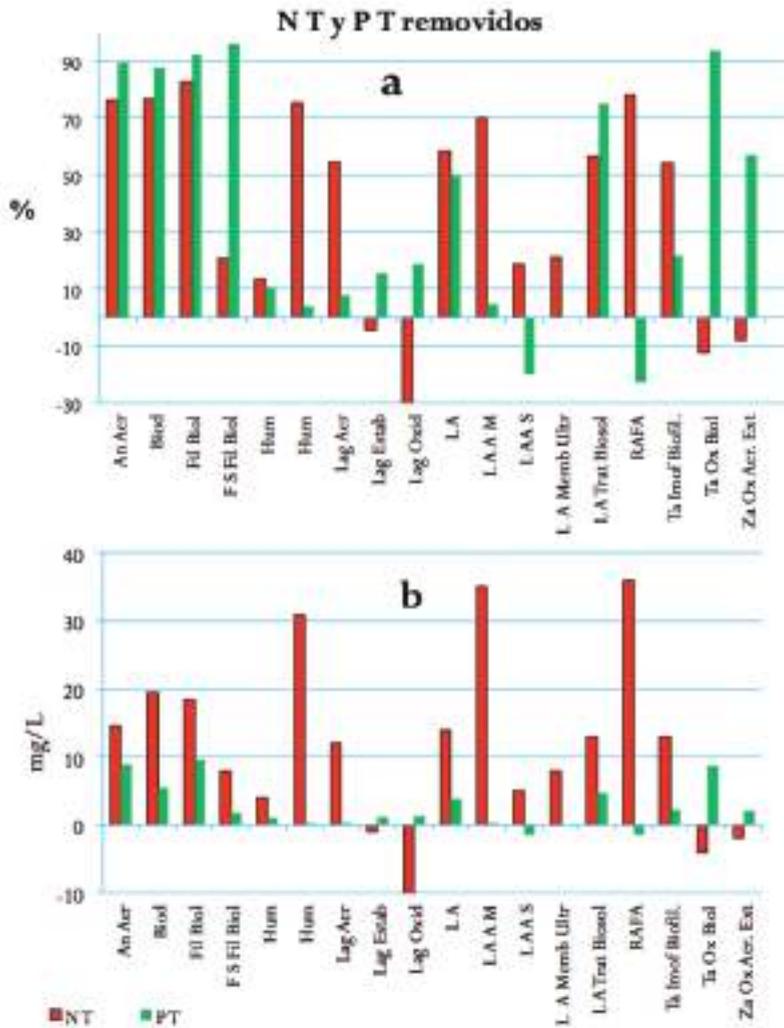


Figura 5.1. Cantidad removida de materia orgánica expresada como DQO en % (a) y concentración (b), en las PTARs evaluadas

Demanda Química de oxígeno DQO. Con excepción de la planta de tipo Lagunas de estabilización todos los sistemas de tratamiento tienen la capacidad de reducir los valores de DQO como puede observarse en las figuras 5.1a y 5.1b, La mayoría remueven un porcentaje mayor del 60%, sin embargo la capacidad removidas expresada en concentración (mg/L) presenta mayor variación en cada tipo de PTAR, el sistema de Tanque Imoff con biofiltro remueve cerca de 1500 mg/L de DQO, el sistema de biodiscos, la Laguna de oxidación, el Humedal remueven más de 1000 mg/L, el RAFA y el sistema de lodos activados con biofiltros entre 700 y 800 mg/L, los lodos activados convencionales y el sistema con la membrana de ultrafiltración están entre 400 y 600 mg/L, los demás sistemas entre 200 y 400 mg/L.

Nitrógeno y Fósforo totales. En el caso de los nutrientes, con excepción de la planta de tipo Lagunas de oxidación todos los sistemas de tratamiento tienen la capacidad de reducir una proporción de sales nitrogenadas expresado como nitrógeno Total (NT), los valores de NT como puede observarse en las figuras 5.2a y 5,2b, presentan una reducción de cerca del 80% en seis PTARs; anaerobio, biodiscos, filtro biológico, humedal, lodos activados con sistema aerobio-anaerobio, y RAFA. Cuatro PTARs presentan una reducción de alrededor del 50%; lagunas aereadas, lodos activados convencional y con tratamiento de biosólidos y el tanque Imoff con biofiltros, el resto menos del 20%.

Considerando la cantidad que remueve cada sistema, el humedal, el de lodos activados, aerobio-anaerobio y el RAFA remueven entre 30 y 40 mg/L, El sistema anaerobio con aeración, el de biodiscos, el de filtros biológicos, lagunas aereadas, lodos activos convencional y con tratamiento de biosólidos y el tanque Imoff con biofiltros reducen entre 10 y 20 mg/L, el resto menos de 10 mg/L (figuras 5.2a y 5.2b).



TIPO DE PTAR

Figura 5.2. Cantidad removida de nitrógeno total NT y fósforo total (PT) expresado % (a) y concentración (b), en las PTARs evaluadas

Para el fósforo total los sistemas anaerobio con aeración, biodiscos, filtros biológicos, fosa séptica con filtros biológicos, lodos activados con tratamiento de biosólidos y el tanque de oxidación biológica producen una reducción

mayor del 80%. Los sistemas de lodos activados convencionales y la zanja de oxidación con aeración extendida alrededor del 50%. El resto menos del 20%. Tres tipos de PTARs anaerobio con aeración, filtros biológicos y el tanque de oxidación biológica alcanzan a remover cerca de 10 mg/L el resto reducen cinco mg/L o menos, en los dos sistemas de tratamiento lodos activados aerobio-anaerobio y RAFA se produce un incremento en la concentración del efluente (figuras 5.2a y 5.2b).

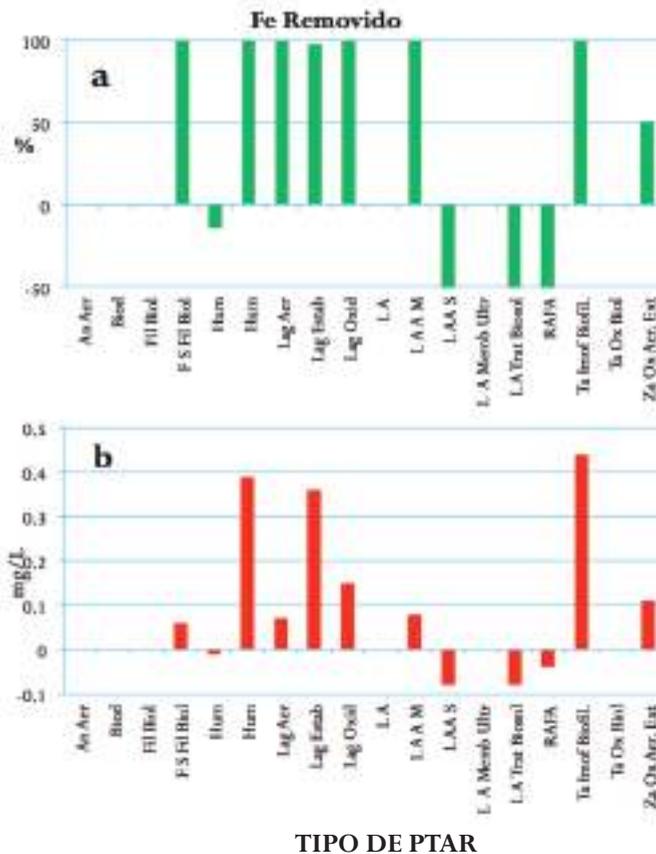


Figura 5.3. Cantidad removida de hierro Fe expresado en % (a) y concentración (b), en las PTARs evaluadas

Metales pesados. En el caso de los metales pesados evaluados en este estudio únicamente el hierro presentó concentraciones detectables con los métodos empleados. En el caso del hierro tres sistemas de tratamiento no presentan

remoción del contaminante sino un aumento en la concentración, lodos activados aerobio-anaerobio, lodos activados con tratamiento de biosólidos y el RAFA.

Para el resto de las PTARs la remoción es del 100% y zanja de oxidación alrededor del 50%. El humedal, las lagunas de estabilización y el tanque Imhoff con biofiltros presentan una remoción de 0.4 mg/L para el resto de las plantas con remoción es alrededor de 0.1 mg/L (Figuras 5.3a y 5.3b).

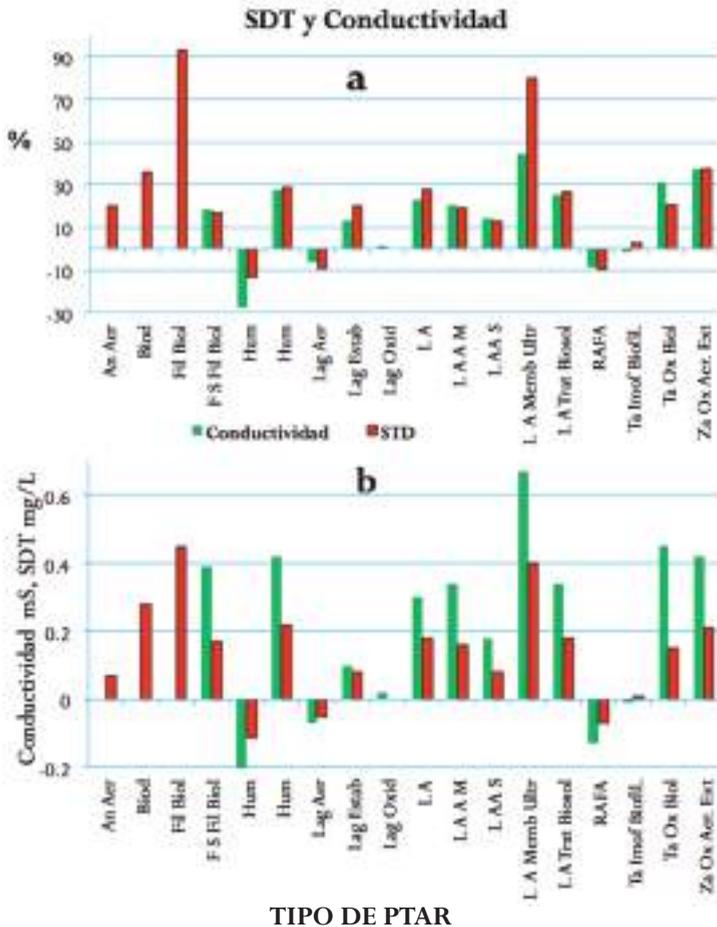
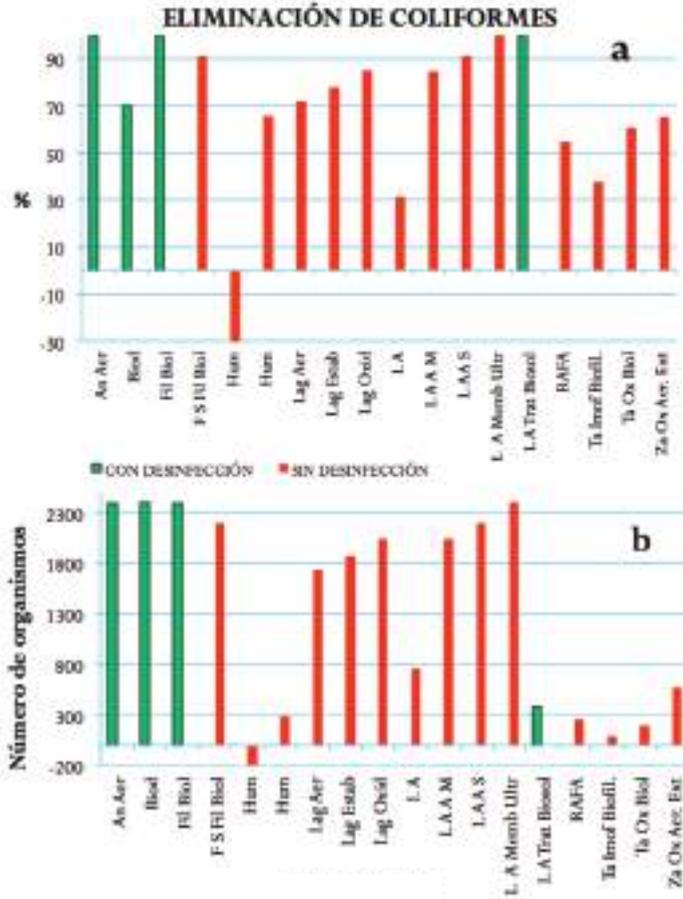


Figura 5.4. Cantidad removida sólidos disueltos totales SDT y reducción en la conductividad, expresado en % (a) y concentración (b), milisiemens para conductividad y mg/L para STD, en las PTARs evaluadas

Sólidos disueltos totales y conductividad. En general se produce una reducción de los sólidos disueltos totales y la conductividad de alrededor del 50% en la mayoría de las PTARs evaluadas, que significa una reducción entre 0.2 y 0.4 unidades de cada uno (figuras 5.4a y 5.4b). La excepción son el humedal en Cuitzeo y los sistemas de Lagunas aeradas, el RAFA y el tanque Imoff con biofiltros que presentan un incremento. Dos sistemas se distinguen por la mayor capacidad de remoción de sólidos el sistema de filtros biológicos y el de membrana de ultrafiltración, éste último sistema es el que produce el efluente con la menor concentración de sólidos, aunque en ambos casos se refiere a sólidos suspendidos totales.

Coliformes y *E. coli*. En todas las muestras analizadas se presentó fluorescencia que confirma la presencia de *E. coli* en las muestras. En cuatro PTARs no se realizó la evaluación de coliformes se incluyen los datos proporcionados por los sistemas operadores, éstos son los sistemas anaerobio con aeración, biodiscos y filtros biológicos que se valoraron de muestras desinfectadas y el porcentaje de remoción fue del 100%. En el caso del sistema con la membrana de ultrafiltración se reporta que el sistema es tan eficiente para remover el 100% de microorganismos que no requiere el proceso de desinfección (Romero 2012), en el caso de la planta de lodos activados con tratamiento de biosólidos la muestra proporcionada también estaba desinfectada por lo que también se obtiene el 100% de eliminación de microorganismos.

Por otra parte los sistemas fosa séptica con filtro biológico, lagunas de estabilización y oxidación, lodos activados con sistema aerobio-anaerobio y lodos activados con tratamiento de biosólidos producen una reducción entre el 80 y el 100%, los sistemas de humedal (Erongarícuaro) y las lagunas aeradas, de estabilización y de oxidación presentan una reducción entre 60 y 80%, el tanque de oxidación biológica, el RAFA y Zanja de oxidación con aeración extendida alrededor del 50%, el mismo patrón se obtiene de la cantidad de microorganismos removida (figura 5.5a y 5.5 b).



TIPO DE PTAR

Figura 5.5. Cantidad removida de coliformes expresado en % (a) y cantidad de microorganismos removidos (b), en las PTARs evaluadas

El único sistema que en lugar de remover la cantidad de microorganismos presenta un incremento en el efluente es el humedad en Cuitzeo. Los mejores sistemas para eliminar coliformes sin desinfección fueron el de membrana de ultrafiltración y la fosa séptica con filtro biológico, lodos activados con sistema aerobio-anaerobio entre otros (figuras 5.5 a y 5.5 b).

5.4.4 EFICIENCIA DE CADA TIPO DE PTAR

Considerando los costos de construcción o rehabilitación, área que ocupan y costos de operación (operarios y energía eléctrica), se determinó la eficiencia de las plantas de tratamiento evaluadas para cada parámetro evaluado incluyendo el volumen tratado (gasto) en cada PTAR. El estimado de eficiencia tiene la finalidad de conocer la cantidad de recursos que emplea cada tipo de PTAR para obtener cada volumen tratado o para la remoción de cada parámetro y se considera la más eficiente a la que emplea menos recursos económicos para producir mayor resultado, la máxima eficiencia corresponde al valor de uno.

Gasto. La planta más eficiente para producir volumen de agua tratada es la planta tipo fosa séptica con biofiltro, le sigue el tanque Imhoff con biofiltros con un valor de 0.8, el sistema de filtros biológicos con 0.7, el resto de las plantas tiene eficiencias menores y le menos eficiente es la planta anaerobia con aeración (figura 5.6).

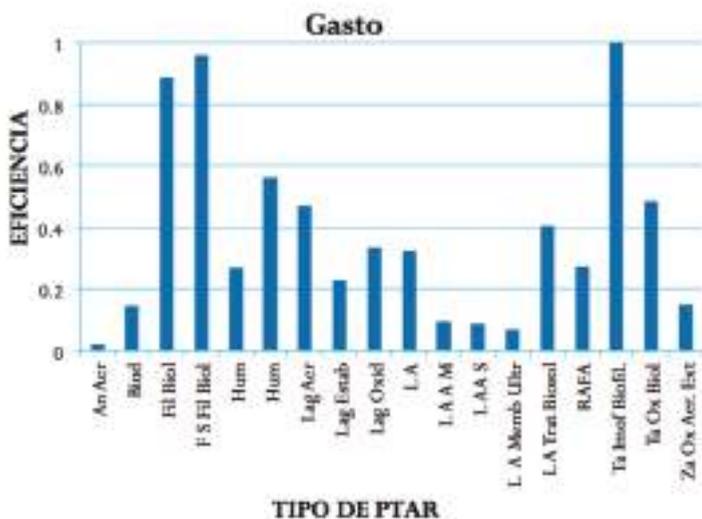


Figura 5.6. Eficiencia en la producción de volumen de agua tratada (gasto) en función del los recursos invertidos en cada PTAR evaluada.

5.4.4.1 Eficiencia en remoción de contaminantes

DQO. El sistema que presenta la mayor eficiencia para remover la materia orgánica expresada por la reducción de la DQO es el RAFA seguido del Humedal con una eficiencia de alrededor del 0.7, el resto de PTARs tiene una eficiencia entre el 0.4 o menos y cuatro tienen eficiencias muy cercanas a cero, incluyendo la de filtros biológicos, lagunas aeradas y de estabilización y una de las plantas de lodos activados con sistema aerobio-anaerobio (figura 5.7).

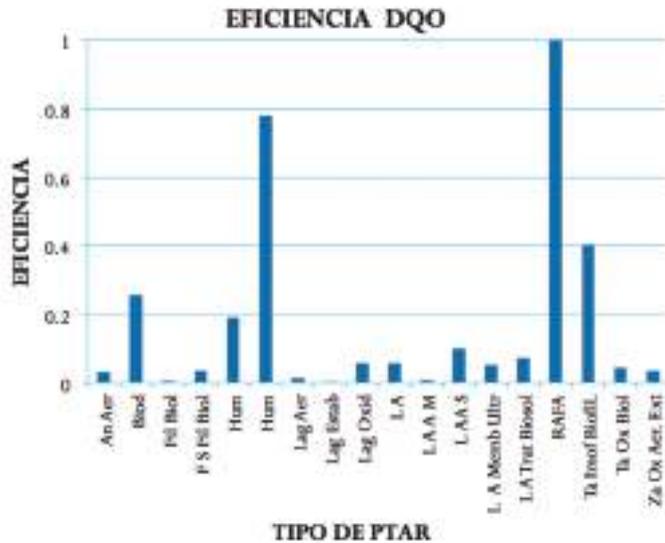


Figura 5.7. Eficiencia en la remoción de materia orgánica expresada como DQO en función de los recursos invertidos en cada PTAR evaluada.

Nitrógeno total. El RAFA fue el sistema más eficiente para remover NT seguido del Humedal con 0.65 y una de las plantas de lodos activados con sistema aerobio-anaerobio con 0.3 nueve PTARs tiene una eficiencia cercana a cero (figura 5.8).

Fósforo total. A diferencia de NT mayor número de PTARs presentar mejor eficiencia para remover el PT. El sistema de biodiscos fue el más eficiente para remover FT seguido del anaerobio con aeración con 0.6, tanque de oxidación biológica con 0.5, tanque Imoff con biofiltros mayor de 0.4 y lodos activados con tratamiento de biosólidos 0.3, dos sistemas presentaron una eficiencia negativa elevada RAFA y una de las plantas de lodos activados con sistema aerobio-anaerobio (figura 5.8).

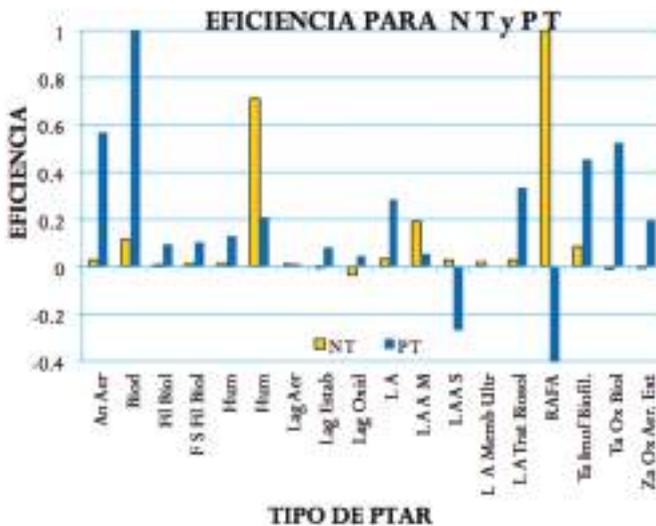


Figura 5.8. Eficiencia en la remoción de los nutrientes nitrógeno total (N T) y fósforo total (P T) en función del los recursos invertidos en cada PTAR evaluada.

Metales pesados. En el caso del hierro que fue el único metal pesado que se encontró a concentración detectable, el humedal y el tanque Imoff con biofiltros, son los más eficientes para remover el hierro.

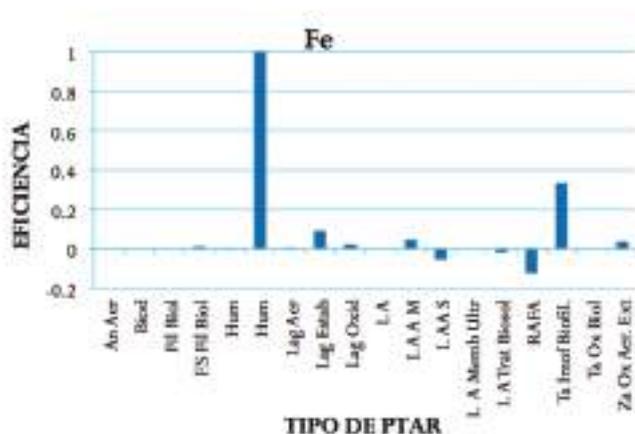


Figura 5.9. Eficiencia en la remoción del metal pesado hierro (Fe) en función del los recursos invertidos en cada PTAR evaluada.

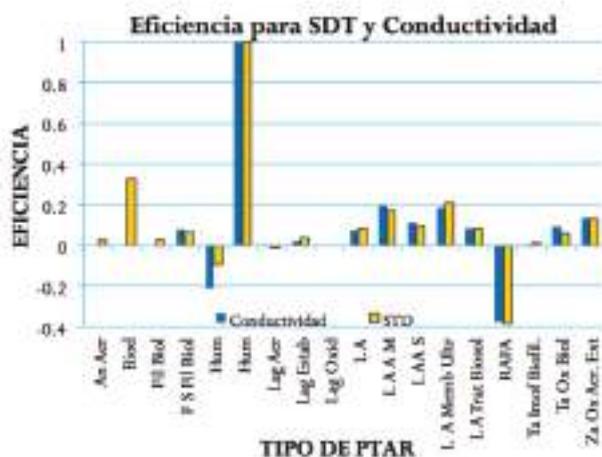


Figura 5.10. Eficiencia en la remoción de sólidos disueltos totales SDT y en la reducción de la conductividad, en función del los recursos invertidos en cada PTAR evaluada.

Sólidos disueltos totales y conductividad. El mejor sistema para remover sólidos disueltos fue por mucho el Humedal seguido del sistema de biodiscos y el sistema de membrana de ultrafiltración, con eficiencias de 0.3 o menos, aunque cabe aclarar que el dato reportado para éstos últimos corresponde a solidos suspendidos totales, para el RAFA se produce un incremento de SDT. Los datos de conductividad presentan el mismo comportamiento (figura 5.10).

Coliformes y *E coli*. Las dos plantas de lodos activados con sistema aerobio, anaerobio fueron las más eficientes para la remoción de microorganismos con eficiencias entre el 0.85 y 1, los sistemas de RAFA y Humedal y el sistema con membrana de ultrafiltración les siguen con valores de eficiencia de 0.5, la fosa séptica con filtros biológicos y la laguna de estabilización presentaron una eficiencia mayor de 0.3 (figura 5.11).

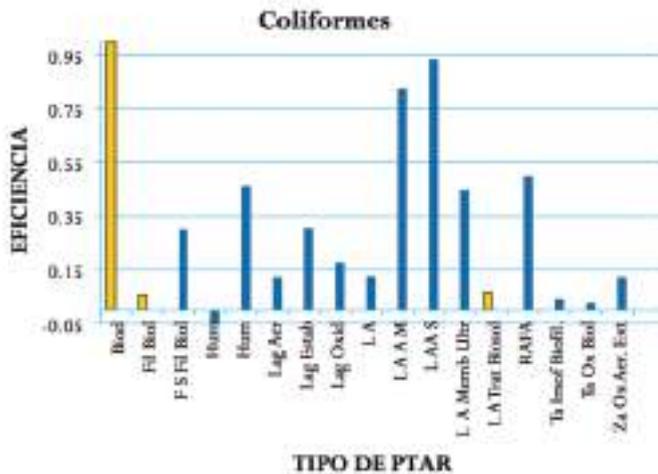


Figura 5.11. Eficiencia en la remoción de coliformes en función de en función del los recursos invertidos en cada PTAR evaluada.

Eficiencia fisicoquímicos. Se determinó la eficiencia considerando todos los parámetros fisicoquímicos e incluyendo el gasto tratado, los sistemas más eficientes para remover este tipo de contaminantes incluyendo el gasto tratado fueron el RAFA, el humedal y el tanque Imoff con biofiltros (figura 5.12a)

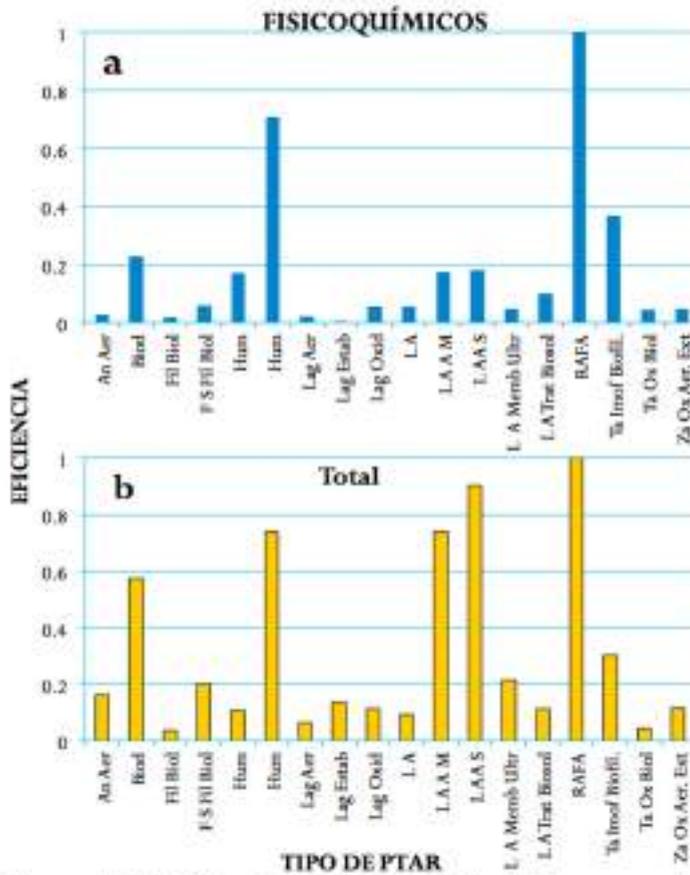


Figura 5.12. Eficiencia en la remoción de la suma de parámetros fisicoquímicos incluyendo el gasto (a) y del total de parámetros evaluados incluyendo coliformes (b), en cada PTAR.

Eficiencia total. Considerando la suma de todos los factores evaluados incluyendo la contribución del gasto tratado y la remoción de coliformes se calculó la eficiencia total de las PTARs evaluados siendo nuevamente el más eficiente el RAFA seguido de los sistemas de lodos activados con sistema aerobio-anaerobio con valores alrededor de 0.8, el humedal con valor mayor de 0.7 y el de biodiscos con valor menor de 0.6 (figura 5.12b).

5.5 ANALISIS DE RESULTADOS.

5.5.1 Capacidad de remoción de contaminantes

Como se muestra en las figura 5.1a y 5.1b, el porcentaje y la cantidad de materia orgánica que se remueve del sistema expresado por la reducción de la DQO es alta, ya que en general todos los PTARs evaluados tienen una elevada capacidad de remover la materia orgánica con excepción del de Lagunas de Estabilización que combina un proceso aerobio y anaerobio. Los sistemas como son el Tanque Imhoff con biofiltro y la Laguna de oxidación, el humedal y los biodiscos, seguidos por el RAFA y el sistema de lodos activados con tratamiento de biosólidos son los más eficientes para remover materia orgánica.

Los nutrientes son componentes que presentan más dificultad para ser removidos de los sistemas de tratamiento, esto puede deberse a que la mayoría de sistemas son secundarios y están diseñados para remover principalmente la materia orgánica, adicionalmente los productos de descomposición de la materia orgánica que entran al sistema incrementan las concentraciones de sales nitrogenadas y fosforadas que después deben ser removidas por el mismo sistema, el humedal por ser un sistema terciario tiene una elevada capacidad de remover las sales nitrogenadas. Siendo incluso superados en la capacidad de remover el NT por el RAFA y el sistema de lodos activados aerobio-anaerobio (figuras 5.2b).

Para el fósforo total los sistemas que incluyen filtros biológicos y los sistemas combinados son los que presentan mayor capacidad de remoción (figura 5.2a y 5.2b).

5.5.2 Eficiencias de Plantas de tratamiento de aguas residuales.

Los sistemas que incluyen biofiltro además de producir efluentes de buena calidad tienen la mayor eficiencia para tratar elevados volúmenes de agua.

Los resultados muestran que en general los sistemas anaerobios son muy eficientes en remover los contaminantes junto con los sistemas que combinan dos sistemas de tratamiento, y de acuerdo a los resultados que se obtienen en éste estudio los métodos que son más eficientes son RAFA, Humedal y los sistemas de lodos activados aerobio anaerobio y el tanque Imhoff con biofiltros tanto por el menor costo de operación que requieren como por la capacidad de remover los contaminantes y la calidad del efluente producido.

Es importante la instrumentación de medidas de eficiencia energética en las plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que este insumo muchas veces representa del 25 al 50% del presupuesto operativo de una planta. Algunos procesos consumen más energía que otros y deberán recibir una atención más cuidadosa.

Los efluentes producidos por las plantas evaluadas en general cumplen satisfactoriamente con la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, 11 plantas cumplen además con la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público y que tiene límites más estrictos, incluyendo el sistema de membrana de ultrafiltración que es la que produce las concentraciones más bajas de la mayoría de los parámetros evaluados, los biodiscos, filtros biológicos, fosa séptica con filtros biológicos, humedal en Erongaricuaró, lagunas

aereadas, lodos activados con sistema aerobio-anaerobio en Mezcala, lodos activados digestión aerobia con tratamiento de biosólidos, tanque Imhoff con biofiltros rociadores o percoladores, tanque de oxidación biológica y zanjas de oxidación con aereación extendida.

Es muy importante considerar que las PTARs que se evaluaron en este estudio en general son plantas nuevas o que muy recientemente han sido rehabilitadas, de las plantas que presentan problemas en su funcionamiento se encuentra el Humedal en Cuitzeo, que es la planta que más tiempo tiene operando de los sistemas evaluados, y que de acuerdo a la información proporcionada ha acumulado gran cantidad de lodos durante toda la vida útil de la planta, en contraste el Humedal de Erongaricuaró funciona muy bien pero es más reciente su construcción y es de una cuarta parte de extensión que el de Cuitzeo lo que facilita su mantenimiento, otro caso que es importante destacar son las plantas de lodos activados con sistema aerobio-anaerobio, ambas del municipio de Poncitlán que tienen el mismo tiempo de construcción, son de características idénticas en su construcción y tamaño, sin embargo la de Mezcala funciona de forma muy eficiente y la de San Juan Tecomatlán es menos eficiente en la remoción de algunos contaminantes, debido principalmente a que han presentado descomposturas en el equipo que son muy costosas de reparar o se dificulta por que las refacciones no se hacen o consiguen en México que es un problema común en la mayoría de las plantas de tratamiento que tienen una elevada mecanización.

Otro problema que es muy común en las plantas de tratamiento evaluadas es el considerable incremento del caudal por el agua de lluvia al sistema, ya que aumenta el flujo y la carga en las plantas de tratamiento de aguas residuales, sobrecargando el equipo y las bombas incrementando el costo de energía eléctrica y sobre todo desestabilizando los sistemas de tratamiento.

Debido al hermetismo que existe en torno a las plantas de tratamiento, varios sistemas no pudieron ser incluidos en este estudio, incluyendo nuevos sistemas de tratamiento así como los que combinan dos métodos de tratamiento que hubiera sido importante revisar, sin embargo los resultados obtenidos muestran que cualquier sistema de tratamiento que se elija es eficiente para el tratamiento de aguas residuales, siempre que funcione adecuadamente, especialmente los sistemas que tienen menor costo de operación.

Es importante remarcar que los dos métodos que en este estudio resultaron ser muy eficientes son los Humedales y el RAFA que individualmente funcionan adecuadamente y con bajos costos, y que combinados pueden ser muy eficientes, esta combinación ya está instalada en varias plantas de tratamiento en México y, que desafortunadamente no se pudo incluir ninguna en éste estudio, pero que los tomadores de decisiones en el caso de nuevas instalaciones deben de considerar como muy buena opción. Cabe mencionar que los sistemas anaerobios además de ser eficientes tienen la ventaja de producir menor cantidad de lodos y producen metano que puede ser aprovechado como un combustible para la misma operación de las plantas o para su financiamiento.

Las plantas de tratamiento para que sean eficientes, deben cumplir en lo posible con las siguientes características:

- ❖ Técnicamente adecuadas
- ❖ Económicamente viables
- ❖ No contribuir a la degradación de medio ambiente y
- ❖ No explotar los recursos naturales

5.6 Referencias.

- De la Vega-Salazar 2011 *Evaluar factores de riesgo de los recursos hídricos en la región centro occidente y determinar medidas de recuperación y protección específico a cada localidad de la región centro occidente (reporte técnico)* Refugia centro para la conservación de la ecobiodiversidad A. C. 103 p.p.
- Farrell, M. J. (1957). *The Measurement of Productive Efficiency*. Journal of Royal Statistical Society Series A 120, 253–281.
- Hernández-Sancho F., S. del Saz y R. Sala. (2007) *Eficiencia técnica y estacionalidad en los procesos de tratamiento de aguas residuales*. XVI Jornadas ASEPUMA – IV Encuentro Internacional Rect@ Vol Actas_16 Issue 1: 703
- Romero L. (2012) *Tecnología de punta en la planta de aguas residuales*. Gaceta UNAM 13 de septiembre de 2012 4453: 9
- SIARCO (2012). *Plantas de tratamiento de aguas residuales*. Sistema de información del agua de la región centro occidente. <http://www.siarco.org.mx/content/siarco> (Octubre 12 de 2012).

VI. Discusión general

6.1 Situación de los recursos hídricos

México por estar en una de las regiones de escasez física de agua debe enfrentar grandes retos para satisfacer sus necesidades de agua, y la situación tiende a agravarse debido a la sobrepoblación y a la degradación. No es posible seguir con prácticas que puedan favorecer la escasez, el uso indebido por la explotación inadecuada de las fuentes, la dilapidación y la contaminación de los recursos hídricos, que simultáneamente representan amenazas cada vez más serias para el mantenimiento de los ecosistemas y para un desarrollo ecológico y socialmente sustentable.

Los cuerpos de agua superficiales además de los servicios ambientales que proporcionan, son las fuentes de abastecimiento para el agua potable para una gran proporción de la población, cualquier medida que se realice para evitar la contaminación y la recuperación de cuerpos de agua superficiales es prioritaria para mantener este recurso.

Es importante tomar medidas que garanticen la cantidad y calidad del agua antes de que se agrave la crisis del agua en las regiones, siendo las zonas rurales las más afectadas por carecer en muchos casos del abasto adecuado de agua potable y estar sus ríos y cuerpos de agua llenos de aguas negras inservibles para sus necesidades primordiales y causando severos daños en la salud.

Como se puede ver hay mucho rezago en la gestión del agua en todo México ya que hay deficiencias en la cobertura de los servicios, a todos niveles pero principalmente en el saneamiento de agua residual.

Esto se debe a la combinación de una serie de factores que limitan la eficiencia en la gestión del agua, como son la falta de recursos económicos, la falta de continuidad de sus directivos, la deficiencia en la planeación a largo plazo, la politización de las decisiones, y en muchos casos, la rigidez en los esquemas de manejo.

Algunos de las consecuencias de este rezago que suelen afectar a las localidades son:

- ❖ Sectores de población sin servicio, principalmente las localidades rurales.
- ❖ Escasez de agua y conflictos por su uso, favorecida por las prácticas de quitar el agua a algunas regiones para abastecer a otras.
- ❖ Un elevado porcentaje de las aguas residuales que se vierten a los ríos y corrientes sin ningún tipo de tratamiento previo, causando el deterioro de las fuentes de abastecimiento.
- ❖ La contaminación del agua, cada vez mayor, incrementa la escasez y contribuye con el deterioro de la salud pública.

Es muy importante optimizar el uso de los recursos para garantizar la conservación de la calidad del agua ya que se han empleado muchos recursos para la construcción de sistemas de drenaje para sacar las aguas residuales de las comunidades pero se ha descuidado su tratamiento y recuperación.

6.2 Importancia del Saneamiento

La prevención de la contaminación del agua y del suelo es más factible si se establecen técnicas apropiadas de tratamiento y disposición de las aguas residuales. Sin embargo ningún programa de control tendrá éxito si no se cuenta con los recursos financieros para su implementación, operación y mantenimiento permanente.

En los últimos años, ha aumentado el interés en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, sin embargo es preocupante ver las dificultades que se tienen para mantener su operación y mantenimiento. El análisis de ésta situación muestra la necesidad de revisar las políticas de planeación de estas obras hidráulicas sanitarias en los aspectos técnico, financiero institucional y socio-cultural.

Para ir construyendo una infraestructura urbana sustentable, es necesario optar por tecnología alternativa que permita reutilizar los caudales y/o regresarlos a la naturaleza con buena calidad, sin hacer un uso intensivo de energía y sin producir contaminantes.

Existe una gama de tecnologías alternativas para poblaciones pequeñas y dispersas que tienen la cualidad de ser baratas, de fácil mantenimiento y amigables con el ambiente, que deben dejar de ser marginales. Este tipo de plantas de tratamiento de aguas existen hace ya varios años y están en funcionamiento en varias partes del país.

México además de contar con importantes recursos naturales, valiosos ecosistemas y un clima privilegiado que proporcionan muchas posibilidades para la aplicación de tecnologías sustentables como es el caso de los humedales artificiales, sistemas eficientes que podrían solucionar el problema del agua tanto en las zonas rurales como en centros urbanos.

Existen también procesos poco contaminantes que tratan caudales menores en plantas más pequeñas, que pueden estar al alcance de los gobiernos

municipales que no cuenten con los recursos para aplicar tecnologías costosas.

Una de las contribuciones de esta propuesta es promover la implementación de soluciones de bajo costo para proporcionar agua y saneamiento, que promuevan medidas para asegurar la sustentabilidad de los servicios, que eviten en lo posible la implementación de sistemas altamente costosos para el abasto, disposición de descargas y tratamiento del agua, y su posterior abandono o funcionamiento precario e irregular debido a lo costoso de su mantenimiento.

6.3 Gestión del agua

Una óptima gestión de los organismos operadores encargados de la construcción y operación de PTARs precisa de una visión ética que considere el impacto de sus acciones y decisiones en la sociedad y la naturaleza. Las decisiones de gestión deben orientarse hacia el combate de la pobreza y la desigualdad social, además tenemos la obligación de contribuir al cambio que se requiere para dar certidumbre y seguridad en materia de servicios de agua potable a las generaciones actuales y futuras.

No todas las localidades presentan los mismos problemas ni es posible aplicar las mismas estrategias para resolverlos. Por ello es importante que se establezcan grupos multidisciplinarios y multisectoriales que incluyan a los organismos operadores a la sociedad civil, los representantes de cuenca, los representantes del municipio responsables de desarrollo urbano, responsables de salud, líderes de opinión, etc., que realicen planes bien sustentados con una visión de largo plazo sobre su situación particular, las posibilidades de acción y los esfuerzos que cada quién deberá realizar para mejorar de manera sostenida y no sólo momentánea la problemática del agua.

Una visión alternativa para el tratamiento de agua, que sea accesible a los recursos de los municipios y de los pobladores, y sustentable con el medio ambiente, debe incluir la descentralización de las plantas de tratamiento, un cambio en los tipos de procesos que se emplean, con un costo menor a mediano y largo plazo, efectuarse a una escala menor, e incluir varios tipos de reúso que involucren a los usuarios.

Mejorar el acceso a los servicios de agua y saneamiento es fundamental para alcanzar tres de los ocho Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) asumidos por Naciones Unidas en 2000: reducir la mortalidad infantil, mejorar la salud materna, y garantizar la sostenibilidad del ambiente.

Con la construcción y operación de un mayor número de plantas de tratamiento se generará un mayor volumen de agua tratada que se podrá destinar a diferentes sectores como:

- ❖ Agrícola
- ❖ Industrial
- ❖ Público urbano

La escasez de agua podría compensarse con agua tratada favoreciendo con ello, la transferencia de volúmenes de agua de un usuario a otro sería factible, liberando importantes volúmenes de agua de primer uso en beneficio de las poblaciones.

6.4 AGUA Y DESARROLLO

6.4.1 Contribución a la salud pública

Por medio del tratamiento de las aguas residuales también se persigue reducir la incidencia de enfermedades de origen hídrico, al contribuir a

crear y fortalecer un medio armónico de convivencia entre la población y la naturaleza.

Por consideraciones de equidad, salubridad, y hasta de derecho humano, los servicios de agua deberían de cubrir a la población en su totalidad. Sin embargo la perspectiva del agua como derecho humano no ha sido suficiente para proteger el recurso, puesto que tiende a centrarse en el tema del acceso equitativo y asequible de las personas al agua potable en suficiente cantidad pero no en calidad. Al permitir que siga habiendo rezagos en el saneamiento del agua, y las aguas contaminadas lleguen a los cuerpos de agua, el acceso al agua de buena calidad para consumo humano que es una condición fundamental para el mantenimiento de buenas condiciones de salud e higiene no esta garantizado.

Con el tratamiento de las aguas residuales se puede contribuir a mejorar la calidad del agua y mejorar el nivel de vida de las comunidades, se fomenta el restablecimiento del equilibrio ecológico de los cuerpos de agua y se reduce la incidencia de enfermedades de origen hídrico.

6.4.2 Contribución al desarrollo

México es un país con una gran riqueza natural y cultural, desafortunadamente con la degradación y destrucción de muchos ecosistemas se están perdiendo los valiosos servicios ambientales y recursos naturales que podrían ser aprovechados por las comunidades. Se deben establecer alternativas para la conservación de ecosistemas frágiles considerando criterios tan diversos como los ecológicos, hidrológicos, sociales económicos y culturales que aseguren la conservación de los servicios ambientales. La recuperación de los cuerpos de agua podría a largo plazo recuperar importantes recursos naturales que pudieran emplearse para proponer proyectos productivos en las localidades.

Si bien la figura de Área Natural Protegida no se ha establecido para proteger los cuerpos de agua, ni aun cuando estén dentro de la categoría de Sitios Ramsar, su conservación implica un uso y manejo sustentable, buscando prevenir y minimizar su degradación para protegerlos debido a su valor intrínseco y ecológico, por lo que se debe buscar la participación congruente de los usuarios y ciudadanos.

El sector agrícola es el mayor consumidor de agua y al no contar con el agua suficiente y de calidad adecuada se está contribuyendo al problema de la insuficiencia alimentaria que es un problema serio en el país en estos momentos y puede ser muy grave en el futuro si no se atienden los rezagos.

Establecer medidas de conservación del recurso conforme al criterio de desarrollo sustentable permitirá no solo garantizar el abasto de agua potable para la población así como la restauración y conservación de los acuíferos mediante una correcta planeación que permita la recuperación y mantenimiento de los ecosistemas, evitando los efectos adversos por la sobreexplotación de los acuíferos entre los que destacan la intrusión de aguas salina y la contaminación con metales pesados. Mediante una correcta planeación y programación de obras y acciones se permitirá la recuperación y el mantenimiento de los mismos.

Se requiere de implementar políticas de manejo que garantice la conservación de los recursos y promueva el desarrollo sustentable como una opción que permita restaurar los ecosistemas hasta un estado más natural y sustentable y prevenir así la pérdida continua de biodiversidad, del funcionamiento del ecosistema y de integridad ecológica y mantener los recursos naturales susceptibles de ser aprovechados para el desarrollo socioeconómico del país.

6.5 Cultura de manejo sustentable del agua

Resulta fundamental difundir la información, de la severa problemática ambiental en especial de los recursos hídricos que permita concientizar y capacitar a los tomadores de decisiones, consejos de cuenca y a la sociedad en general en cuanto a la severa problemática de los recursos naturales y específicamente el agua y difundir la información de las tecnologías sustentables del uso y manejo de los recurso hídrico y su conservación para fomentar la cultura de manejo realmente sustentable del agua y la conservación de los ecosistemas que son la principal fuente de suministro de recursos naturales.

Otra aportación que pretende este trabajo al difundir sistemas de tratamiento eficientes es fomentar la participación activa en las decisiones y aplicación de las medidas propuestas tanto de las autoridades municipales como de los habitantes de las comunidades, contribuyendo a la cultura ambiental y la importancia de la participación social, así como a fortalecer la creación y consolidación de redes con otros organismos sociales, empresariales y de cuenca que adopten prácticas sustentables del manejo de los recursos hídricos.

Es muy importante el reconocimiento de que el acceso a la información es una condición básica para contribuir a la participación social en el control de los procesos vinculados a los recursos hídricos y de que, en condiciones de escasez del recurso, los sectores sociales más vulnerables, los que tengan menor oportunidad para expresar sus necesidades y los medios de solución, tendrán menor oportunidad de conservar sus recursos. En virtud de ello, se debe tratar de asegurar que los procesos participativos de gestión del agua se fundamenten en principios democráticos que establezcan los mecanismos para que todos los sectores y actores sociales interesados tengan derechos, acceso a la información y a la toma de decisiones.

Por último, hay que insistir en la falta de conciencia de la población en cuanto a los efectos ambientales que causan las prácticas actuales de los servicios que recibe. La población exige agua potable dentro de su casa y un drenaje adecuado para deshacerse de ella después de usarla, incluso lucha por esto como una reivindicación social fundamental, sin embargo, lo que suceda después con los desechos líquidos queda fuera de sus preocupaciones que se puede considerar como una actitud irresponsable. En contraste abrir las puertas de las plantas de tratamiento y a las decisiones de gestión del agua puede favorecer a la concientización de las comunidades para involucrarlas en la búsqueda de soluciones en las que todos participen, pero principalmente sean parte de la solución.

La gestión del agua es un problema complejo que debe abordarse desde varios aspectos pero lo más importante es reconocer que las medidas como se están llevando hasta ahora promueven el uso irracional de los recursos sin desarrollar una cultura de manejo sustentable en la que debemos participar todos.

6.6 Conclusiones

La conservación y el manejo del agua requieren en principio de la evaluación del modelo de uso del agua y evaluar los instrumentos de la política hídrica vigente que incluye la Ley de Aguas Nacionales y las Normas oficiales mexicanas que a pesar de los años que tienen operando no están siendo aplicadas de forma eficiente para disminuir la problemática ambiental.

Es necesario replantear las modalidades de manejo sectorial del agua, que desconocen, ignoran y perjudican sus usos posibles y tornan poco viables la conservación y preservación del sistema hidrológico. Las soluciones puntuales que suponen la privatización y fragmentación del ciclo del agua tienden a empeorar la situación actual.

Se ha alterado de tal manera el ciclo hidrológico por la construcción de infraestructuras, sin las debidas consideraciones ambientales, colocando la demanda humana por arriba de su oferta natural. El enfoque de las políticas de agua actuales, hechas de forma fragmentada y orientadas por el consumo, han contribuido a la severa problemática por la continua degradación de los ecosistemas.

Es fundamental para conservar los recursos hídricos:

- ❖ Promover prácticas de uso del agua eficientes y que preserven el medio ambiente, buscando reducir el desperdicio y contaminación de agua y aumentar su conservación en el uso doméstico, industrial, extractivo, comercial, de servicios y de riego.
- ❖ Crear mecanismos eficientes de información, a través de programas educativos formales y no formales, para todos los niveles de la sociedad, sobre la importancia del agua para la salud, bienestar y economía; sobre la escasez de los recursos hídricos, sobre el impacto de las prácticas de utilización del agua y la necesidad de proteger y conservar los recursos hídricos finitos pero reciclables.
- ❖ Investigar la viabilidad de establecer métodos que aseguren el reuso y tratamiento de las aguas residuales desde su origen para asegurar que las aguas residuales **nunca** sean descargadas al ambiente.
- ❖ Estimular el desarrollo y la aplicación de sistemas de tratamiento de agua residual y de gestión del agua **en su totalidad** y que sean sustentables.

Los servicios que brindan los ecosistemas son costosos y a menudo imposibles de reemplazar. Los ecosistemas intactos tienen más probabilidad de conservar la capacidad para mantener la producción de bienes y servicios para enfrentar las alteraciones ambientales futuras, tales como el cambio climático. Por esa razón, las decisiones relacionadas con los recursos hídricos siempre deben incluir provisiones para mantener la integridad de los ecosistemas de agua dulce.

Es primordial evaluar la gestión actual de los recursos hídricos que además de la sobreexplotación de los mantos acuíferos, requiere de invertir considerables recursos para llevar el agua de una región a otra y están permitiendo la descarga de aguas residuales al ambiente empleando los ríos principalmente como canales de aguas negras, lo que propicia que se estén contaminados en su totalidad los recursos hídricos del país, incrementando el rezago en el abasto de agua segura en muchas otras regiones.

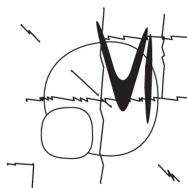
El cumplimiento de los compromisos internacionales son importantes porque han ayudado a dar más servicios a las comunidades pero no han contribuido a reducir los problemas de contaminación del agua, por ejemplo el manejo actual de los sistemas de drenaje al sacar el agua residual de las comunidades desafortunadamente también están contribuyendo a la contaminación y a la falta de interés y conciencia de la ciudadanía en que la solución que debe ser conjunta incluyendo todos los sectores.

Es importante considerar la construcción de drenajes pluviales que evitan que se mezclen el agua de lluvia y las aguas negras, esta medida puede reducir considerablemente la cantidad de agua a tratar y evitaría severos problemas a las plantas de tratamiento en operación que en la temporada de lluvias tienen que tomar medidas, para evitar que los enormes caudales desestabilicen sus procesos lo que propicia que una proporción importante de aguas negras se vierta a los cuerpos de agua sin tratamiento.

Todas éstas prácticas pone en riesgo garantizar la conservación del recurso para las futuras generaciones comprometiendo el acceso al agua a costos razonables y en consecuencia la economía, la seguridad, la salud y hasta la estabilidad social, por lo que es necesario hacer una revisión profunda de las políticas de la gestión del agua.

Hay que promover el uso de tecnologías sustentables que garanticen que el agua residual reciba tratamiento y la calidad del agua obtenida proteja efectivamente la salud de las poblaciones y los ecosistemas.

IMPRESO EN LOS TALLERES DE



VISION | MPRESA

LUISA 10, COL. NATIVITAS
DELEG. BENITO JUÁREZ
03500, MÉXICO, D.F.

TEL./FAX: 5590-2977

vision_impresa@yahoo.com.mx