



Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Planeación Urbana y Regional



“Alternativas para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas, Tres Casos de Estudio, en el Estado de México.”

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

PRESENTA:

ELIZABETH KARINA CAMACHO CALZADA

DIRECTORES DE TESIS:

Dr. en C. ALVARADO GRANADOS ALEJANDRO RAFAEL

M. en D.M. DÍAZ CUENCA ELIZABETH

Toluca de Lerdo, Estado de México; Mayo de 2013

ÍNDICE	Pág.
Siglas y acrónimos.....	1
Resumen.....	2
Antecedentes.....	3
Introducción.....	6

Capítulo I: El agua y su aprovechamiento en la sociedad

1.1 El ciclo hidrológico.....	10
1.2 El agua en la sociedad.....	12
1.2.1 Usos del agua.....	15
1.2.1.1 Clasificación de los usos del agua.....	16
1.2.1.2 Usos consuntivos del agua en el Mundo y en México.....	17
1.3 Contaminación del agua.....	18
1.4 Agua residual y agua residual doméstica.....	21
1.5 Tratamiento del agua residual.....	22
1.5.1 Tratamiento convencional y alternativo para el agua residual doméstica en México.....	24
1.5.1.1 Procesos de tratamiento con tecnología convencional para la depuración del agua residual.....	27
1.5.1.2 Procesos de tratamiento con tecnología alternativa para la depuración del agua residual.....	28
1.6 Tren de tratamiento del agua residual.....	29
1.6.1 Proceso de tratamiento primario.....	31
1.6.2 Proceso de tratamiento secundario.....	32
1.6.3 Proceso de tratamiento terciario.....	36
1.7 Calidad del agua.....	37
1.7.1 Evaluación de la calidad del agua.....	39

Capítulo II: Marco normativo y programático del agua residual en México

2.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.....	43
2.1.1 Ley de Aguas Nacionales.....	43
2.1.2 Ley Federal de Derechos. Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales.....	45
2.1.3 Normas Oficiales Mexicanas.....	46
2.2 Constitución del Estado de México.....	50

2.2.1 Ley del Agua del Estado de México.....	50
2.2.2 Código Administrativo del Estado de México.....	51
2.3 Programas del agua en el Estado de México.....	52
2.3.1 Programa Hidráulico Integral del Estado de México 2002-2025.....	54
2.3.2 Programa Federal de Saneamiento de Aguas Residuales (PROSANEAR)	54
2.3.3 Programa de incentivos a la Inversión en el Tratamiento de Aguas Residuales en Zonas Turísticas.....	54
2.3.4 Programa Fondo para el Tratamiento de Aguas Residuales.....	54
2.4 Comisión del Agua del Estado de México.....	54

Capítulo III: Características y comparación de tres alternativas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

3.1 Humedal Natural y Artificial.....	57
3.2 Sistema Unitario de Tratamiento y Reúso de Aguas Nutrientes y Energía (SUTRANE).....	66
3.3 Sistema Integral de Abasto y Saneamiento de Agua con Descarga Cero (SIASA ₀).....	77
3.4 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y Humedal I-SEDAGRO, Metepec, Estado de México.....	89

Capítulo IV: Resultados de los tres sistemas comparados SUTRANE, SIASA₀ y Humedal

4.1 Comparación de semejanzas y diferencias del SUTRANE, SIASA ₀ y Humedal	97
4.2 Subsistemas para valorar procesos de saneamiento de aguas residuales domésticas.....	98
Conclusiones	103
Fuentes Consultadas	107
Anexo 1. Metodología	117
Anexo 2. Glosario	118

Índice de Figuras

Figura 1. Procesos de tratamiento de aguas residuales municipales 2010.....	7
Figura 2. Componentes del Ciclo Hidrológico.....	11
Figura 3. El agua en la sociedad, su apropiación y sus implicaciones.....	14

Figura 4. Tratamiento de aguas residuales.....	24
Figura 5. Estrategias alternas de tratamiento del agua residual.....	29
Figura 6. Secuencia de procesos y etapas del tren de tratamiento.....	30
Figura 7. Humedal de flujo superficial y sub-superficial.....	59
Figura 8. Humedal de flujo sub-superficial horizontal y vertical.....	64
Figura 9. Componentes del (SUTRANE).....	67
Figura 10. a) Biodigestor y b) Trampa de grasas del (SUTRANE).....	73
Figura 11. Filtro biofísico del (SUTRANE).....	73
Figura 12. a) Campo secundario y b) Tanque recolector del (SUTRANE).....	74
Figura 13. Fosa recolectora del agua tratada del (SUTRANE).....	75
Figura 14. Tratamiento de aguas grises en el (SIASA ₀).....	81
Figura 15. El venturi y el ozonador en el (SIASA ₀).....	81
Figura 16. Tratamiento de aguas negras en el (SIASA ₀).....	82
Figura 17. Componentes del (SIASA ₀).....	87
Figura 18. Procesos de Tratamiento en la Planta SEDAGRO I.....	89
Figura 19. Proceso biológico aerobio.....	93
Figura 20. a) Desinfección a través de luz ultravioleta y c) humedal.....	94

Índice de cuadros

Cuadro 1. Volumen de los usos consuntivos del agua.....	17
Cuadro 2. Tipos de contaminación del agua.....	18
Cuadro 3. Principales sustancias que contaminan el agua.....	19
Cuadro 4. Escalas de clasificación de calidad del agua.....	41
Cuadro 5. Parámetros fisicoquímicos y biológicos en las NOM.....	49
Cuadro 6. Ventajas y desventajas de los humedales.....	65
Cuadro 7. Ventajas y desventajas del (SUTRANE).....	71
Cuadro 8. Ventajas y desventajas del (SUTRANE), caso de estudio.....	76
Cuadro 9. Ventajas y desventajas del (SIASA ₀).....	84
Cuadro 10. Ventajas y desventajas del (SIASA ₀), caso de estudio.....	88
Cuadro 11. Ventajas y desventajas de la Planta tratadora de agua residual Metepéc, Estado de México.....	95
Cuadro 12. Semejanzas y diferencias de los tres sistemas evaluados.....	97
Cuadro 13. Variables para valorar los procesos de saneamiento de aguas residuales domésticas según subsistemas.....	101

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

CAEM Comisión Estatal del Agua y Saneamiento del Estado de México.

CONAGUA Comisión Nacional del Agua.

CIESAS Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social.

EPA Environmental Protection Agency.

FAO Sistema de Información del Agua y Agricultura.

IMTA Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

INEGI Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.

Insi tu «en el sitio» o «en el lugar».

LGEEPA Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.

OMS Organización Mundial de la Salud.

Per cápita la suma de todos los bienes y servicios finales producidos

por un país en un año, dividido por la población estimada para mediados del mismo año.

REDPA Registro Público de Derechos del Agua.

ONU Organización de las Naciones Unidas.

PNUMA Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

SEMARNAT Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SIASA₀ Sistema Integral de Abasto y Saneamiento de Agua con Descarga Cero.

SINA Sistema Nacional de Información del Agua.

SUTRANE Sistema Unitario de Tratamiento y Reúso de Aguas Nutrientes y Energía.

UNESCO Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura.

Resumen

El agua es un recurso natural, indispensable para el desarrollo de los ecosistemas, por lo que es importante implementar compromisos a nivel social, político y ambiental que logren mantener el equilibrio para la conservación y el aprovechamiento, con una racionalidad socio-ambiental. El líquido estudiado en esta investigación es catalogado por la ONU como un recurso finito (ONU, 2012), y su acceso es actualmente en México, un derecho humano fundamental.

Por lo anterior la problemática específica de la demarcación tomada en esta investigación es el tratamiento del agua residual generada en las viviendas dentro del Estado de México, que en la actualidad utilizan el líquido de manera dispendiosa y que después de su uso existe la costumbre de arrojar el agua residual a los ríos cercanos sin ningún tratamiento, convirtiéndolos en pozos negros, de los cuales, con frecuencia son fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano, ocasionando el riesgo de producir epidemias, éstas últimas, pueden evitarse, en la medida en que se depura el agua residual, mediante procesos de ordenación y de gestión de los recursos hídricos, que deben ser un objetivo prioritario para cualquier sociedad.

En consecuencia resulta indispensable disponer de una adecuada planeación y tecnología actualizada para solucionar el problema del saneamiento, infraestructura hidráulica, además de inversiones económicas, así como la instrumentación de iniciativas como el reforzamiento de los mecanismos institucionales disponibles para desincentivar las conductas contaminantes de los diversos usuarios; el desarrollo de una normatividad específica para la evaluación, monitoreo y control de la contaminación difusa, así como promover los programas de reforestación intensiva asociada a la conservación de suelos en cuencas hidrográficas prioritarias.

Antecedentes

En el Valle de México durante el siglo XIX inició la distribución de agua por red municipal a los hogares lo cual requirió de avances tecnológicos, entre ellos, los sistemas de bombeo y tuberías capaces de resistir presiones elevadas para llevar un caudal suficientemente grande. En el mismo siglo Roberto Gayol construyó una red de alcantarillado que se extendía de poniente a oriente, según la pendiente del terreno, que drenó hacia el Gran Canal del desagüe, inaugurado en el año de 1900 por Porfirio Díaz (CIESAS, 2003).

Actualmente el Gran Canal del Desagüe drena la parte baja de la ciudad con el auxilio de doce plantas de bombeo por la ruptura de pendiente durante su recorrido, originado por los hundimientos diferenciales, que son consecuencia del sobre aprovechamiento del agua subterránea. El agua residual de esta obra sale del mencionado Valle a través de los dos túneles de Tequixquiac, que drenan hacia la cuenca del río Tula, en donde se aprovecha el líquido para el riego agrícola (CIESAS, 2003).

Es por esto que el manejo del agua requirió de infraestructura para su operación, que fue ofrecida inicialmente por los gobiernos locales, sin embargo, a partir de 1926 inició la política hídrica orientada a incrementar la oferta de agua para los diversos usos, sobre todo agrícolas, mediante la construcción de obras civiles, que comprendieron, entre otros, una importante red de presas, acueductos, pozos, sistemas de potabilización, redes de suministro y de alcantarillado, en todo el país, esto permitió el acceso de agua entubada a más del 80% de los hogares y la existencia de una extensa superficie de riego agrícola, la sexta más grande del mundo (Suarez, 1998).

Dichas políticas proporcionaron una respuesta eficaz a los requerimientos hídricos de la ciudad y siguiendo los mismos modelos, del país, lamentablemente también heredaron problemas graves, como una creciente sobreexplotación de acuíferos, contaminación de cuerpos de aguas superficiales y subterráneas, desigualdad en los servicios de agua potable entre otros (Lahera, 2003).

Posteriormente, en el año de 1954 inició la etapa de depuración del agua a través de la instalación de la primera planta de tratamiento de aguas residuales instalada en el Bosque de Chapultepec, con la finalidad de usar su efluente para el riego de esta importante área verde urbana y el llenado de los lagos, en el 2013 la planta sigue en operación con los mismos procesos de depuración (SEMARNAT, 2009).

Bajo este modelo de uso y aprovechamiento del agua, durante 1966 se instalaron 29 plantas de bombeo en todo el país y se entubaron, por la importancia del caudal en una zona urbana y plana, tres ríos del Distrito Federal: el río Consulado, el Mixcoac-la Piedad y el Churubusco, lo que implicó aumento en los costos de operación y mantenimiento de la infraestructura instalada, así como el desalojo del agua sin un segundo uso (SEMARNAT, 2009).

A pesar de ello, el problema de la contaminación hídrica incremento y los tres niveles de gobierno decidieron adoptar enfoques de política pública y una nueva institucionalidad, con énfasis en la conservación del ciclo hidrológico, para el manejo y la gestión integral del agua con fines a lograr la mejoría de las condiciones de vida de la población presente y futura (SEMARNAT, 2009).

En este sentido, en el año de 1994, el Gobierno del Estado de México decide poner en operación una serie de plantas de tratamiento de aguas residuales como la Toluca Norte y Toluca Oriente que beneficiaron directamente a los habitantes de los municipios de Toluca, Metepec, Lerma y San Mateo Atenco; las plantas de tratamiento fueron aprobadas por el Gobierno del Estado de México a través de la entonces Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas, a pesar de ello, el aspecto del río Lerma no registra ninguna mejoría. (CONAGUA, 2007).

En los posteriores años CONAGUA 2010 reportó que el mayor índice de contaminación se presenta en la cuenca Lerma-Santiago, la del Balsas y las aguas del Valle de México. Por tal situación en 2011 el Gobierno Federal, a través de la Comisión Nacional del Agua, inició la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales más grande del país, la cual está ubicada en el municipio de Atotonilco de Tula, Hidalgo.

Cabe destacar que la planta tiene la capacidad para tratar 23 m³/s, con incremento adicional para manejar los gastos de aguas pluviales que se mezclan con las aguas residuales en 12.0 m³/s. (SEMARNAT, 2009).

Esta planta de tratamiento es una de las piezas más importantes del Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México (PSHCVM) establecido por el Gobierno Federal para solucionar integralmente el manejo del agua en la zona más poblada del país. Se pretende que esta obra mejore las condiciones sanitarias de la población y permita utilizar agua tratada en la agricultura además de facilitar la tecnificación de los sistemas de riego y la producción de cultivos de mayor valor agregado (SEMARNAT, 2009).

A lo largo de la historia del drenaje puede observarse cómo en cada período la importancia de las obras cambia de escala. Sin embargo aún no ha terminado la tarea, por lo que las obras siguen en aumento, adaptando las instalaciones del drenaje hacia donde crecen las áreas pobladas (Mier, 1991). En síntesis con todos los esfuerzos realizados con las grandes plantas de tratamiento que implican el traslado del agua residual por las tuberías de la ciudad, no se ha resuelto el problema del agua residual en México, en ninguna de sus regiones hidrológicas.

Introducción

Desde la perspectiva humana, el agua es un recurso vital, que ayuda a satisfacer necesidades productivas para su desarrollo. Por ello, es imperioso considerar la sobreexplotación como generadora de problemas de escasez así como al exceso de contaminación a nivel mundial, por su uso inadecuado del agua en las regiones y localidades (OMS, 2010). Ante esta situación, que es muy grave en el Estado de México, es importante empezar a implementar tecnologías alternas, para llevar a resultados distintos a los obtenidos que han contribuido al problema de la contaminación por falta de tratamiento del líquido (SEMARNAT, 2009).

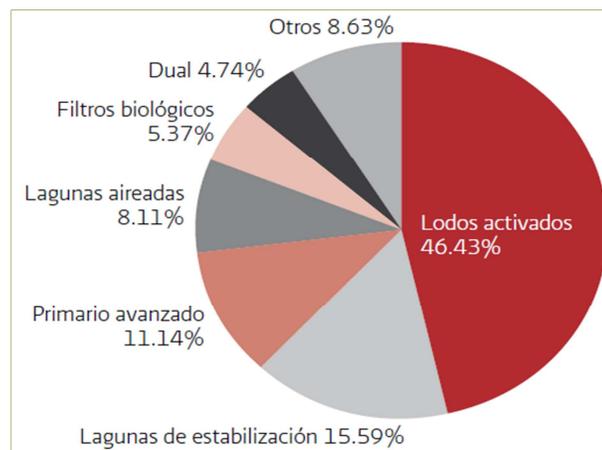
Por lo que es sustancial destacar que con el mejoramiento de la calidad de los efluentes domésticos, se contribuye al reúso de este líquido, que impacta favorablemente en las fuentes de abastecimiento, sin embargo, la práctica común en la mencionada entidad federativa, es descargar el agua residual doméstica sin depuración, a los cuerpos receptores, que los contamina y reduce la posibilidad de su aprovechamiento, aguas abajo.

Por consiguiente, existe la preocupación por sanear el agua antes de su descarga, tal como lo establece la meta del Programa Nacional Hídrico 2030 donde se instituye que la totalidad de las aguas captadas deberán tener tratamiento para el mencionado año, a partir de reconocer que en 2011 sólo se depuro el 43% de las aguas captadas, lo cual no corresponde con el cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana 001-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (SEMARNAT, 2011).

Por lo anterior el Gobierno Federal, establece un México con acceso universal al agua potable y alcantarillado, donde la distribución de redes hidráulicas en las ciudades permita tener la confianza de tomar agua de la llave y la disponibilidad de agua en zonas rurales mediante el fomento de tecnologías de captación y potabilización *in situ*, así mismo el impulso de programas de apoyo para el suministro de los servicios de agua en polígonos de pobreza (SEMARNAT, 2011).

Adicional al problema de tratamiento de las aguas residuales, existe un importante rezago en la dotación de los servicios de agua potable, que afecta principalmente a las zonas rurales. CONAGUA (2012) reporta que en México operan 2,029 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, que utilizan distintos procedimientos, como se ilustra en la figura 1. Cabe destacar que dentro ellas el principal proceso utilizado es el de lodos activados. Sin embargo dicho sistema tiene por desventaja la generación de un residuo sólido que en ocasiones es problemático, toda vez que genera un flujo de sustancias del agua hacia el suelo.

Figura1. Procesos de tratamiento de aguas residuales municipales 2012



Fuente. SINA, 2010.

En tal sentido los problemas asociados con el suministro, drenaje y tratamiento de las aguas, así como el impacto que éstos tienen en la vida nacional, hacen necesaria una gestión que tome en cuenta los intereses de todos los involucrados y favorezca su organización (Ortiz, 2010). Por ello en la búsqueda de contribuir al esfuerzo federal en materia de saneamiento del agua, esta investigación tiene como objetivo, analizar y comparar tres alternativas para tratamiento de aguas residuales domésticas ubicadas en el Estado de México, para identificar ventajas y desventajas en cada situación particular, que sirvan en la toma de decisiones, con base en lo anterior los objetivos específicos que se plantean son:

1.- Identificar usuarios con tecnologías alternativas para el tratamiento del agua residual doméstica en el Estado de México.

2.- Caracterizar los sistemas de tratamiento identificados.

3.- Cotejar los sistemas de tratamiento de agua residual considerados, tomando en cuenta la opinión de los usuarios.

4.- Establecer ventajas y desventajas entre los sistemas de tratamiento, para formar recomendaciones y advertencias para el uso de estas tecnologías.

Por lo demás la elaboración de esta investigación radica con la intervención operativa y metodológica que se trabajo en el proyecto de Investigación con clave de registro UAEM- CA-152 a partir del 2011 a cargo del Cuerpo Académico Desarrollo, Ambiente y Procesos de Configuración Territorial de la Facultad de Planeación Urbana y Regional, en el cual se propone identificar y evaluar alternativas que ayuden a minimizar el efecto de contaminación del agua residual a nivel local.

Capítulo I.

El agua y su aprovechamiento en la sociedad



1.1 El ciclo hidrológico

Se puede decir que el ciclo del agua es una sucesión de etapas, que opera desde una altura de 15 kilómetros arriba del nivel terrestre y 5 kilómetros bajo el suelo. Así, mientras sobre los océanos se produce la evaporación de agua, sobre los continentes se produce la evapotranspiración y sublimación. Una vez que el agua llega en forma de vapor a la atmósfera, se enfría y precipita, sobre las superficies continentales y oceánicas; cuando la precipitación llega a las superficie continental, una parte del agua va a dar directamente a lagos y ríos, de donde pasa a los océanos; otra constituye la humedad del suelo y es absorbida por la vegetación, que luego es transpirada por las hojas (Campos, 1998).

Enseguida el resto del agua, se filtra y acumula en el suelo y el subsuelo, en lo que se denomina zona de saturación, en un depósito de agua subterránea denominado acuífero, que es una formación geológica, que permite la acumulación y transporte del agua, cuya superficie es el nivel freático, mismo que, en condiciones normales se eleva, de forma intermitente, según sucede la recarga, para luego declina, como consecuencia del drenaje continuo en desagües como los manantiales, que son de carácter natural (Campos, 1998).

Además el ciclo natural atraviesa por una fase llamada fuente de abastecimiento, que es el punto donde el agua se desvía o aparta, temporalmente, para ser usada por la sociedad, que la regresa finalmente a la naturaleza; que la provee de cierto grado de auto-purificación; sin embargo, hay que considerar que la velocidad a la que se verifica este proceso depende de la naturaleza y cantidad del material contaminante, así como de las condiciones y características físicas, químicas y biológicas del agua (Bueno, 1997).

El ciclo hidrológico, involucra procesos de movimiento recirculatorios y permanentes, en el primero destaca el agua superficial, que es aquella que circula o está en reposo sobre la superficie terrestre, formando cuerpos hídricos naturales o artificiales, normalmente se distinguen dos tipos: Las aguas loticas que son corrientes que se mueven en una misma dirección como ríos, manantiales, arroyos etc. y las aguas lenticas o estancadas que la conforman lagos, lagunas y pantanos (Campos, 1998).

Menciona Carrillo (2003) que un proceso permanente es el agua subterránea, esta se forma a partir de la infiltración de las lluvias y se encuentra bajo la superficie terrestre; la existencia y comportamiento de este elemento depende de factores como el clima, el relieve, la naturaleza de los suelos, la estratigrafía, etc.; y su dinámica es un factor determinante de la vegetación y paisaje del medio ambiente (Arreguín, 1998).

Según la ONU (2011) a nivel global, el agua subterránea representa veinte veces más que el total de las aguas superficiales de todos los continentes e islas, de ahí la importancia de esta agua como reserva; además que suelen ser más difíciles de contaminar que las superficiales, pero cuando esta contaminación se produce, es difícil de eliminar ya que presentan un ritmo de renovación muy lento.

Figura 2. Componentes del Ciclo Hidrológico



Fuente. Campos, 1998.

1.2 El agua en la sociedad

Los filósofos griegos, hablaban del agua como uno de los cuatro principales elementos que constituían el universo: aire, tierra, agua y fuego. Uno de estos personajes, llamado Tales de Mileto, en su afán por explicar el origen de las cosas, llegó a considerar al agua como el principio de todo lo que existe, posiblemente por su importancia vital (Paul, 1982).

Más tarde en el año de 1785 Lavoisier llegó a descomponer el líquido por electrólisis y demostró que el agua está compuesta por la combinación de oxígeno e hidrógeno; tiempo después en el año de 1805, en su afán por la investigación sobre la composición del agua los científicos Louis-Joseph, Gay-Lussac y Von Hirmbolt determinaron la proporción de cada elemento, que da como resultado la formula química del agua compuesta por dos elementos: las propiedades y características químicas de dichos elementos sirven de base para entender la reacción, de la cual resulta el compuesto: H_2O ; que posee propiedades excepcionales y distintas a las de sus componentes, por lo que es necesaria para el desarrollo de la vida (Rincón, 2001).

Es por esto que se distingue una de las esferas de nuestro planeta que es la hidrósfera, formada por el agua, con dinámicas en todos los ámbitos del astro donde vivimos: litosfera, atmósfera y biosfera (Prieto, 2004). En lo que tiene relación con la conformación de nuestro planeta que consta por un 25% de tierra y 75% de agua, de esta última, el 97.5% es salada ubicada en los océanos, y el 2.5% restante, es agua dulce distribuida en otros cuerpos de agua continentales. Esta mínima proporción, es utilizada por la sociedad para desarrollar un sinnúmero de actividades que le han permitido vivir, evolucionar y desarrollarse, como el resto de los seres vivos (PNUMA, 2008).

Este compuesto químico se encuentra en la naturaleza en grandes cantidades, en estado líquido formando lluvias, ríos y océanos; en estado sólido para dar lugar a la nieve, el granizo y el hielo; mientras que en el estado gaseoso se presenta como vapor de agua que está presente en la atmósfera, en cantidades variables;

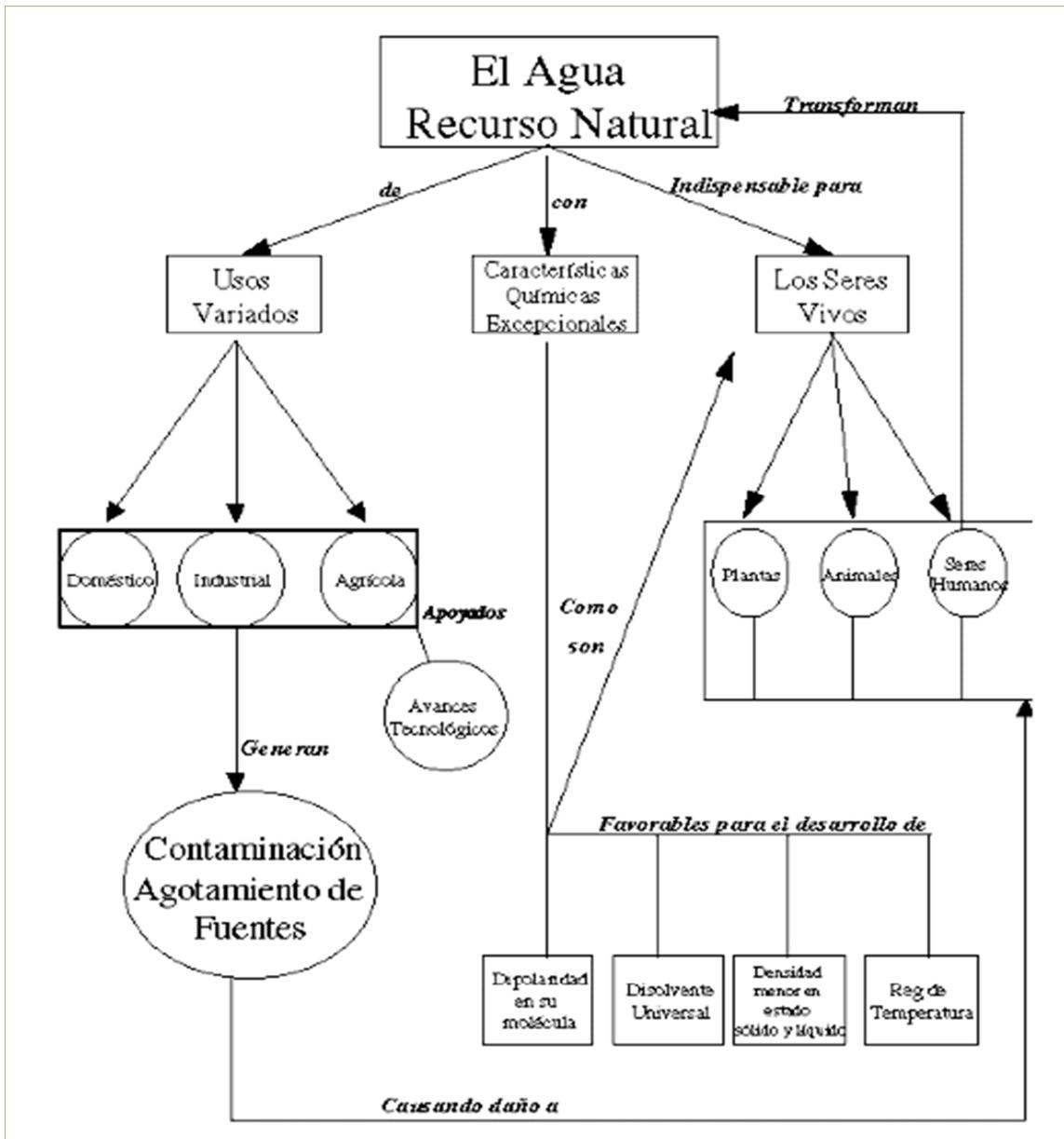
estos tres estados están presentes en el ciclo del agua; el paso de un estado a otro implica cambios energéticos, donde existen pérdidas y ganancias lo cual garantiza la permanencia del líquido en la naturaleza, conjuntamente con los otros Ciclos Bio-geoquímicos (Prieto, 2004).

En síntesis se ha identificado que el manejo de los recursos hídricos es un importante componente de orden social, estableciéndose desde que el hombre tiene la necesidad de actuar en colaboración para facilitar el logro de intereses comunes, incluyendo en el aprovisionamiento de alimento, refugio y abrigo; es entonces que surge el valor del agua (Carabias,2005).

Por lo anterior en las actividades humanas, el agua se ha convertido en un medio fundamental para la producción de alimentos, la industria, la construcción, el crecimiento y vida de las plantas, la cría de los animales y en el aseo en general, estos esquemas de utilización han prevalecido durante décadas y han determinado desajustes y conflictos crecientes como la escasez, agotamiento de acuíferos, sequías, inundaciones, deslaves, erosión hídrica, azolvamiento, salinización, hundimientos diferenciales, contaminación de cuerpos de agua, degradación de hábitats acuáticos, entre otros procesos que amenazan la salud humana y la de los ecosistemas y comprometen la continuidad de la mayor parte de los procesos productivos (Carabias, 2005).

En tanto el agua es un recurso renovable, ya que es parte de un ciclo natural continuo e interminable, sin embargo, se puede contaminar por las actividades humanas y volverse no útil para muchos de sus propósitos e, incluso, volverse nociva para los seres vivos que la utilizan (Campos 1998). De manera similar, Alvarado y otros (2012), plantearon el concepto del proceso de manejo del agua, como el tránsito del agua a través de la sociedad que la utiliza para distintos fines y finalmente la reincorpora a los cuerpos receptores, figura 3.

Figura 3. El agua en la sociedad, su apropiación y sus implicaciones



Fuente. Suarez, 1998.

No obstante su acceso debe considerarse como un derecho fundamental, inalienable, individual y colectivo, haciendo de la ética, la base de una buena sociedad humana y una economía justa (PNUMA, 2008).

1.2.1. Usos del agua

Además de las funciones vitales del líquido, el agua en la sociedad se concreta a través de los usos que de ésta se hace para diversas actividades: productivas, recreativas, domésticas y personales, los cuales implican frecuentemente la transformación de su calidad, por la adición de sustancias, así como por cambios en su temperatura o afectaciones en las fuentes de abastecimiento; en tal sentido, la Ley de Aguas Nacionales define al uso del agua, como la aplicación del recurso en una actividad que implique el consumo, parcial o total del líquido (Delgado,2005).

Según la finalidad del recurso, Prieto (2004), divide el uso del agua en tres categorías que incluyen:

- Primer orden, donde el agua se emplea directamente, para satisfacer necesidades personales entre las que destacan el consumo directo, la higiene personal, el lavado de utensilios, ropa, alimentos, etc.;
- Segundo orden, cuando el líquido se emplea para el riego de cultivos agrícolas, la cría de animales terrestres y acuáticos y;
- Tercer orden, que utiliza el agua como disolvente, para enfriar maquinaria diversa, o como vía de transporte en los ríos, lagos y mares.

De acuerdo con el destino del recurso, los usos del agua pueden ser consuntivos y no consuntivos; según la Ley de Aguas Nacionales se determina como la diferencia del volumen de una calidad que se extrae, menos el volumen de una calidad que se descarga al cuerpo hídrico (IMTA, 2008). En contraparte, los usos no consuntivos son aquéllos en los que el agua se utiliza en el cuerpo de agua o con un desvío mínimo, y que regresa al mismo, después de haber tenido uso, aunque, en ocasiones, regrese con cambios en sus características físicas, químicas o biológicas (Ortiz, 2010).

1.2.1.1. Clasificación de los usos del agua

Todos estos usos contribuyen de manera significativa a la economía del territorio y al desarrollo socioeconómico de los sitios y de las actividades donde es aprovechada, Díaz (2003) clasifica los usos del agua en:

a) Uso público urbano: El líquido se utiliza en viviendas, comercios y servicios, el efluente presenta exceso de materia orgánica y microorganismos a las redes de alcantarillado, es importante considerar la depuración antes de ser vertida al cuerpo receptor Díaz (2003).

b) Uso industrial: El agua es aprovechada para la transformación de productos, generalmente se manejan sustancias contaminantes: minerales y orgánicas, que modifican la calidad del agua, algunas industrias cuentan con plantas de tratamiento con el fin de hacer una depuración parcial del agua residual (Gordo, 1979).

c) Uso doméstico: Consiste en el efluente que contiene residuos orgánicos, nutrientes, grasas y aceites, por el consumo en nuestra alimentación, fines higiénicos y servicios (Gordo, 1979).

d) Uso agropecuario: Es la aplicación del agua, para el riego destinado a la producción agrícola, la limpieza de establos, para la cría intensiva de ganado y todas las acciones relacionadas con estas actividades económicas. En consecuencia, es frecuente que las aguas residuales contengan fertilizantes, abonos y pesticidas usados en la agricultura y la ganadería, y éstos pueden infiltrarse al subsuelo causando su contaminación (Guzmán, 2007).

Estos usos son los que transforman al recurso, sobre todo al modificar su calidad y reducir su capacidad para ser aprovechada en otros fines, por lo que Suarez (1998) estableció una serie de relaciones entre los usos y sus consecuencias.

1.2.1.2. Usos consuntivos del agua en el Mundo y en México

Datos de la ONU (2011) señalan que la disponibilidad del agua para uso humano corresponde a menos del 1% equivalente a 200 000 km³ del recurso hídrico. Distribuida en el continente americano con el 47% del agua mundial, seguido por Asia con el 32%, Europa 7%, África 9%, Australia y Oceanía con solo el 6%. Estos datos apuntan a la distribución desigual del agua en las distintas regiones del planeta.

El consumo de agua, está en constante dinámica y varía según el tipo de actividad de cada lugar, en el cuadro 1 se presenta el porcentaje total de los principales usos del agua en el Mundo y México (Ortiz, 2010).

Cuadro 1. Volumen de los usos consuntivos del agua 2011

Usos del agua	En el Mundo		En México	
	Volumen total (km ³)	% de extracción	Volumen total (km ³)	% de extracción
Agrícola	2310.5	71	61.8	76.7
Industrial	652.2	20	3.3	4.1
Público	290.6	9	11.4	14.1

Fuente. CONAGUA, 2010; FAO, 2009 y SEMARNAT, 2005.

De acuerdo a la evolución socioeconómica que se ha presentado en estas últimas décadas, el uso que se hace del agua va en aumento en relación con la cantidad de agua disponible. Sin embargo, si el consumo de recursos hídricos *per cápita* sigue creciendo al ritmo actual, dentro de 25 años el hombre podría llegar a utilizar más del 90% del agua dulce disponible, dejando sólo un 10% para el resto de especies que pueblan el planeta. Actualmente, a escala mundial, el 71% de la extracción anual de agua para uso humano se destina a la agricultura principalmente para riego; la industria representa el 20% y el consumo doméstico hogar, agua para beber, saneamiento representa aproximadamente el 9% (CONAGUA, 2010).

1.3 Contaminación del agua

La contaminación del recurso hídrico es el grado de impurificación, que está relacionado con la forma en que el hombre utiliza los recursos de la tierra y se agrava desde los primeros intentos de industrialización, para transformarse en un problema generalizado, presente en todos los lugares del mundo (Jiménez, 2001).

En tanto que la Organización Mundial de la Salud (2010), define a la contaminación, como las modificaciones de las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua. En tal sentido, Prieto (2004), plantea que en consecuencia, los usos del agua pueden hacer perder su potabilidad para el consumo diario, por lo que es importante buscar alternativas de solución que reduzcan los niveles de contaminación antes de su regreso a los cuerpos receptores.

En síntesis la presencia de sustancias químicas o de otra naturaleza en concentraciones superiores a las condiciones naturales, causan la contaminación, siendo la principal causa de la degradación de la calidad de agua superficial y subterránea (Turk, 1973).

Cuadro 2. Tipos de contaminación del agua

Contaminación	Descripción
Natural	Se origina por el exceso de nutrientes con ausencia humana, en ella están presentes restos de animales, vegetales, minerales y sustancias gaseosas, que se disuelven cuando los cuerpos de agua atraviesan diferentes terrenos. Normalmente estas fuentes son dispersas y no provocan concentraciones altas de contaminantes, excepto en algunos ecosistemas concretos como son los pantanos.
Artificial	Es el resultado de la interacción entre la sociedad y la naturaleza, para la transformación de su medio ambiente, derivado de la actividad industrial, agropecuaria, doméstica o de cualquier otra índole

Fuente. Elaboración propia con base en: Bueno, 1997 y Prieto, 2004.

Por lo demás una agrupación de las principales sustancias contenidas en el agua residual, se formula a partir de la consulta a diversos autores y queda descrita en el cuadro 3.

Cuadro 3. Principales sustancias que contaminan el agua.

Contaminantes	Descripción
Desechos Orgánicos	Son el conjunto de residuos que incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir en procesos con consumo de oxígeno. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno.
Sustancias Químicas Inorgánicas.	Están compuestas de ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo, que en cantidades altas causan daños a los seres vivos, disminuyen los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua.
Nutrientes Inorgánicos	Son sustancias solubles en agua, que las plantas y microorganismos necesitan para llevar a cabo los procesos, en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando la eutrofización de las aguas.
Compuestos Orgánicos.	Son moléculas orgánicas como petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, detergentes, etc. permanecen en el agua, en algunos casos, largos períodos de tiempo, presentan estructuras moleculares complejas difíciles de degradar por los microorganismos.
Sedimentos y materiales Suspendidos.	Son partículas arrancadas del suelo y arrastradas a las aguas, junto con otros materiales; la turbidez que provocan en el agua dificulta la vida de algunos organismos.
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas; si es descargada sin tratamiento al medio ambiente, su estabilización biológica puede llevar al consumo del oxígeno natural y al desarrollo de condiciones sépticas.
Microorganismos Patógenos	Son organismos como virus, protozoos existentes en las aguas residuales, transmiten enfermedades como cólera, tifus, gastroenteritis, hepatitis, etc. Normalmente estos microbios llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas.

Fuente. Elaboración propia con base en: Bramucci, 2000; Bitton, 1999; Delfino, 2002 y Llagas, 1999.

En cuanto a las fuentes de contaminación del agua pueden ser puntuales y no puntuales, por lo que Turk (1973), plantea que las primeras descargan contaminantes en localizaciones específicas a través de los sistemas de alcantarillado, que verte su carga en puntos concretos de los cuerpos receptores, debido a que captan el agua residual de una superficie en las áreas urbanas; son fáciles de identificar, monitorear y en ocasiones regular. En los países desarrollados, muchas descargas industriales están estrictamente controladas, mientras que en los países subdesarrollados, dichas sustancias con frecuencia no son controladas y tampoco reguladas (Bueno, 1997).

Las fuentes no puntuales provienen de extensiones de terrenos donde se descargan contaminantes al agua superficial y subterránea; pueden incluir los vertimientos de sustancias químicas por los fertilizantes agregados a las tierras de cultivo, la infiltración de materia orgánica generada por lotes de pastura para ganado, tanques sépticos y deposición ácida, entre otras (Herráez, 1989).

Por las características del sistema hidrológico en México, se requiere poner en práctica iniciativas y acciones en diversas áreas estratégicas, tanto para construir la infraestructura de protección y seguridad de los cauces, como de tratamiento de las aguas residuales que se descargan a las corrientes, además de controlar las fuentes de contaminación puntual y difusa que utilizan los arroyos y los ríos como zonas de descarga, con la consiguiente afectación de la calidad de sus corrientes y de los ecosistemas circundantes (SEMARNAT, 2011).

Se establece en la Agenda del Agua 2030 que en la lucha por limpiar y preservar las barrancas, cauces y corrientes de agua, deberá prestarse atención por igual a las contaminaciones procedentes de la agricultura, la industria y los servicios urbanos. Para cada caso, se requieren políticas y programas eficaces y bien orientados hacia los actores que generan la contaminación y que deben responsabilizarse de evitarla o corregirla mediante los tratamientos o cambios necesarios en sus sistemas de producción (SEMARNAT, 2011).

1.4 Agua residual y agua residual doméstica

Delgado (2005) define al agua residual como la acción o efecto donde el hombre introduce sustancias contaminantes a los cuerpos hídricos, estas sustancias pueden alterar la cantidad y calidad del agua, con relación a los usos posteriores y su función ecológica. Es por esto que de acuerdo con la procedencia del agua residual es posible hacer una predicción del tipo de contaminantes que contendrá el líquido. Para caracterizar con precisión el tipo y concentración de contaminantes descargados, es necesario llevar acabo muestreos y determinaciones analíticas (Ciriano, 2005).

Por naturaleza todo cuerpo de agua tiene la capacidad de depurar asimilar y transformar cierta cantidad de contaminantes especialmente los orgánicos. Sin embargo dicha capacidad con frecuencia es sobrepasada por el nivel y variedad de contaminantes generados por la población (Eaton, 2005).

Por otro lado para Ramalho (2003) el agua residual de tipo doméstico es el efluente generado por las viviendas, a partir de que es utilizada para la preparación de los alimentos, aseo personal, W.C, entre otros; la composición del efluente es de materia orgánica que contiene residuos alimenticios, heces, material vegetal, sales minerales, materiales orgánicos y materiales diversos como jabones y detergentes sintéticos; que se desechan al alcantarillado sin un previo tratamiento (Mara, 1976).

Los niveles de cantidad y la calidad del agua pueden controlarse desde las viviendas, implementando estrategias de manejo, para el aprovechamiento sustentable del recurso; una medida de prevención es poner atención a los productos utilizados en las viviendas, que algunas veces son causantes de alterar las características del agua, como son los jabones, limpiadores y otros químicos caseros (Brix, 1999).

Según Metcalf (1994 a) el agua puede ser tratada de manera sencilla, haciendo uso de métodos que tienen como objetivo imitar al ciclo del agua, con el propósito de ayudar a la naturaleza en el periodo parcial para la depuración del agua residual. Típicamente el tratamiento del agua residual doméstica, consta de la separación física de sólidos orgánicos, seguido de la conversión progresiva de materia biológica a subproductos, este proceso puede generarse a partir de las fases aerobia o anaerobia, después el agua puede ser reutilizada (Luna, 1998).

Por otra parte Acosta (2008) diferencia dos tipos de agua de acuerdo a la carga de material orgánico; la de nominada agua gris y agua negra; las aguas grises son todas aquellas que son usadas para nuestra higiene corporal o de nuestra casa y sus utensilios. Básicamente son aguas con jabón, algunos residuos grasos de la cocina y detergentes biodegradables; por su parte las aguas negras son las que resultan de los sanitarios y que por su potencial de transmisión de parásitos e infecciones conviene tratar por separado con sistemas de bioreactores (Grupo de Estudios Ambientales, 1990).

Es importante señalar que las aguas grises pueden transformarse en aguas negras si son retenidas sin oxigenar en un tiempo corto. El tratamiento es sencillo si contamos con el espacio verde suficiente, aprovechando la capacidad de oxigenación y asimilación de las plantas del jardín o el huerto. En caso de no contar con el espacio suficiente, las aguas grises deben ser sometidas a un tratamiento previo que reduzca el contenido de grasas y de materia orgánica en suspensión, para posteriormente ser mezcladas con las aguas negras y pasar a un tren de tratamiento (Bueno, 1997).

1.5 Tratamiento del agua residual

El término tratamiento de aguas residuales tiene como propósito depurar el exceso de nutrientes presentes en el agua, este tipo de efluentes generalmente son transportados por los sistemas de alcantarillado hacia una corriente hídrica (Mara, 1976).

Según Ramalho (2003) los sistemas de tratamiento de agua residual, conjuntan una serie de procesos de tipo primario, secundario y terciario, cuya finalidad es la eliminación y reducción de la contaminación, basados en valores máximos permisibles de acuerdo a las normas y estándares nacionales e internacionales, para llegar a acuerdos que garantizan la calidad de agua requerida según los usos previos (Guido, 1999).

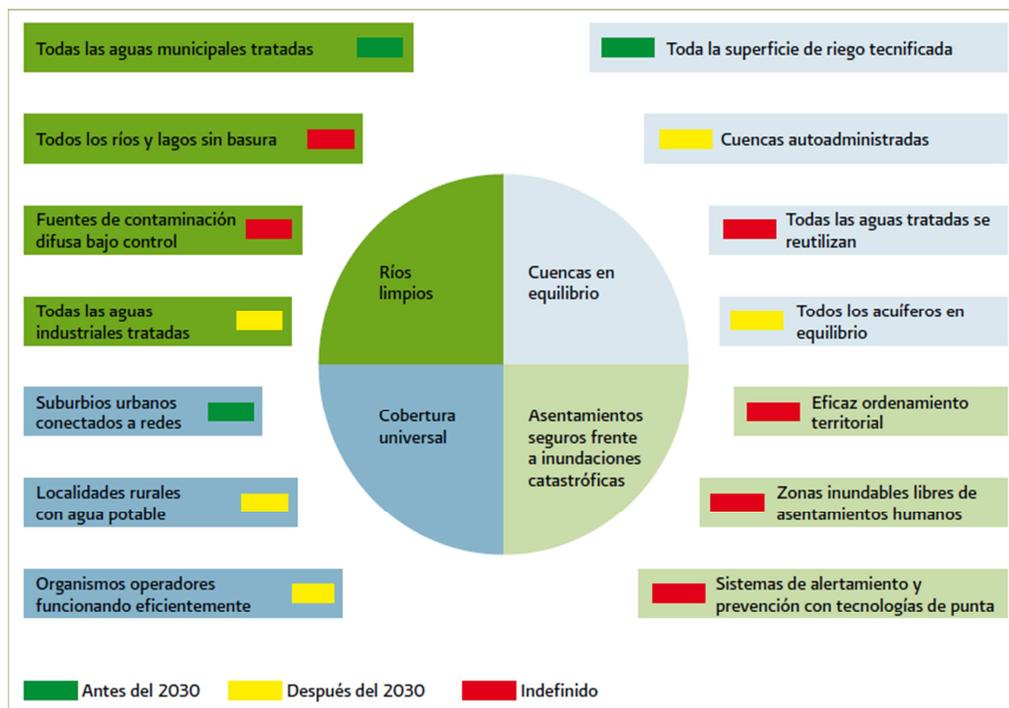
Citando lo antes dicho el arreglo de procesos para tratar el agua residual, varía en función del origen, propiedades y disposición final del líquido que se depura; así mismo debe considerar la relación de elementos circundantes como las condiciones culturales y del medio ambiente (Romero, 2004).

El tratamiento a nivel domiciliario obedece a los mismos principios biológicos que las grandes plantas depuradoras, sin embargo es posible mejorar la eficiencia en la relación costo por metro cúbico de agua tratada, si se observan algunos principios básicos tales como la separación de las aguas grises y negras, el consumo racional y limitado de detergentes y la exclusión de productos químicos agresivos en la limpieza cotidiana (Moreno, 2003). Por lo anterior es importante destacar que la complejidad de un sistema apropiado de tratamiento a nivel casero está en relación directa con nuestra cultura de consumo (Arboleda, 1992).

Es sustancial tener presente que el sistema de tratamiento más adecuado debe ser el que considere las condiciones específicas del medio ambiente, incluidas las culturales (Mara, 1976). Puesto que la instalación de los sistemas de tratamiento no solo debe contemplar eficacia en la depuración, sino también debe analizar la relación de los elementos circundantes, las necesidades particulares, el costo, el mantenimiento, el reúso, y la utilización o disposición de los subproductos de la depuración (Guzmán, 2007).

Por lo anterior se presentan en la figura 4 las iniciativas que son el resultado del proceso 2030; donde se plantean cambios y aspectos que se ubican dentro del ámbito de la política hídrica, algunas tocan aspectos que rebasan el ambiente del Sistema Nacional de Gestión Hídrica, que lo afectan de forma tan relevante que se convierten en obligatorias (SEMARNAT, 2011).

Figura 4. Tratamiento de aguas residuales



Fuente. SEMARNAT, 2011.

1.5.1 Tratamiento convencional y alternativo para el agua residual doméstica en México

Existen diferentes técnicas que realizan la depuración del agua residual, pueden clasificarse por la energía utilizada; los gastos de construcción, de operación y de mantenimiento; los subproductos que se generan; los impactos al ambiente; su aceptación social; así como por la generalización en su uso (Tyler, 1995).

Para este último criterio de distinción de técnicas de depuración del agua residual, podemos distinguir las convencionales y las alternas; las primeras, son aquellas usadas comúnmente, y por lo tanto, aceptadas sin discusión al interior de un grupo social, como si estuviera convenido o pactado y se asume por costumbre, e incluso, llega a tomarse como la norma (Suarez, 1998). En contraposición, está lo alternativo, que se refiere a todo aquello que se diferencia a lo convencional, pero que es capaz de alternar con las mismas o semejantes funciones y resultados.

Bajo estas premisas, las tecnologías convencionales son aquellas usadas por la mayoría de la población, para atender las necesidades productivas y de la vida cotidiana, mientras que las alternativas surgen ante las insuficiencias de las tecnologías convencionales, y en muchos casos algunas de ellas alcanzan a desplazar a las establecidas, en un proceso dialéctico de constante cambio (Díaz, 2003). Mismas que se presentan como una opción para la depuración del agua residual en asentamientos humanos dispersos y que cuentan con el servicio de alcantarillado o de tratamiento (Suarez, 1998).

Cabe destacar que las alternativas analizadas en esta investigación están: el Sistema Unitario de Tratamiento y Reuso de Aguas Nutrientes y Energía (SUTRANE), el Sistema Integral de Abasto y Saneamiento de Agua con Descarga Cero (SIASA₀) y Humedales, mismos que se eligieron principalmente por su procedimiento simple, costos relativamente bajos comparativamente bajos de insumos, bajos costos de mantenimiento, pero principalmente por su armonía con el equilibrio con la naturaleza y culturalmente mejor aceptable al ámbito rural (Seoanez, 1995).

Luna (1998) hace referencia a que es importante evaluar la experiencia para la selección del sistema de tratamiento que se desea implementar en las localidades que así lo requieran, debiendo considerar los siguientes aspectos: la normatividad establecida, la población de proyecto y caudal a tratar, el análisis de las aguas residuales, las características fisiográficas, uso de suelo y topografía de la zona, el tipo de sistema de tratamiento a emplear y la operación y mantenimiento requerido, estos datos básicos se pueden resumir como sigue:

1.- Normatividad establecida

Es necesario conocer la normatividad vigente en la República Mexicana, para establecer los parámetros de control en la elaboración de un proyecto de tratamiento de aguas residuales, para que todos los estudios preliminares se hagan de acuerdo a lo estipulado en dichas normas. La legislación para el tratamiento de aguas residuales y su disposición quedan registradas en la Ley de aguas Nacionales y algunas Normas Oficiales Mexicanas (Loyola, 1994).

2.- Población de Proyecto y caudal a tratar

El caudal a tratar se encuentra en función de la población y es importante considerar varios factores que inciden en la población como son: la presión demográfica, productividad, tecnología entre otros (Luna, 1998).

3.- Análisis de las aguas residuales

La composición de las aguas residuales es variable, en sus características físicas, químicas y biológicas; los cambios son horarios, diarios y estacionales. Esto se debe, a los usos que se hacen del agua suministrada a la población; ya que ciertas actividades se realizan en periodos determinados, lo cual se manifiesta en la composición de las aguas residuales (Guido, 1999).

4.- Características fisiográficas, uso de suelo y topografía de la zona.

Es importante describir la denominación y las características de la población, analizar aspectos climatológicos, orográficos, geológicos, hidrográficos y topográficos de la zona (Lahera, 2003).

Lo anterior se tiene que complementar con la descripción de los aspectos sociales, donde describan la ubicación, vías y medios de comunicación más importantes que convengan a la zona de estudio, población actual, principales ramas de actividad, clasificación de viviendas, servicios públicos y usos de suelo. Tiene que ser descritos además los sistemas de agua potable, alcantarillado sanitario y pluvial, desde su origen hasta su punto final (Guido, 1999).

Por ello, para lograr ríos limpios, será necesario que las plantas de tratamiento existentes y las que se construyan en un futuro operen de manera eficiente para garantizar que sus efluentes cumplan con las normas respectivas, así como conectar las redes de alcantarillado a las plantas, construir nueva infraestructura municipal e industrial y fomentar el reúso del agua residual tratada (SEMARNAT, 2011).

En lo que tiene relación con lo establecido en la Agenda del Agua 2030 donde se menciona la necesidad de construir un sistema financiero viable y auto-sostenible, para lograr la construcción, operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento que se requieran. En estos términos lograr y mantener ríos limpios, es quizá uno de los desafíos económicos y ambientales de mayor importancia de los que habrán de enfrentarse en las próximas décadas (SEMARNAT, 2011).

1.5.1.1 Procesos de tratamiento con tecnología convencional para la depuración del agua residual

Las aguas residuales vertidas en mayor volumen como las utilizadas para la industria o servicios, necesitan ser depuradas mediante las plantas de tratamiento convencionales antes de regresarlas al cuerpo receptor; con frecuencia, la depuración del agua residual inicia por el pre-tratamiento, que consiste en retirar los sólidos de mayor tamaño, empleando un sistema de rejillas, seguido por el tratamiento primario que consiste en la separación física, donde es retirado el material con dimensiones medianas; posteriormente pasa por la etapa del desarenado que consta de la remoción de arena; al pasar por esta serie de etapas el agua está en condiciones para la sedimentación donde los materiales orgánicos se depositan por gravedad y posteriormente son retirados; frecuentemente a este primer proceso se pueden incorporar otros métodos como la coagulación y la floculación que ayudan a que el agua quede con menores cantidades de residuos sólidos (Solís, 2011).

Las plantas tienen tanques recolectores donde reciben el agua presedimentada por el anterior proceso, en este segundo proceso se lleva a cabo la descomposición de la materia orgánica de forma aerobia o anaerobia, permitiendo la reproducción y el desarrollo de los microorganismos que mantienen en equilibrio el proceso de tratamiento de agua residual mediante la digestión (Bramucci, 2000).

Después del proceso secundario, normalmente surgen dificultades por el alto volumen de lodos generados por algunas plantas tratadoras, muchas de ellas aun no cuentan de un posterior método que permita aprovechar los nutrientes contenidos en los lodos activados (Metcalf, 1996).

Para la reutilización del efluente, es necesario implementar el tratamiento avanzado que incluye pasos adicionales como: la ósmosis inversa, la desinfección con ozono, la precipitación, la filtración y/o la cloración, estas etapas se usan para reducir los niveles de nutrientes, especialmente los fosfatos y nitratos, para mejorar la calidad del agua (Eaton, 2005).

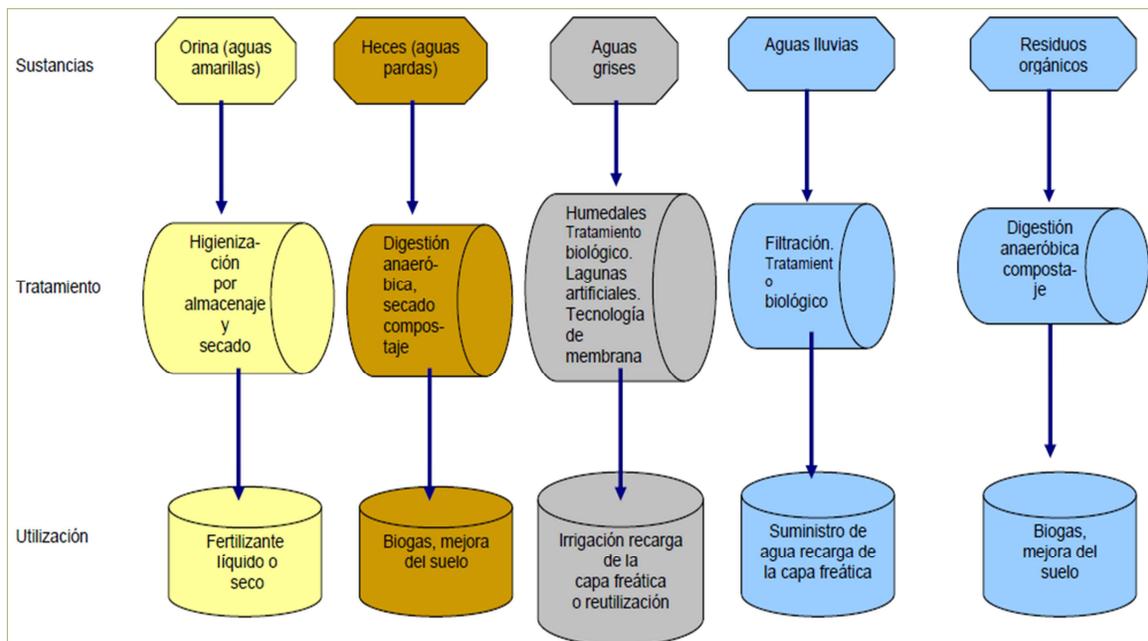
1.5.1.2 Procesos de tratamiento con tecnología alternativa para la depuración del agua residual

Las tecnologías alternas se presenta como un enfoque sostenible para el manejo de los desechos humanos y de la naturaleza, que promueven la prevención de enfermedades a la salud, la conservación del ambiente y el reúso de nutrientes, consta de una serie de etapas que actúan en conjunto, tratando de imitar a la autodepuración de la naturaleza, hacen uso de la principal fuente de energía que es sol y la gravedad (Guzmán, 2007).

En tanto que el desarrollo y manejo de estas técnicas dependen de condiciones locales, en especial las costumbres de los habitantes, al influir en la capacidad de aceptación de nuevas prácticas de saneamiento. La cantidad de agua tratada va ser menor volumen ya que estos métodos son diseñados para particulares (Tyler, 1994).

En la siguiente figura 5 se presentan estrategias alternativas para dar el respectivo tratamiento a las sustancias generadas por el uso del agua, que están causando algún tipo de afectación a los recursos naturales; con la finalidad de aprovechar los nutrientes contenidos en este tipo de sustancias y posteriormente reutilizarlos para la mejora del ambiente (Loyola, 1994).

Figura 5. Estrategias alternativas de tratamiento del agua residual



Fuente. Bramucci, 2000.

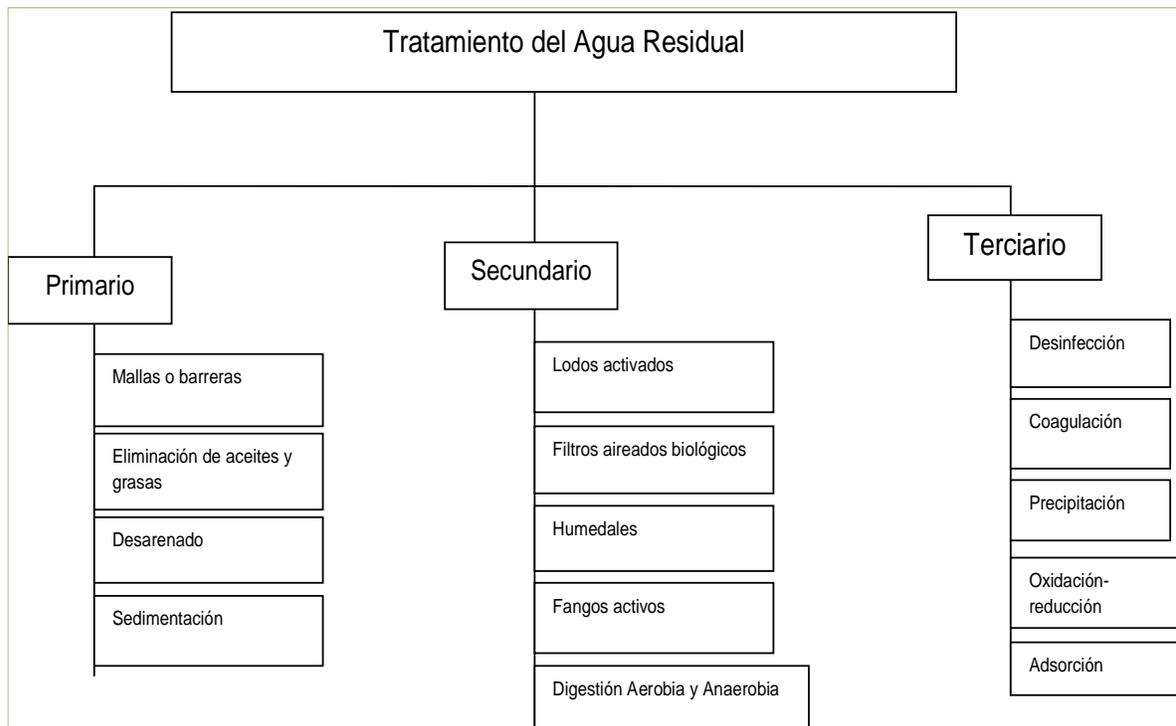
1.6 Tren de tratamiento del agua residual.

El tren de tratamiento es una sucesión de procesos unitarios que son conjuntados para realizar, de manera individual o colectiva, la remoción de cada uno de los contaminantes indeseables, o para mejorar las propiedades del agua (Romero, 2004).

Dichos procesos de depuración pueden ser primarios, secundarios o avanzados que se refiere especialmente a la eliminación del nitrógeno y fósforo, y que son explicados en los apartados siguientes; como actividades encaminadas a la depuración que pueden contener distintas etapas del proceso, según el diseño de cada planta de tratamiento; suelen estar formados por una secuencia de transformaciones físicas, químicas o biológicas, dentro de estas últimas pueden ser aerobios o anaerobios, que se complementan entre sí, para la depuración de los contaminantes (Ruiz,2008).

Esta serie de procesos, puede usarse para la potabilización o para el saneamiento del agua; dicha sucesión de operaciones se plantea a partir de procesos y etapas, como se muestra en la figura 6.

Figura 6. Secuencia de procesos y etapas del tren de tratamiento



Fuente: Elaboración propia con base en: Romero, 2004; Rojas, 1977 y Seoanez, 1995.

1.6.1 Proceso de tratamiento primario

Consiste en la remoción física de los aceites, grasas y sólidos gruesos como plásticos, piedras, trapos, entre otros, cuyas dimensiones pueden obstruir o dificultar los procesos consecuentes, mediante rejillas ó mallas, cámaras de grava; tanques de sedimentación, entre otros (Rojas,1977). En algunos casos se hace uso del tratamiento preliminar, que consiste en la eliminación de residuos voluminosos fácilmente separables, equiparable con el tratamiento primario (Luna, 1998).

Algunos autores como Gordon (1979) y Kalbermatten (1980), las actividades que se realizan durante el proceso primario las consideran como pre-tratamiento, toda vez que consisten en la eliminación de materiales a partir de procesos físicos, fácilmente separables.

Etapas del proceso de tratamiento primario

a) Remoción de sólidos

En esta etapa se eliminan los sólidos gruesos, son diseñadas de un material corrosivo para evitar el desgaste con la fricción del paso del agua, el continuo uso de esta etapa, presenta acumulación de residuos, por lo cual el mantenimiento tiene que ser constante y efectivo (Rojas, 1977).

b) Eliminación de aceites y grasas

Las grasas pueden causar daños en los procesos de limpieza por su viscosidad, obstruyendo las rejillas de menor tamaño o ductos, impidiendo la correcta aireación en el proceso de tratamiento. Para contrarrestar el problema, se colocan trampas de aceites, que pueden ser tubos horizontales abiertos en la parte superior de los tanques, con el fin de captar la película de aceites y grasas que flotan en el agua (Ruiz, 2008).

c) Desarenador

Esta etapa incluye un canal de arena donde la velocidad del flujo tiene que ser controlado para permitir que las partículas de arena sedimenten e impidan que lleguen a los reactores del tratamiento posterior ya que la arena no removida puede dañar el equipo (Metcalf, 1994).

d) Sedimentación

La función básica de la sedimentación es separar las partículas suspendidas del agua mediante fuerzas gravitacionales para obtener un líquido homogéneo capaz de ser tratado biológicamente (Tomé, 2009).

Existen tres tipos de sedimentación, de acuerdo con la naturaleza de las partículas solidas que se encuentran en suspensión:

- Sedimentación discreta. En esta sedimentación las partículas mantienen su tamaño, forma y densidad durante el proceso, por lo tanto la velocidad de su sedimentación es constante (Tomé, 2009).
- Sedimentación floculante: para este caso, debido a la coalescencia, el diámetro efectivo de las partículas aumenta por lo que cambia tanto la gravedad específica como la velocidad de la sedimentación (Tomé, 2009).
- Sedimentación zonal: este tipo de sedimentación se presenta con lodos biológicos o químicos cuando los sólidos suspendidos exceden concentraciones de 500mg/l. (Tomé, 2009).

1.6.2 Proceso de tratamiento secundario

Dentro de las etapas que forman el proceso de depuración del agua residual, el tratamiento secundario tiene como objetivo limpiar el agua de impurezas orgánicas, cuyo tamaño es menor a las que se pueden captar por el tratamiento primario (Moreno, 2003).

Los objetivos del tratamiento biológico son tres: el primero consiste en reducir el contenido en materia orgánica de las aguas; el segundo reduce el contenido en nutrientes, y el tercero elimina los patógenos y parásitos. Estos objetivos se logran por medio de procesos aeróbicos y anaeróbicos, en los cuales la materia orgánica es metabolizada por diferentes rangos bacterianos (Henry, 1993).

Etapas del proceso del tratamiento secundario

a) Lodos activados

Ávila (2008), menciona que los dos objetivos principales del sistema de lodos activados son: la oxidación de la materia biodegradable en el tanque de aireación y la floculación que permite la separación de la biomasa nueva del efluente tratado. Este sistema permite una remoción de hasta un 90% de la carga orgánica pero tiene algunas desventajas: en primer lugar requiere de instalaciones costosas y la instalación de equipos electromecánicos que consumen un alto costo energético. Por otra parte produce un mayor volumen de lodos que requieren de un tratamiento posterior por medio de reactores anaeróbicos y/o su disposición en rellenos sanitarios (Ronzano, 1995).

b) Proceso biológico aerobio

La materia orgánica que queda disuelta y en suspensión así como el resto de las partículas sólidas que no se han eliminado en los tratamientos anteriores, son eliminadas mediante los denominados procesos biológicos de depuración aerobia, que en la línea de aguas constituyen los tratamientos secundarios (Ruíz, 2008).

Los procesos biológicos de depuración aerobia, son aquellos realizados por determinados grupos de microorganismos principalmente bacterias y protozoos que en presencia de oxígeno, actúan sobre la materia orgánica e inorgánica disuelta, suspendida y coloidal existente en el agua residual, transformándola en gases y materia celular, que puede separarse fácilmente mediante sedimentación (Ávila, 2008).

c) Proceso biológico anaerobio

Consiste en una serie de procesos microbiológicos, donde sucede la digestión de la materia orgánica con producción de metano. Es un proceso en el que pueden intervenir diferentes tipos de microorganismos principalmente por bacterias. Presenta una serie de ventajas frente a la digestión aerobia: generalmente requiere de instalaciones menos costosas, no hay necesidad de suministrar oxígeno por lo que el proceso es más barato y el requerimiento energético es menor. Por otra parte se produce una menor cantidad de lodo (el 20% en comparación con un sistema de lodos activados), y además este último se puede disponer como abono y mejorador de suelos (Salgado, 1991).

Además es posible producir un gas útil. Para el tratamiento anaerobio a gran escala se utilizan rectores de flujo ascendente con un pulimento aerobio en base de filtros percoladores y humedales tratados en un campo de oxidación antes de infiltrar al suelo y los lodos extraídos necesitan tratamiento adicional (Moreno, 2003).

d) Filtros aireados biológicos

Son tanques circulares con diferentes profundidades dependiendo del porcentaje de agua a tratar, al tanque se le aplica un roció continuo de aguas negras por medio de aspersores que rotan en la superficie, el agua negra se filtra por medio de la grava, dejando con el paso del tiempo una película de materia orgánica que contiene bacterias oxidantes, a medida que el agua sigue fluyendo las bacterias siguen estabilizando el agua, una vez que el líquido llega al fondo es recolectada por bloques de desagüe. Esta etapa se puede complementar con un segundo tanque de filtración compuesto de arena donde se trabaja con películas más delgadas de contaminantes (Rojas, 1977).

e) Humedales

Son áreas de tierra inundada que se conocen también como pantanos, con poca profundidad para que la vegetación pueda llegar a la parte inferior y pueda sostenerse en el suelo firme. Las plantas en este sitio provee a la superficie de una película de bacterias, ayuda en la filtración y absorción de componentes, transfiere oxígeno y controla el crecimiento de algas al evitar la penetración de la luz solar (Lahora, 2001).

Los humedales ofrecen todas las capacidades de tratamiento de los pantanos naturales. Se han desarrollado dos tipos de sistemas de humedales para el tratamiento de las aguas residuales: Los sistemas de flujo superficial y de flujo sub-superficial (García, 2005).

f) Fangos activos

La etapa de fangos activos usa una variedad de mecanismos y procesos para usar oxígeno disuelto y promover el crecimiento de organismos biológicos que remueven substancialmente la materia orgánica, bajo condiciones ideales, convierte el amoníaco en nitrato, y en última instancia a gas nitrógeno, los fangos dependen de su composición y del tipo de agua residual del que proviene. (Seoanez, 1995).

g) Digestión aerobia y anaerobia

La digestión es un proceso microbiológico, las reacciones se producen en un tanque cerrado en ausencia de oxígeno y reduce el contenido en materia orgánica de un 45% a un 60% (Britton, 1999).

Esta etapa se puede llevar a cabo por dos fases la digestión aerobia y anaerobia; la primera es un proceso bacteriano que ocurre en presencia del oxígeno, bajo condiciones aeróbicas; las bacterias consumen rápidamente la materia orgánica y la convierten en dióxido de carbono; Una vez que haya una carencia de la materia orgánica, las bacterias mueren y son utilizadas como alimento por otras bacterias; esta etapa del proceso se conoce como respiración endógena (Grady, 1998).

Resumiendo Gómez (2006) menciona que el proceso anaerobio consiste en una serie de procesos microbiológicos que convierten la materia orgánica en metano en ausencia de oxígeno; esta puede dividirse en dos fases, que consiste en digestores primarios y secundarios, en la fase primaria, el fango se mezcla constantemente con el propio gas producido para favorecer la digestión, mientras que en el secundario simplemente se deja sedimentar el fango antes de extraerlo (Grady, 1998).

1.6.3 Proceso de tratamiento terciario

El tratamiento terciario está dirigido a la reducción final de contaminantes químicos, la eliminación de patógenos y parásitos, esta serie de etapas son implementadas con el propósito de aumentar la calidad del efluente antes de que sea descargado al cuerpo hídrico receptor (Ruíz, 2008). Algunas de las etapas del tratamiento consisten en la precipitación, la filtración y/o la cloración, se usan para reducir drásticamente los niveles de nutrientes inorgánicos, especialmente los fosfatos y nitratos del efluente final (Arboleda, 1992).

Etapas del tratamiento terciario

a) Desinfección

La desinfección consta de la eliminación de microorganismos; esta fase logra hacer el agua de nuevo apta para el abastecimiento de necesidades agrícolas o para el uso en riego de áreas verdes (Arboleda, 1992). El agua turbia será tratada con menor éxito puesto que la materia sólida puede blindar organismos, especialmente de la luz ultravioleta, por lo anterior se presentan limitantes como el tiempo de contacto cortos, dosis bajas y altos flujos estos factores influyen en contra de la desinfección eficaz del líquido (Santegoeds, 1998).

b) Coagulación

La coagulación consiste en la dosis de determinados compuestos químicos que provoquen la descarga de los fluidos y en consecuencia permita dejarlos en condiciones que puedan ser separados posteriormente (Metcalf, 1996).

c) Precipitación

La precipitación se basa en la eliminación de un contaminante mediante el uso de un producto químico y su transformación en compuesto insoluble, que luego será eliminado por decantación (Romero, 2004).

d) Adsorción

La adsorción permite la retención de uno o varios contaminantes sobre la superficie de un sólido. El adsorbente más utilizado es el carbón activado, que tiene gran capacidad para la adhesión de iones metálicos y compuestos orgánicos (Santegoeds, 1998).

1.7 Calidad del agua

La calidad del agua se define, de acuerdo con el contenido de sustancias presentes y de acuerdo con el uso específico que se le vaya a dar al agua. Para conocer con precisión las sustancias que están contenidas en el agua residual es necesario llevar a cabo muestreos representativos y determinaciones analíticas (Bitton, 1999).

Por lo general, la calidad se determina comparando las características físicas, químicas y biológicas de los cuerpos hídricos superficiales y subterráneos, la modificación de estas afectan la capacidad del agua para sustentar tanto a las comunidades humanas como la vida vegetal y animal (SEMARNAT, 2011).

Según Carabias (2005) a lo largo del tiempo han surgido cambios importantes en la calidad del agua, debido a las formas de consumo y modos de producción de la sociedad, reflejando en la escasez, contaminación y de manera particular por el creciente sobrecalentamiento del planeta, que ha provocado variabilidad climática como inundaciones y sequías de larga duración; el impacto de este último factor es mayor ya que definirá los espacios hídricamente ricos, reducirá la calidad del agua y la productividad biológica, por lo cual es importante realizar mayores esfuerzos en materias de planificación, evaluación y protección (Delgado, 2005).

Las medidas de comparación de calidad del agua se basan en muestras con directrices y estándares de calidad. En el caso del agua potable, se establecen lineamientos para asegurar el suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano, de este modo se protege la salud de la población, se basan en muestras con directrices y estándares de calidad (ONU, 2011).

El deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial con el crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial y agrícola y la amenaza del cambio climático como causa de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico (ONU, 1992). A nivel global, el principal problema relacionado con la calidad del agua lo constituye la eutrofización, que es el resultado de un aumento de los niveles de nutrientes generalmente fósforo y nitrógeno y afecta sustancialmente a los usos del agua.

Las mayores fuentes de nutrientes provienen de la escorrentía agrícola y de las aguas residuales domésticas también fuente de contaminación microbiana, de efluentes industriales y emisiones a la atmósfera procedentes de la combustión de combustibles fósiles y de los incendios forestales (PNUMA, 2008).

Para las diferentes actividades humanas se requieren distintas calidades de agua.

- Agua de contacto directo (alberca, lavado de traste, autos)
- Agua de contacto indirecto (visual, navegar)
- Agua para consumo humano

Por ende para cada actividad donde se haga uso del agua se requieren diferentes calidades y se pueden lograr a partir de diferentes trenes tomando como base el tipo de agua residual, por ejemplo el agua que se utiliza en la industria lleva plomo por lo tanto el tren de tratamiento es más largo que si el agua fue utilizada para transporte acuático el tren de tratamiento requiere de menos procesos.

1.7.1 Evaluación de la calidad del agua

Para la evaluación de la calidad del agua se requieren de análisis cualitativos y cuantitativos que definen la calidad del agua (Prieto, 2004). Los análisis cualitativos se utilizan para determinar la necesidad de tratamiento y la correcta tecnología de tratamiento, los contaminantes específicos en el agua deben ser identificados y ser medidos (Tomé, 2009).

Así mismo los contaminantes del agua se pueden dividir en dos grupos: contaminantes disueltos y sólidos suspendidos. La materia suspendida consiste en partículas muy pequeñas, que no se pueden quitar por medio de deposición. Pueden ser identificadas con la descripción de características visibles del agua, incluyendo turbidez y claridad, color y olor del agua (Prieto, 2004).

- La materia suspendida en el agua absorbe la luz, haciendo que tenga un aspecto nublado. Esto se llama turbidez y se puede medir con varias diversas técnicas, demuestra la resistencia a la transmisión de la luz en el agua (Eaton, 2005).
- El color puede sugerir que las impurezas orgánicas estén presentes. En algunos casos el color del agua puede ser causado incluso por los iones de metales. El color es medido por la comparación de diversas muestras visualmente o con un espectrómetro. Éste es un dispositivo que mide la transmisión de luz en una sustancia, para calcular concentraciones de ciertos contaminantes (Bitton, 1999).
- La detección del olor puede ser útil, porque el oler puede detectar generalmente incluso niveles bajos de contaminantes. Sin embargo, en la mayoría de los países la detección de contaminantes con olor está limitada a terminantes regulaciones, pues puede ser un peligro para la salud cuando algunos contaminantes peligrosos están presentes en una muestra (Bitton, 1999).

Mientras que en los análisis cuantitativos la calidad del agua se puede también determinar por un número de análisis cuantitativos en el laboratorio, tales como pH, sólidos totales (TS), la conductividad y la contaminación microbiana (Ciriano, 2005).

- El pH es el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculado el número de iones de hidrógeno presentes. Se mide en una escala a partir de 0 a 14, en la cual 7 es la sustancia es neutra. los valores de pH por debajo de 7 indican que una sustancia es ácida y los valores de pH por encima de 7 indica que es básica (Grady 1998).
- Los sólidos totales (ST) son la suma de todos los sólidos disueltos y suspendidos en el agua. Cuando el agua se analiza para los ST se seca la muestra y el residuo se pesa después. Los ST pueden ser tanto las sustancias orgánicas como inorgánicas, los microorganismos y partículas más grandes como la arena y arcilla (Bramucci, 2000).
- La medida de la conductividad del agua puede proporcionar una visión clara de la concentración de iones en el agua, pues el agua es naturalmente resistente a la conducción de la energía (Bitton, 1999).

Los análisis se pueden hacer por medidas del carbón orgánico total (COT) y por la demanda biológica y química de oxígeno. La DBO es una medida de la materia orgánica en el agua, expresada en mg/l. Es la cantidad de oxígeno disuelto que se requiere para la descomposición de la materia orgánica. La prueba de la DBO₅ toma un período de cinco días.

La DQO es una medida de la materia orgánica e inorgánica en el agua, expresada en mg/l es la cantidad de oxígeno disuelto requerida para la oxidación química completa de contaminantes (Delfino, 2002).

La identificación y la cuantificación de contaminantes disueltos se hace por medio de métodos muy específicos en laboratorios, porque éstos son los contaminantes que se asocian a riesgos para la salud. Es oportuno mencionar que los sitios con monitoreo de calidad del agua están ubicados en zonas con un alta influencia antropogénica. Conforme a su concentración, los criterios que conforman la escala de clasificación de calidad del agua se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Escalas de clasificación de calidad del agua

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)		
Criterio (mg/l)	Clasificación	Color
DBO ₅ ≤ 3	EXCELENTE. No contaminada.	AZUL
3 < DBO ₅ ≤ 6	BUENA CALIDAD. Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable.	VERDE
6 < DBO ₅ ≤ 30	ACEPTABLE. Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.	AMARILLO
30 < DBO ₅ ≤ 120	CONTAMINADA. Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.	NARANJA
DBO ₅ > 120	FUERTEMENTE CONTAMINADA. Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.	ROJO
Demanda Química de Oxígeno (DQO)		
DQO ≤ 10	EXCELENTE. No contaminada.	AZUL
10 < DQO ≤ 20	BUENA CALIDAD. Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable.	VERDE
20 < DQO ≤ 40	ACEPTABLE. Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.	AMARILLO
40 < DQO ≤ 200	CONTAMINADA. Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.	NARANJA
DQO > 200	FUERTEMENTE CONTAMINADA. Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.	ROJO
Sólidos Suspendedos Totales (SST)		
SST ≤ 25	EXCELENTE. Clase de excepción, muy buena calidad.	AZUL
25 < SST ≤ 75	BUENA CALIDAD. Aguas superficiales con bajo contenido de sólidos suspendidos, generalmente condiciones naturales. Favorece la conservación de comunidades acuáticas y el riego agrícola irrestricto.	VERDE
75 < SST ≤ 150	ACEPTABLE. Aguas superficiales con indicio de contaminación. Con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente. Condición regular para peces. Riego agrícola restringido.	AMARILLO
150 < SST ≤ 400	CONTAMINADA. Aguas superficiales de mala calidad con descargas de aguas residuales crudas. Agua con alto contenido de material suspendido.	NARANJA
SST > 400	FUERTEMENTE CONTAMINADA. Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales con alta carga contaminante. Mala condición para peces.	ROJO

Fuente. SEMARNAT, 2010.

Capítulo II.

Marco normativo y programático del agua residual en México



Capítulo II. Marco Normativo y Programático del Agua Residual en México

Por tratarse de un recurso escaso y vital, el uso y aprovechamiento del agua son regulados mediante un marco normativo que su propósito es cumplir con las bases de calidad y cantidad del recurso que permita satisfacer las necesidades, de la población y de la producción, para evitar la afectación entre los usuarios, dentro de los que se incorpora a los ecosistemas. Dicha regulación existe para el nivel Nacional como Estatal. De manera similar, los programas para el uso del líquido pretenden hacer una distribución del recurso escaso, para satisfacer las necesidades de los distintos usuarios (Muñoz, 2007).

2.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

El artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, señala que en materia de aguas nacionales; es de regla en todo el territorio nacional, las disposiciones de orden público e interés social, éste mismo tiene por objeto regular la explotación, aprovechamiento, distribución y control del agua, así como la preservación de la cantidad y calidad para lograr el desarrollo integral sustentable (Gobierno Federal, 2005).

2.1.1 Ley de Aguas Nacionales

La Ley de Aguas Nacionales, fue decretada por el congreso de los Estados Unidos Mexicanos, conforme al Artículo 27 de la Constitución Política; (Gobierno Federal, 2008).

Declara en el artículo 7 de la presente que es de utilidad pública el mejoramiento de la calidad de las aguas residuales, la prevención y control de su contaminación, la recirculación y el reúso, así como la construcción y operación de obras de prevención, control y mitigación de la contaminación del agua, incluyendo plantas de tratamiento de aguas residuales;

Una de las atribuciones de la Comisión a Nivel Nacional, es evaluar, mediante el concurso de los Consejos y Organismos de Cuenca, los montos recomendables para el cobro de derechos de agua y tarifas, incluyendo el cobro por extracción de aguas nacionales, descarga de aguas residuales y servicios ambientales vinculados con el agua y su gestión, para ponerlos a consideración de las Autoridades correspondientes en términos de Ley (Gobierno Federal, 2008).

Referente al aprovechamiento de aguas residuales por parte de los municipios, los organismos operadores o por terceros provenientes de los sistemas de agua potable y alcantarillado, lo promoverá la Autoridad del Agua. A sí también causará entre los sectores público, privado y social, el uso eficiente del agua en las poblaciones y centros urbanos, el mejoramiento en la administración del agua en los sistemas respectivos, y las acciones de manejo, preservación, conservación, reúso y restauración de las aguas residuales referentes al uso (Gobierno Federal, 2008).

En cuanto a la cultura del Agua deberá existir la coordinación entre autoridades educativas en los órdenes federal y estatales para incorporar en los programas de estudio de todos los niveles educativos los conceptos de cultura del agua, en particular, sobre disponibilidad del recurso; su valor económico, social y ambiental; uso eficiente; necesidades y ventajas del tratamiento y reúso de las aguas residuales; la conservación del agua y su entorno; el pago por la prestación de servicios de agua en los medios rural y urbano y de derechos por extracción, descarga y servicios ambientales (Gobierno Federal, 2008).

La ley prohíbe arrojar o depositar en los cuerpos receptores y zonas federales, en contravención a las disposiciones legales y reglamentarias en materia ambiental, basura, materiales, lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales y demás desechos o residuos que por efecto de disolución o arrastre, contaminen las aguas de los cuerpos receptores, así como aquellos desechos o residuos considerados peligrosos en las Normas Oficiales Mexicanas respectivas. Se sancionará en términos de Ley a quien incumpla esta disposición (Gobierno Federal, 2008).

En el tema de la infiltración de aguas residuales para recargar acuíferos, requiere permiso de la Autoridad del Agua y deberá ajustarse a las Normas Oficiales Mexicanas que al efecto se emitan; el control de las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje o alcantarillado de los centros de población, corresponde a los municipios, con el concurso de los estados cuando así fuere necesario y lo determinen las leyes (Gobierno Federal, 2008).

2.1.2 Ley Federal de Derechos. Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales.

El artículo 1 de la presente Ley dispone que los derechos del agua se pagarán por el uso o aprovechamiento de los bienes del dominio público de la Nación, así como por recibir servicios que presta el Estado en sus funciones de derecho público, excepto cuando se presten por organismos descentralizados u órganos desconcentrados y en este último caso, cuando se trate de contraprestaciones que no se encuentren previstas en esta Ley (Gobierno Federal, 2010).

Algunos de sus principios son: la realización de acciones de mejoramiento, eficiencia e infraestructura de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, señala que los ingresos obtenidos por empresas públicas o privadas se destinarán a la Comisión Nacional del Agua. Una ventaja es que el sector público o privado encargados de cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales podrán solicitar a la Comisión Nacional del Agua autorización para realizar un programa de acciones en materia de saneamiento y tratamiento de aguas residuales y, en su caso, dicha Comisión les asignará: recursos para su realización, siempre que no exceda el monto cubierto por el contribuyente de conformidad con el artículo 278-C de esta Ley, con la finalidad de mejorar la calidad de las aguas residuales, ya sea mediante cambios en los procesos productivos o para el control o tratamiento de las descargas, a fin de no rebasar los límites máximos permisibles establecidos en esta Ley (Gobierno Federal, 2010).

Además el artículo 282-C establece que los contribuyentes que cuenten con planta de tratamiento de aguas residuales y aquéllos que en sus procesos productivos hayan realizado acciones para mejorar la calidad de sus descargas y éstas, sean de una calidad superior a la establecida en los límites máximos permisibles establecidos en esta Ley por las Normas Oficiales Mexicanas, podrán gozar del descuento en el pago del derecho por uso o aprovechamiento de aguas nacionales a que se refiere el Capítulo VIII, del Título II de esta Ley (Gobierno Federal, 2010).

2.1.3 Normas Oficiales Mexicanas

Por otra parte la Ley de Aguas Nacionales marca que las Normas Oficiales Mexicanas, son aquellas expedidas por la Secretaría, en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización referidas a la conservación, seguridad y calidad en la explotación, uso, aprovechamiento y administración de las aguas nacionales y de los bienes nacionales a los que se refiere el artículo 113 de la Ley de Aguas Nacionales (Gobierno Federal, 2008).

Las Normas Oficiales Mexicanas, indican las condiciones para la descarga, en función de la disposición final y se describen a continuación:

a) La Norma Oficial Mexicana 001-SEMARNAT-1996, regula los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, publicada en el diario oficial de la federación (SEMARNAT, 1997a).

Misma que establece las condiciones particulares de descarga como el conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos, los niveles máximos permitidos en las descargas de agua residual, determinados por la Comisión Nacional del Agua para el responsable de la descarga o para un cuerpo receptor específico, con el fin de preservar y controlar la calidad de aguas conforme a la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento (SEMARNAT, 1997a).

Por lo anterior alude que a los responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales, cuya concentración de contaminantes en cualquiera de los parámetros básicos, rebasen los límites máximos permisibles señalados en esta norma, quedan obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad del agua de sus descargas a la Comisión Nacional del Agua (SEMARNAT, 1997a).

b) La Norma Oficial Mexicana 002-SEMARNAT-1996, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, publicada en el diario oficial de la federación. (SEMARNAT, 1997b).

El reglamento de esta norma señala que el conjunto de parámetros físicos químicos y biológicos y de los límites máximos permisibles en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, establecidos por la autoridad competente, previo estudio técnico corresponde, con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas (SEMARNAT, 1997b).

c) La Norma Oficial Mexicana 003-SEMARNAT-1997. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen al público, publicada en el Diario Oficial de la Federación (SEMARNAT, 1997c).

Tiene como objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es obligatoria para las entidades públicas responsables del tratamiento y reusó. La vigilancia del cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, a través de la Comisión Nacional del Agua, y a la Secretaría de Salud, en el ámbito de sus respectivas atribuciones, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios (SEMARNAT, 1997c).

Las infracciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley General de Salud y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

d) La Norma Oficial Mexicana 127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización (SEMARNAT, 1994).

Esta Norma Oficial Mexicana, establece el abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas. Con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor, se debe someter a tratamientos de potabilización (SEMARNAT, 1994).

e) La Norma Oficial Mexicana NOM-016-SSA2-1994, se refiere a la vigilancia, prevención, control, manejo y tratamiento del cólera. Promueve que en las zonas donde no se cuente con el servicio de drenaje se evalué la construcción, uso de letrinas sanitarias o fosas sépticas. Cuando esto no sea posible, se recurrirá a cubrir las excretas con cal y/o enterrarlas, es necesaria la participación de las comunidades y grupos sociales para construir letrinas o fosas sépticas y usarlas adecuadamente (Gobierno Federal, 1995).

Por lo anterior se define a la fosa séptica, o pozo séptico, como un sistema común para tratar aguas residuales domésticas, tanto en zonas rurales, como urbanas que no tienen acceso al drenaje público. Por lo tanto, el uso de la fosa séptica es importante para la salud, sobre todo en zonas rurales y urbanas que carecen de sistemas de eliminación y procesamiento de aguas residuales; cabe señalar que el proceso de limpieza del agua no es tan completo como en una planta para tratamiento de aguas negras, la construcción de una fosa séptica puede contribuir a evitar la contaminación de la tierra, los mantos freáticos y la generación de organismos patógenos (SEMARNAT,2011).

De acuerdo a las características físicas químicas y biológicas del agua, podemos encontrar en ella sustancias sólidas, líquidas y gaseosas, realizando análisis cualitativos y cuantitativos, con el objeto de conocer el tipo y grado de modificación de sus propiedades para usos posteriores.

Por lo cual las Normas Oficiales Mexicanas señalan que los parámetros miden la calidad del agua, entre los parámetros físicos se encuentra los sólidos, la temperatura, el color y olor; en los parámetros biológicos están los coliformes totales y coliformes fecales, y en los parámetros químicos el pH, oxígeno disuelto, Nitrógeno, la DBO₅ y DQO entre otros (Gordon, 1979).

Cuadro 5. Parámetros fisicoquímicos y biológicos en las Normas Oficiales Mexicanas

Parámetros	Unidad de Medición	Simbología	Norma que lo requiere
Grasas y aceites	Miligramo por litro	mg/l	001, 002 y 003
Sólidos Sedimentables	Mililitro por litro	ml/l	001 y 002
Sólidos suspendidos totales (SST)	Miligramo por litro	mg/l	001 y 003
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	Miligramo por litro	mg/l	001y 003
Demanda Química de oxígeno (DQO)	Miligramo por litro	mg/l	001
Nitrógeno	Miligramo por litro	mg/l	001
Fosforo	Miligramo por litro	mg/l	002
Temperatura	Grados Centígrados	°C	002
Ph	Potencial Hidrogeno	pH ⁻ log (1/[H ⁺])	002
Arsénico, Níquel, Plomo	Miligramo por litro	mg/l	001 y 002
Cadmio, Cianuros, Cromo, Mercurio, Zinc	Miligramo por litro	mg/l	001, 002 y 004
Aluminio, Arsénico, Cianuros, Cloro, Manganeso, Nitratos	Miligramo por litro	mg/l	004
Conductividad eléctrica	Siemens por metro	µS/cm	004
Oxígeno disuelto	Miligramos por cien mililitros	mg/l O ₂	004
Color	Escala de platino-cobalto	Pt-Co (unidades Hazen)	004
Olor y sabor	Organolépticas	N/A	004
Turbidez	Unidades de Turbiedad Nefelometrías	UTN	004
Organismos Coliformes Fecales Totales	NMP/100 ml	número más probable por 100 ml	004

Fuente. Elaboración propia con base en: Arboleda, 1992; Arcos, 1999; Bramucci, 2000 y Grady, 1998.

2.2 Constitución Política del Estado Libre y Soberano de México

En el artículo 18 de la Constitución establece que en el Estado de México toda persona tiene derecho al acceso y disposición de agua de manera suficiente, asequible y salubre, para consumo personal y doméstico. La ley definirá las bases, accesos y modalidades en que se ejercerá este derecho, siendo obligación de los ciudadanos su cuidado y uso racional (Gobierno del Estado de México, 1921).

Por otro lado la Legislatura del Estado establecerá en la Ley la existencia de un organismo en materia de agua, el cual regulará y propondrá los mecanismos de coordinación para la prestación del servicio de agua potable, alcantarillado, saneamiento, tratamiento y disposición de aguas residuales y, en general, el mejoramiento de la gestión integral del agua en beneficio de la población (Gobierno del Estado de México, 2010).

2.2.1 Ley del Agua del Estado de México

El artículo 3 menciona que es competencia del Ejecutivo del Estado, por conducto de la Comisión, la prestación de los servicios regionales de suministro de agua, drenaje y tratamiento de aguas residuales, cuando acuerde proporcionarlos a dos o más ayuntamientos, previo convenio a celebrarse en los términos de la presente ley y su reglamento (Gobierno del Estado de México, 2010).

Además el artículo 6 señala que es de interés público la formulación, aprobación, establecimiento y actualización del Sistema Estatal del Agua, como el instrumento rector del desarrollo hidráulico de la entidad el cual comprenderá; la definición de las políticas para la prestación de los servicios públicos de suministro de agua potable, drenaje y tratamiento de aguas residuales, este último servicio conforme a los criterios establecidos en la Ley de Protección al Ambiente para el Desarrollo Sustentable del Estado de México; Por otra parte la Comisión del Agua, a petición de los ayuntamientos, podrá prestar transitoriamente, en los términos del título cuarto de la presente ley y su reglamento, los servicios públicos de suministro de

agua potable, drenaje y tratamiento de aguas residuales, así como realizar la construcción, operación, conservación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica correspondiente (Gobierno del Estado de México, 2010).

Mientras que los organismos tendrán la responsabilidad de organizar y tomar a su cargo la administración, funcionamiento, conservación y operación de los servicios de suministro de agua potable, drenaje y tratamiento de aguas residuales, dentro de los límites de su circunscripción territorial, para lo cual se les asignan los bienes que constituyen la infraestructura municipal para la prestación de los mismos y las atribuciones que les permitan cumplir con su responsabilidad, de acuerdo con la presente ley (Gobierno del Estado de México, 2010).

La Comisión en coordinación con la Secretaría de Ecología del Estado, serán competentes para: establecer las disposiciones técnicas y reglamentarias para el control y la prevención de la contaminación de las aguas residuales,

Cabe destacar que para el cumplimiento de lo dispuesto en el artículo 83 de la Ley de Protección al Ambiente para el Desarrollo Sustentable del Estado de México, el organismo prestador elaborará y notificará a la Secretaría de Ecología del Estado, el inventario de las descargas de aguas residuales no domésticas que se vierten al sistema de drenaje a su cargo, en el que se incluirán los volúmenes y condiciones de descarga autorizados a cada una. Asimismo el artículo 92 establece que la Comisión promoverá en todo el Estado, el reusó de las aguas residuales que se descarguen en los sistemas de drenaje o las que resulten del tratamiento de los sistemas públicos o privados (Gobierno del Estado de México, 2010).

2.2.2 Código Administrativo del Estado de México

Este ordenamiento derogó un total de 21 leyes dentro de las que se encuentran la Ley de Salud del Estado de México y la Ley de Protección del Ambiente para el Desarrollo Sustentable del Estado de México.

Para evitar la duplicidad de normas y la posible contradicción entre una ley Federal y una Estatal, el Código Administrativo establece que el Estado y los municipios observarán los criterios señalados en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en aspectos como el otorgamiento de concesiones, permisos y, en general, las autorizaciones para el aprovechamiento del agua, la operación y administración de los sistemas de agua potable, drenaje, alcantarillado, y las regulaciones de las descargas de aguas residuales de carácter municipal, de origen industrial o de actividades agropecuarias o de servicios.

A nivel estatal, las dependencias que tienen competencia en materia de aguas son, además de la Comisión del Agua del Estado de México, el Instituto de Salud y la Secretaría de Ecología del Estado de México. Ambos tienen bajo su responsabilidad la revisión y en su caso aprobación de los proyectos de abastecimiento de agua potable y alcantarillado (Gobierno del Estado de México, 2001).

2.3 Programas del agua en México

El sector gubernamental ha mostrado interés para dar solución al vertido de aguas sin tratamiento dando origen a una serie de programas a nivel Nacional y Estatal, tal es el caso del Programa Hidráulico Integral del Estado de México 2002-2025, el Programa Federal de Saneamiento de Aguas Residuales (PROSANEAR); el Programa de incentivos a la Inversión en el Tratamiento de Aguas Residuales en Zonas Turísticas y el Programa para la Construcción y Rehabilitación de Sistemas de Agua Potable y Saneamiento en Zonas Rurales (PROSSAPYS) y el Fondo para el Tratamiento de Aguas Residuales (SEMARNAT, 2009).

2.3.1 Programa Hidráulico Integral del Estado de México 2002-2025

El objetivo es buscar el aprovechamiento equilibrado y sustentable de los recursos hidráulicos del Estado para sustentar su desarrollo económico y social a largo plazo de planeación al año 2025.

Durante el estudio se plantearán las estrategias y metas que conduzcan al logro de los objetivos del Estado de México, a través del aprovechamiento de sus recursos hidráulicos (Gobierno del Estado de México, 2006).

Conforme a la Ley que la crea, la Comisión del Agua del Estado de México es un Organismo Público Descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propios. Que tiene por objeto: planear, programar, construir, conservar, mantener, operar y administrar sistemas de agua para consumo humano, industrial y de servicios; de drenaje, tratamiento y reúso de aguas residuales tratadas; y de control y disposición final de los lodos producto del tratamiento de aguas residuales (Gobierno del Estado de México, 2006).

2.3.2 Programa Federal de Saneamiento de Aguas Residuales (PROSANEAR)

En términos del artículo 279 de la Ley Federal de Derechos 2008, los ingresos que se obtengan por concepto del derecho por el uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales, se destinarán si así lo solicitan, a los contribuyentes municipales para coadyuvar en la realización de cambios en los procesos productivos y dotación de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales (Gobierno del Estado de México, 2011).

Los sujetos que pueden adherirse al programa son todos los contribuyentes municipales que hayan pagado los derechos por descarga y el uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales. Estos contribuyentes podrán solicitar a la CONAGUA la autorización para realizar un programa de acciones en materia de saneamiento y tratamiento de aguas residuales, a fin de mejorar la calidad de dichas aguas, ya sea mediante cambios en los procesos productivos o para el control o tratamiento de las descargas, a fin de no rebasar los Límites máximos permisibles (Gobierno del Estado de México, 2011).

2.3.3 Programa de incentivos a la Inversión en el Tratamiento de Aguas Residuales en Zonas Turísticas

Es prioritario que en zonas turísticas y para el bienestar de los mexicanos que las frecuentan, se requiere construir las plantas de tratamiento que hacen falta, y hacer un esfuerzo especial para reactivar aquellas plantas que están fuera de operación y rehabilitar las que funcionan con bajas eficiencias, con el fin de aprovechar la capacidad instalada (Gobierno Federal, 2012).

El objetivo de este programa es otorgar apoyos a los sectores social y privado, para construir, ampliar y rehabilitar plantas de tratamiento de aguas residuales, para incrementar el volumen tratado, preferentemente en zonas turísticas (Gobierno del Estado de México, 2006).

2.3.4 Fondo Concursable para el Tratamiento de Aguas Residuales

El programa tiene como finalidad incrementar el volumen de agua tratada, mediante el otorgamiento de apoyos para el diseño, construcción, ampliación y /o rehabilitación, así como la operación y el mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Establece que son sujetos a apoyo prioritariamente aquellos municipios u Organismos Operadores con deficiencias en su cobertura de tratamiento de aguas residuales, así mismo podrán participar todos los municipios u Organismos Operadores con marginalidad ala conforme a estimaciones del CONAPO (Gobierno del Estado de México, 2011).

2.4 La Comisión del Agua del Estado de México

Conforme a lo establecido en el artículo 2° de la Ley de su creación, la Comisión del Agua del Estado de México tiene por objeto: planear, programar, construir, conservar, mantener, operar y administrar sistemas de agua para consumo humano, industrial y de servicios; de drenaje, tratamiento y reúso de aguas residuales tratadas; y de control y disposición final de lodos producto del tratamiento de aguas residuales (Gobierno del Estado de México, 2012).

La Comisión del Agua del Estado de México tiene los siguientes objetivos.

- Incrementar la cobertura del servicio de agua potable a la población en el Estado de México, en cantidad y calidad suficientes para atender a sus necesidades básicas.
- Suministrar a la población el servicio de drenaje para evitar riesgos por inundaciones y enfermedades, así como el servicio de tratamiento de aguas residuales.
- Promover y fomentar entre la población el ahorro y uso eficiente del agua.

Mientras que la CAEM en cuanto a la operación y mantenimiento de infraestructura para tratamiento de aguas residuales tiene como objeto promover las acciones para incrementar la cobertura de tratamiento de las aguas residuales de origen municipal y originar el reúso en beneficio de mayor número de municipios y sus habitantes, con el fin de mejorar las condiciones sanitarias y prevenir riesgos de salud pública, dando cumplimiento a la Ley del Agua del Estado de México (Gobierno del Estado de México, 2012).

Con base a la NOM-001-SEMARNAT-1996, se actualizó el documento “Plan Maestro de Agua Potable, Alcantarillado, Drenaje y Tratamiento de Aguas Residuales del Estado de México 2009-2020”, edición 2009, en él se identificaron las obras y acciones, así como localidades que deberán cumplir con la NOM-001 y se toma como guía técnica para la planeación integral de los servicios de agua potable y saneamiento impulsando el cumplimiento de la normatividad en esa materia (Gobierno Federal, 2012).

Capítulo III.

Características y comparación de tres técnicas alternativas de tratamiento de aguas residuales domesticas.



Capítulo III: Características y comparación de tres alternativas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

En este capítulo se consideran tres casos de estudio, ubicados en el Estado de México. Dos de ellos se instalaron sin fines comerciales para depurar el líquido antes de su descarga, el tercero es parte del equipamiento de un fraccionamiento obtenido por habitantes que tienen una conciencia ambiental y la adquirieron en congruencia con sus principios.

3.1 Humedal Natural y Artificial

Son humedales las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros (Ramsar, 1971).

Otra definición según Paredes (2001) un humedal es el área de terreno que permanece saturado por agua superficial o subterránea, como sistema de depuración ofrece un servicio al ambiente al tratar aguas residuales con diferentes tipos de contaminantes y en diferente concentración, para reciclar el líquido y los materiales contenidos en él, a través de la vegetación acuática que consume nutrientes que de otra manera sería contaminantes.

Esta técnica es utilizada para depurar el agua de una manera relativamente sencilla; constituye un interesante ejemplo de aplicación de sistemas económicos, ecológicos y efectivos; que permiten la reutilización del agua tratada para diversos usos potables y no potables, es por eso que deben cumplir con las normas en cuanto a la calidad del agua. Este método es opuesto al proceso de tratamiento convencional de aguas residuales que es intensivo respecto al uso de energía y químicos (Llagas, 1999).

A nivel internacional a partir de 1986 se empiezan a introducir los sistemas de humedales construidos; en la actualidad este tipo de sistemas se aplica en varios países de Europa, América, África y Australia, no solamente para tratar aguas residuales domésticas sino también para tratar efluentes con distintas características en su composición (Ñique,2003).

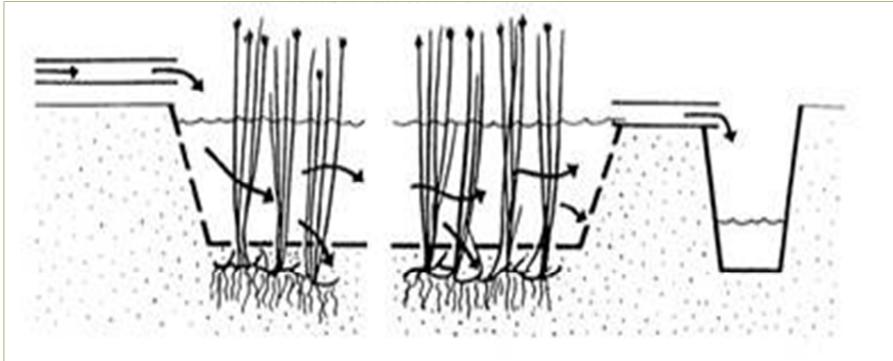
A continuación García (1997) y Brix (1999), clasifican a los humedales en cuatro tipos que son: los marinos, en costas rocosas, arrecifes de coral y estuarios; los lacustres, asociados con lagos; los ribereños, que son adyacentes a ríos o arroyos; y los palustres, que son pantanos, lagunas o ciénagas. Todos los humedales son ecosistemas productivos y desempeñan varias funciones en el medio ambiente, por ejemplo: la degradación de la materia orgánica contenida en el agua, el control de inundaciones, al actuar como esponjas que almacenan y liberan lentamente el agua de lluvia; la protección contra tormentas; la recarga y descarga de acuíferos; el control de la erosión; la retención de sedimentos y nutrientes; así como para la recreación y el turismo (Lara, 1999).

Los humedales se clasifican tradicionalmente en dos tipologías atendiendo a si la circulación del agua de tipo subterránea o superficial (García, 2005). En los humedales de flujo superficial el agua está expuesta directamente a la atmósfera y circula preferentemente a través de los tallos de los macrófitos. En los humedales de flujo sub-superficial la circulación del agua es subterránea a través de un medio granular, con una profundidad de la lámina de agua de alrededor de 0,6 m y en contacto con los rizomas y raíces de los macrófitos (Urquiza, 2006).

Así pues los humedales de flujo sub-superficial forman parte de los sistemas naturales de depuración basados en la acción del terreno (como los filtros verdes y los sistemas de infiltración-percolación), mientras que los de flujo superficial pertenecen al grupo de los basados en la acción de mecanismos que suceden en el agua (López, 2010).

Figura 7. Humedal de flujo superficial y sub-superficial

Flujo superficial

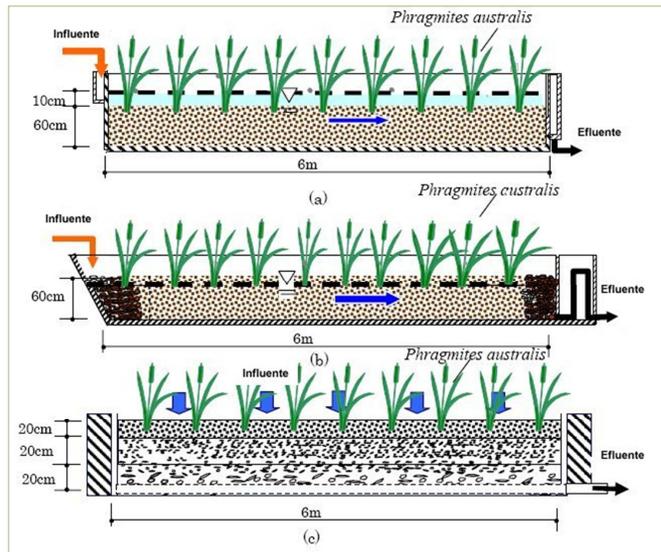


Fuente: García, 2005.

Flujo Sub-superficial

b) humedal de flujo horizontal

c) humedal de flujo vertical



Fuente. García, 1997.

Llagas (1999) dice que los humedales de flujo sub-superficial se clasifican según el sentido de circulación del agua en horizontales o verticales. Los humedales con flujo horizontal funcionan permanentemente inundados. Los humedales con flujo vertical se diseñan con funcionamiento intermitente, es decir, tienen fases de llenado, reacción y vertido.

Ventajas de los humedales de flujo sub-superficial respecto a los de flujo superficial son:

- Menor incidencia de malos olores debido a la naturaleza subterránea del flujo, esta ventaja es relativa ya que los sistemas de flujo superficial se suelen aplicar para mejorar la calidad de efluentes secundarios, con lo que ya reciben aguas bastante tratadas, con bajo potencial para la emisión de malos olores (López, 2010).
- Bajo riesgo de exposición directa de las personas y de aparición de insectos gracias también al flujo subterráneo. El control de insectos puede llegar a ser una actividad costosa en sistemas con flujo superficial (EPA, 2000).

Entre los componentes del humedal se distingue el agua, la vegetación, el suelo y los microorganismos; el agua es el factor más importante al grado que es origen del nombre de este ecosistema por que reúne todas las funciones del humedal, mientras que la vegetación es la parte biótica del humedal, el suelo actúa como medio filtrante y los microorganismos son los encargados de procesar la materia orgánica (Salazar, 2003).

La vegetación presente en un humedal, incluidos raíces, tallos y hojas crean alrededor de sus partes subacuáticas un ambiente adecuado para que crezcan y se desarrollen comunidades microbianas, que son capaces de asimilar o depurar la materia orgánica residual; por medio de su metabolismo que consiste en la absorción de elementos, liberación de oxígeno, entre otros; que contribuye a los procesos de tratamiento en diferentes formas, dependiendo del diseño del humedal (Paredes, 2001).

Por lo tanto tiene la finalidad de transmitir el oxígeno desde las hojas hasta las raíces, donde además se produce la interacción planta-agua durante los procesos de nitrificación-desnitrificación, además controla la cantidad de luz que llega al agua; en estas condiciones, se facilita la adsorción y filtración de los contaminantes procedentes de aguas residuales (Lara ,1999).

En lo que tiene relación con los diferentes procesos para la asimilación de contaminantes; que consisten en la Fitoextracción que se usa para concentrar metales en las hojas de las plantas, la Rizofiltración donde las raíces de las plantas absorben y degradan los compuestos orgánicos; la Fitoestabilización reduce la movilidad de los contaminantes y evita contaminación al exterior; la Fitoestimulación consiste en promover el desarrollo de microorganismos que degradan las bacterias y hongos; la Fitoatilitación las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración; en la Fitodegradación las plantas almacenan y degradan compuestos orgánicos para generar subproductos menos tóxicos (Paredes,2001).

Otro componente del humedal es el suelo que actúa como medio filtrante, donde ocurren muchas transformaciones químicas y biológicas que son la fuente primaria de elementos esenciales para el desarrollo de plantas acuáticas, cuando las aguas servidas pasan a través del suelo se genera la remoción de los sólidos suspendidos (Brix, 1999).

Asimismo son a menudo descritos como suelos hídricos, debido a que son formados cuando ocurren condiciones de saturación, inundación, durante largos periodos de tiempo, con lo cual se crean condiciones anaerobias. Los suelos hídricos pueden clasificarse de manera general en dos grupos: suelos orgánicos y suelos minerales (Brix, 1999).

Los suelos orgánicos son formados por la acumulación de materia orgánica cuando la tasa de producción de biomasa en el humedal excede la tasa de descomposición; presenta condiciones de largos periodos de inundación, bajas temperaturas y bajos pH contribuyen a las bajas tasas de degradación microbial (Paredes, 2001). Los suelos minerales están compuestos de material fluvial, lacustre, estuario o marino, algunos de estos humedales están conformados por material parental residual; se caracterizan por ser muy variables, abarcando texturas desde arcillas hasta arenas y gravas (EPA, 2000).

Mientras que los microorganismos juegan un papel esencial en todos los sistemas de tratamiento de aguas residuales a partir de las plantas ya sean aerobias o anaerobias; consumen la parte carbonada de las aguas servidas para transformarla principalmente en CO₂ para las bacterias aerobias y también en metano para las bacterias anaerobias (Madigan, 1998). Mientras sea posible mantener las condiciones secuenciales aerobias y anaerobias, las bacterias nitrificantes van a transformar el nitrógeno amoniacal en nitritos y nitratos en las zonas aireadas y las bacterias denitrificantes van a permitir la transformación de los nitratos y nitritos en nitrógeno gaseoso en las zonas anaerobias (Loosdrech, 1997).

En todos los humedales existen diferentes procesos de remoción entre ellos los físicos, químicos y biológicos, que surgen por el dinamismo de fenómenos hidrometeorológicos, edáficos, geomorfológicos y biológicos, sobre todo de los vegetales y los microorganismos, capaces de depurar el agua al degradar la materia orgánica (Urquiza, 2006). Por esta razón, se aprovecha el papel depurador de los humedales para el tratamiento de aguas residuales, a través del diseño de instalaciones que puedan reproducir esta importante función de los humedales naturales (Llagas, 1999).

El oxígeno requerido para la degradación aerobia puede ser tomado directamente de la atmósfera por las plantas y que es trasferido al interior y exterior de ella lo que explica el proceso de la fotosíntesis, por lo tanto aumenta la cantidad de oxígeno disuelto y se promueve la oxidación en otras palabras se reduce la demanda biológica de oxígeno (Bramucci, 2000).

Por lo tanto la oxidación de la materia orgánica soluble es realizada por bacterias heterotróficas; simultáneamente es posible encontrar otro grupo de bacterias, denominadas nitrificantes que oxidan compuestos orgánicos nitrogenados, dando lugar a la formación de nitratos. Ambos grupos consumen oxígeno, pero la mayor tasa metabólica la presentan las bacterias heterotróficas por lo cual ellas son las principales responsables de la reducción de la DBO en el sistema (Loosdrech, 1997).

En cambio la eutrofización se presenta como una desventaja en la depuración del agua residual ya que se acumula la materia orgánica en el humedal, provocando acumulación de materia orgánica, por lo que debe haber un equilibrio entre los agentes externos e internos del humedal (EPA, 2000). El mayor mecanismo de remoción de un 95% está en la sedimentación y acumulación de fósforo en el suelo orgánico de los humedales, las plantas son las que absorben el fósforo a través de sus raíces y lo transportan a sus tejidos en crecimientos, sin embargo su capacidad de absorción es baja si se compara con el nitrógeno, pues el contenido de fósforo en los tejidos es mucho menor (Paredes, 2001).

En cuanto el término de humedal natural se refiere a un área de transición entre un ecosistema acuático y uno terrestre y abarca una amplia cantidad de diversos entornos como los marismas, las turberas, los pantanos y las llanuras aluviales (EPA, 2000). Todos los humedales tienen una característica en común y ésta consiste en la presencia permanente de agua, es decir, se caracterizan por ser ambientes totalmente saturados. Por ello, se crean condiciones anaeróbicas y sólo las especies vegetales acostumbradas a crecer en tales ambientes sobreviven (Ramsar, 1971)

El caudal o flujo se caracteriza por ser lento, lo que permite el asentamiento de sedimentos y un mayor tiempo de contacto entre las aguas y el sustrato del humedal. Esta característica promueve el desarrollo de microorganismos que se encargan de transformar, reducir y sintetizar una gran cantidad de sustancias (Lara, 1999). Un humedal natural es capaz de depurar el agua eliminando grandes cantidades de materia orgánica, sólidos, nitrógeno, fósforo y en algunos casos productos químicos tóxicos, por esta razón se ha tratado de aprovechar el papel depurador de los humedales para el tratamiento de aguas residuales (Lahora, 2001).

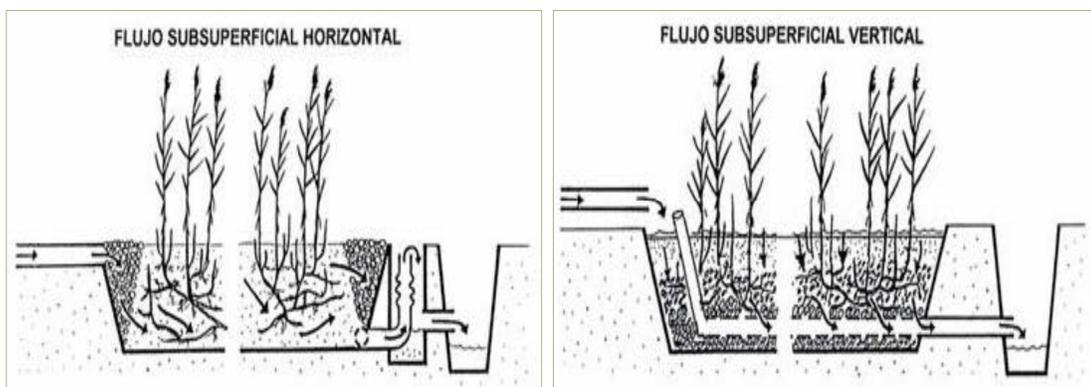
Mientras que García (1997) define a los humedales artificiales como sistemas de depuración que se caracterizan por: su simplicidad de operación, un bajo o nulo consumo energético, una baja producción de residuos, un bajo impacto ambiental y una buena integración al medio ambiente rural.

Un humedal artificial para el tratamiento de agua residual frecuentemente está diseñado por un fondo o base impermeable sobre la que se deposita un lecho de gravas u otro medio para el desarrollo de las plantas, que constituyen el principal agente depurador, normalmente es construido para el control de contaminantes y la gestión de residuos acuosos en lugares donde no existen humedales de forma natural (Gómez, 2006).

En la actualidad este tipo de humedales se presentan como una tecnología alterna a lo convencional, debido a los procesos que se generan dentro y fuera de él como: la eficiencia en la reducción de materia orgánica, nutrientes y patógenos; proporcionan el hábitat para la vida silvestre, y son, estéticamente, agradables a la vista. Ñique (2003) menciona que este sistema se utiliza para tratar diferentes cargas de contaminantes contenidos en los efluentes de las aguas domésticas, urbanas, agrícolas, industriales en este último caso los humedales se utilizan como la etapa posterior al tratamiento convencional aplicado.

Los humedales de flujo superficial se suelen utilizar como tratamiento adicional a efluentes previamente tratados en depuradoras de tipo convencional. Estos suelen ser sistemas de grandes extensiones e incluso hasta centenares de hectáreas (EPA, 2000).

Figura 8. Humedal artificial de flujo sub-superficial horizontal y vertical



Fuente. García, 2005.

Cuadro 6. Ventajas y desventajas de los humedales

Ventajas	Desventajas
<p>1.- Contribuye al bienestar social, económico y ambiental.</p> <p>2.- Permiten el reciclado y reutilización del agua de una manera relativamente sencilla.</p> <p>3.- Los gastos de operación y mantenimiento son bajos y no requieren personal cualificado ni maquinaria para su operación.</p> <p>4.- Durante el proceso de depuración se producen subproductos orgánicos, que se pueden utilizar para composta.</p> <p>5.- Proporcionan un hábitat óptimo para la vida silvestre, y son, estéticamente, agradables a la vista.</p>	<p>1.- Son difíciles de diseñar debido a la gran cantidad de procesos físicos, químicos y biológicos implicados en la depuración.</p> <p>2.- Requieren un área extensa de terreno en comparación con algunos sistemas convencionales.</p> <p>3.- Los tiempos de proceso pueden ser largos por la gran superficie que requieren en comparación con otros, y la dificultad de la puesta en marcha.</p>

Fuente: Elaboración propia con base en: García, 1997; Lahora, 2001 y García, 2005.

3.2 Sistema Unitario de Tratamiento y Reúso de Aguas Nutrientes y Energía (SUTRANE)

El SUTRANE es un sistema para el tratamiento del agua residual que contiene materia orgánica biodegradable, tomando como base la separación de drenajes las aguas negras y grises o jabonosas, el sistema se aplica principalmente en viviendas o aguas de uso urbano municipal, con la finalidad de ser utilizadas para el riego de cultivos, jardines, así como abastecer los tanques del servicio sanitario y otros fines que no requieren de agua potable (Gutiérrez, 2010).

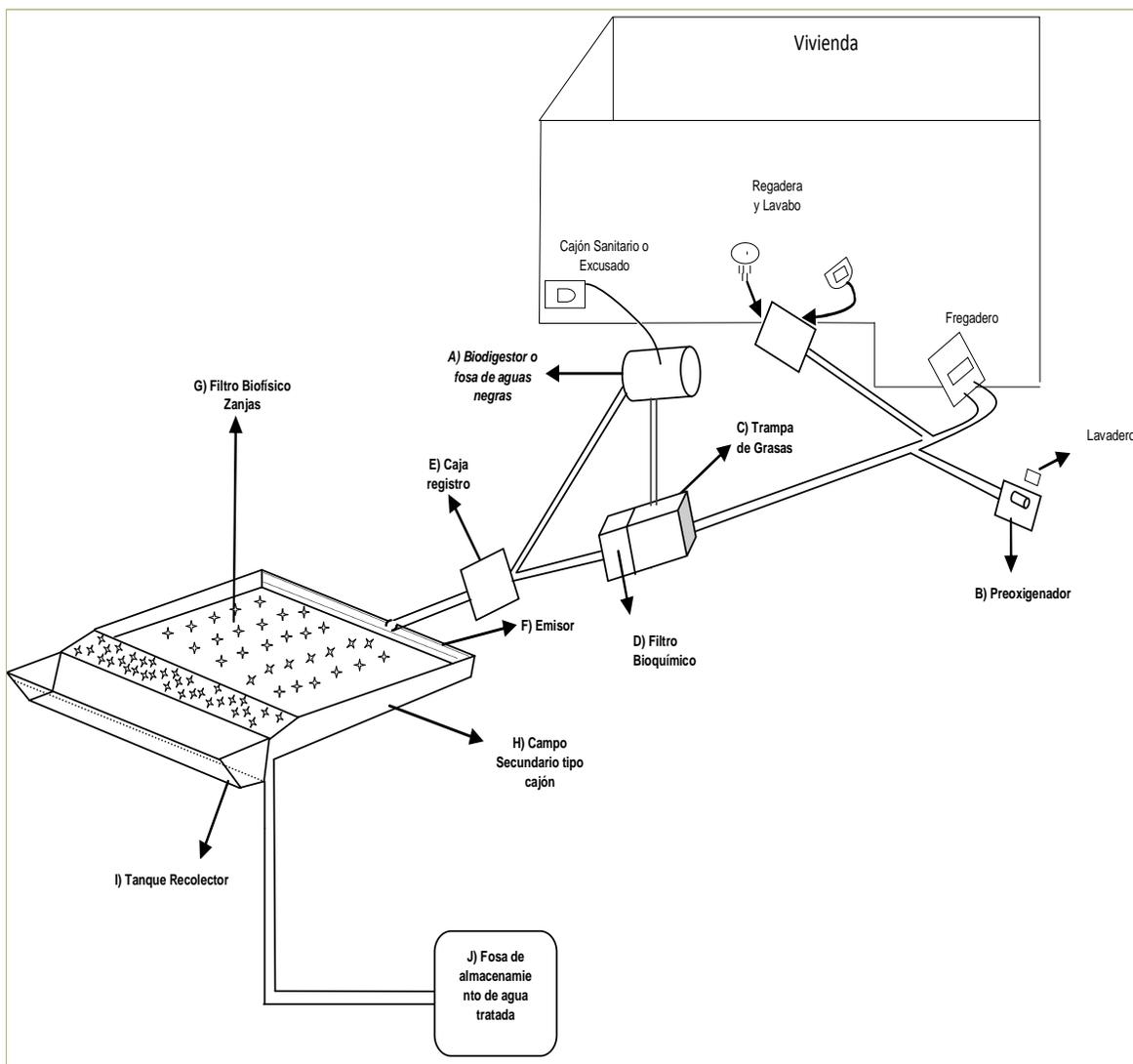
El sistema es de gran utilidad ya que permite que las aguas residuales negras y grises tengan tratamiento antes de ser regresadas al medio ambiente permitiendo así la recuperación de nutrientes, a través de biomasa vegetal que los absorbe y retiene, como un subproducto adicional. Asimismo este sistema también genera el biogás metano, que se forma por el proceso de descomposición orgánica en condiciones anaeróbicas; con lo anterior, el sistema rescata sustancias que de otra manera serían contaminantes, sin costos energéticos, químicos ni produce lodos (Xochicalli A.C. s/f). Por lo tanto, este sistema ayuda a la protección del medio ambiente, al tiempo que ahorra considerablemente agua y dinero (Arias, 1976).

Este sistema está diseñado para el tratamiento del agua residual mediante procesos físicos, biológicos y sociales. Un principio de este sistema es la Ley de Conservación de la Materia, porque sus subproductos son aprovechables, esto es que no solo depura el agua sino produce metano y biomasa utilizables; se trata de una tecnología apropiada en el sentido de su eficiencia y eficacia, a la vez que el usuario lo hace suyo y es posible su autoconstrucción (Arias, 1976).

Como todo sistema tiene varios componentes que incluye materiales inertes y biológicos que interactúan como se especifica más adelante, es una creación mexicana de hace más de cuarenta años por el físico Jesús Arias Chávez, director de la fundación Xochicalli A.C., quien lo ha difundido en viviendas campesinas, populares y residenciales así como en edificios públicos, pero con poca difusión.

El sistema consta de elementos interconectados linealmente e impulsados por la fuerza de gravedad, que de acuerdo con el tren de tratamiento que siguen se ilustran en la figura 9 y se describen a continuación:

Figura 9. Componentes del (SUTRANE)



Fuente. Elaboración propia con base en: Arias, 1976; Gutiérrez, 2010.

Para la depuración del agua residual el SUTRANE aplica tratamiento primario y secundario, para eliminar inicialmente los sólidos presentes en el efluente, mientras que el tratamiento secundario reduce la cantidad de nutrientes por medio de la digestión bacteriana anaerobia. El efluente es generado, para a una fase aerobia, consiste en la acción del sol, el aire, y materia vegetal; mientras que la fase anaerobia es la ausencia de oxígeno y la incorporación de bacterias que ayudan a reducir el periodo de descomposición de la materia orgánica (Guido, 1999).

a) El Biodigestor o fosa de aguas negras (Anaerobio): Es un depósito donde se lleva a cabo el proceso de degradación anaerobia de la materia orgánica; tiene por objeto la fermentación y desintegración de la excreta, orín y otros elementos orgánicos provenientes del sanitario ; en su interior se desarrolla un ambiente óptimo para multitud de bacterias anaerobias; como resultado se obtiene agua con nutrientes entre los cuales están el Nitrógeno, el Fosforo, Calcio, Zinc y Metano (Gutiérrez, 2010).

b) El Preoxigenador (Aerobio): Es un cajón construido con piedra y grava para contrarrestar el efecto de los detergentes contenidos en las aguas jabonosas provenientes de lavadero y fregadero (Arias, 1976).

c) La Trampa de grasas (Aerobio): En esta fosa se capta el agua gris proveniente de la regadera, lavadero y fregadero, compuesta de partículas de grasa (Arias, 1976).

e) La caja-registro (Aerobio): Es un depósito que frecuentemente está destapado o bajo una tapa transparente, que permite el paso del sol, en el se siembran plantas acuáticas del tipo de lirio acuático y muchas otras, con el objetivo de que tanto, los lirios como las bacterias aeróbicas que se encuentran en el medio ambiente, inicien la descomposición y la degradación de los materiales orgánicos disueltos en el agua (Arias, 1976).

f) El Emisor (Aerobio): Es un canal múltiple lleno de plantas acuáticas que colaboran en la toma de exceso de nutrientes y posibles contaminantes que aún subsistieran (Gutierrez, 2010).

g) El Campo secundario o filtro biofísico (Aerobio): Son varias zanjas o un cajón filtrante, donde se siembran vegetales útiles sobre un medio filtrante de piedra, grava, gravilla y arena, el filtro biofísico requiere tener sembradas plantas como verduras, hortalizas o flores que proporcionen y aceleren los procesos de filtrado, aunando los fenómenos de capilaridad, evaporación, condensación y la tensión superficial (Gutiérrez, 2010). En este se recuperan recursos/ hortalizas y se obtiene agua destilada.

j) Fosa de almacenamiento del agua tratada: Recibe el agua enriquecida que no fue asimilada por las plantas, el agua depurada es reutilizada para el riego de cultivos, jardines, abastecimiento de tanques de servicio sanitario, entre otros (Gutiérrez, 2010).

Los anteriores elementos se relacionan en los procesos encargados de la depuración del agua; por los diferentes usos del líquido en la vivienda, normalmente se originan dos efluentes el de las aguas negras y el de las aguas grises, que al pasar por el SUTRANE se depositan en dos contenedores diferentes, el primero es conocido como bidigestor donde se depositan las aguas negras; en el interior surge la descomposición biológica de la materia orgánica; y el segundo efluente es depositado al preoxigenador que contiene el agua gris proveniente de las regaderas y lavabos ; el tratamiento de los dos efluentes es por separado para evitar que se mezclen debido a la diferente carga de materia orgánica contenida en cada una de ellos. Es recomendable que ambas fosas se construyan por separado y cerca de las instalaciones del uso y consumo del agua doméstica baño, lavaderos, excusado, entre otros (Arias, 1976).

Consecuentemente el efluente pasa a la trampa de grasas y aceites que después de un periodo de tiempo flotan sobre el agua o se sedimentan según el tamaño y peso de las partículas, formando diferentes capas de material orgánico; que es retirado manualmente con una red de alambre metálico.

En el camino del agua residual, se ubica la caja-registro donde ambos efluentes el de las aguas negras y el de las aguas jabonosas, se juntan pasando al emisor que es un canal múltiple lleno de plantas acuáticas que colaboran en la toma de exceso de nutrientes y posibles contaminantes que aún subsistieran. Después de los anteriores procesos el agua pasa por el campo secundario o filtro biofísico que son varias zanjas, donde se siembran vegetales que por medio de sus raíces aprovechan los nutrientes del agua permitiendo su crecimiento. En seguida de la depuración del agua, es recolectada en la fosa de almacenamiento, para después ser reutilizada en diferentes fines no potables.

Para la construcción del SUTRANE es necesario considerar la topografía, nivel de arrastre del agua y la reingeniería, seguimiento al sistema y la consideración del factor social. La técnica puede ser construida con un material accesible a la población denominado ferrocemento; éste es un material compuesto, que sirve para la autoconstrucción, formado por un enmallado de acero estructural, una o varias mallas metálicas finas (alambre, metal desplegado) y una capa de mortero de 1 a 3 cm. de espesor; esta técnica ayuda a reducir instalaciones de tubería y mangueras de las líneas de distribución del agua y drenajes (Arias, 1976). El material para la construcción del sistema es ligero, económico, flexible por su gran cantidad de usos, por las formas tan diversas que puede adoptar, fácil de dominar en su técnica por eso es de autoconstrucción, impermeable, cuya materia prima es de fácil obtención, en casi cualquier parte del país, etc.

Cuadro 7. Ventajas y desventajas del (SUTRANE)

Ventajas	Desventajas
<p>1.-No requiere de grandes inversiones económicas para su construcción, operación y mantenimiento.</p> <p>2.-Puede ser diseñado dependiendo conveniencias a nivel uni-domiciliario o colectivo.</p> <p>3.-Los tanques del sistema son construidos comúnmente por material de ferrocemento cuya materia prima es de fácil obtención.</p> <p>4.-Durante los procesos el sistema logra el aprovechamiento racional del agua y disminuye las instalaciones de drenajes al exterior cuyos costos son altos.</p> <p>5.-Se procesan una multitud de desechos sólidos orgánicos, al mismo tiempo que se producen subproductos orgánicos como la biomasa y biogás metano.</p> <p>6.-Reduce la contaminación a cuerpos hídricos receptores.</p> <p>7.-No requiere de energía mecánica porque funciona por gravedad.</p> <p>8.-Recicla los nutrientes y se puede producir forraje verde hidropónico orgánico para alimentar ganado.</p>	<p>1.-No acepta todo tipo de sustancias por ejemplo: cloro y detergente, porque estas sustancias contrarrestan la materia orgánica.</p> <p>2.-No se pueden arrojar restos de comida, a la trampa de grasas, porque está no tiene la capacidad de descomponer la materia orgánica.</p>

Fuente. Elaboración propia con base en Arias, 1976 y Gutiérrez, 2010.

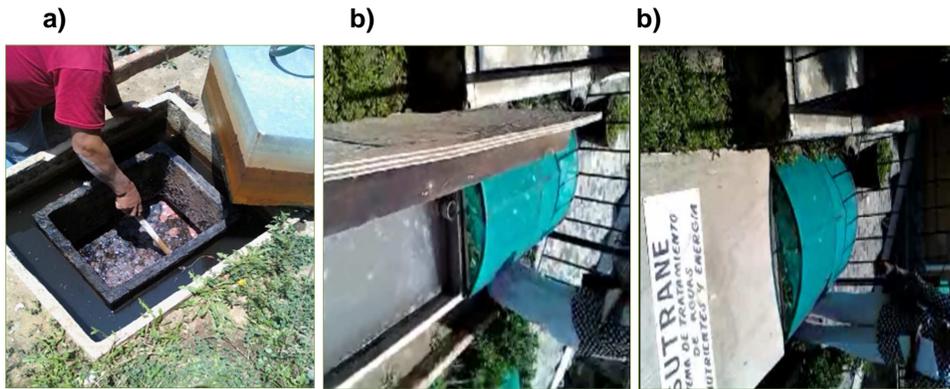
Caso de estudio del Sistema Unitario de Tratamiento y Reúso de Agua, Nutrientes y Energía.

El SUTRANE que está instalado en el Centro Educativo para el Desarrollo Rural ubicado en Piedra Grande, municipio de Huixquilucan, Estado de México, funciona desde hace 21 años, diseñado para 40 personas cuenta con una longitud total de 11.30 metros de largo por 10.30 metros de ancho, es importante señalar que normalmente son 20 los usuarios que hacen descarga de agua residual al sistema, considerando que estas personas solo son visitantes y que consumen un aproximado de 80 litros de agua por persona en su visita al centro educativo; el agua residual se genera en la cocina para preparar alimentos y lavado de utensilios y en sanitario en la descarga del inodoro y para el lavamanos.

El sistema consta con dos entradas de efluentes, el primer efluente consta de aguas negras provenientes del sanitario que son captadas por el biodigestor; es una fosa que mide aproximadamente 60 centímetros de largo por 50 de ancho y 1 metro de profundidad; el proceso de biodegradación dentro de la fosa es anaerobio, debido a la acción de bacterias, la descomposición de la materia; y se presenta en un periodo aproximado de 30 a 40 días, cabe señalar que al biodigestor se le agrega estiércol de bovino para que ocurra mayor dinamismo de bacterias.

La segunda fosa contiene el efluente de las aguas grises derivadas de los lavabos y regaderas, esta fosa es conocida como la trampa de grasas con medidas de 1.20 metros de largo por 50 centímetros de ancho y 40 centímetros de profundidad, donde se acumulan las natas que son retiradas cada 2 años de manera manual, con un espesor de aproximadamente de 5 centímetros. Ambas fosas contienen diferentes cargas de materia orgánica mostradas en la figura 9.

Figura 10. a) Biodigestor y b) Trampa de grasas del (SUTRANE)



Fuente: Elaboración propia

Después de que el agua residual paso por la trampa de grasas se dirige al filtro biofísico con medidas de 1 metro de largo por 50 centímetros de ancho y 50 centímetros de profundidad, cubierto por una malla para evitar la acumulación de fauna nociva como mosquitos, uno de los principales componentes encargado de absorber nutrientes en este campo es el lirio acuático que mide aproximadamente 30 centímetros de largo figura 11.

Figura 11. El filtro biofísico del (SUTRANE)



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se disponen de cuatro parcelas conocidas como el campo secundario, de las cuales dos se encuentran en la parte superior y las dos restantes en la parte inferior,

En ellas se siembran diferentes especies de plantas entre ellas medicinales como la perilla y el carrizo; que han ayudado a remediar malestares estomacales; cada una tiene una longitud de 7 metros de largo por 80 centímetros de ancho.

El sistema se complementa con un tanque recolector insertado después del campo secundario con medidas de 70 centímetros de profundidad, 2 metros de largo y 60 centímetros de ancho; que recibe las aguas enriquecidas con nutrientes que no fueron asimilados por las plantas;

Figura 12. a) Campo secundario y b) Tanque recolector del (SUTRANE)



Fuente: Elaboración propia

Esta técnica ha tenido varias modificaciones en su estructura; entre ellas se han anexando materiales como tubos y arena según estudios por investigadores que han visitado el centro educativo, con la finalidad de obtener mejores resultados en la calidad del agua y mayor cantidad en cultivos; el sistema tiene el peligro de colapsar por el exceso de tierra que presenta actualmente.

Los resultados obtenidos son un efluente de agua clara y con menor carga de contaminantes entre ellos microorganismos patógenos, comparada con la del influente; adicionalmente se obtienen subproductos como el gas metano, generado en el digestor anaerobio; así como cultivos de hortalizas o flores en pocos metros cuadrados; es importante señalar que el sistema funciona prácticamente por las mismas pendientes de la calle.

El volumen de retorno del agua final, se diferencia de acuerdo a la temporada de estiaje y de lluvias, al número de usuarios y el tiempo de retorno considerado de 30 a 40 días. La cantidad de retorno en la temporada de estiaje es menor en comparación con la temporada de lluvias; en la primera temporada las plantas absorben mayor volumen de agua para su crecimiento, además en esta temporada el agua se evapora por las frecuentes temperaturas de calor, mientras que en la temporada de lluvias, el agua que cae y se infiltra al sistema además de la que es generada por los usuarios es aprovechada por las plantas; por lo tanto el volumen generado durante esta época es mayor en comparación con la temporada de estiaje.

Figura 13. Fosa recolectora del agua tratada del (SUTRANE)



Fuente: Elaboración propia

Por la simplicidad en su diseño de construcción el SUTRANE cumple a lo establecido en la NOM-016-SSA2, donde se hace mención de la depuración del agua residual mediante sistemas de tratamiento que puedan ser establecidos en zonas rurales, donde no se cuente con el servicio de drenaje; otro de los principios de la NOM es que toma en cuenta la participación de los grupos sociales para la implementación de los sistemas de tratamiento (Gobierno Federal, 1995).

Cuadro 8. Ventajas y desventajas del (SUTRANE), caso de estudio.

Ventajas	Desventajas
1.-El sistema no necesita energía mecánica ya que funciona por las mismas pendientes del terreno.	1.-Por la descomposición de materia orgánica en el biodigestor se genera poco gas metano mismo que no es aprovechado.
2.-Se siembran plantas medicinales que han aliviado malestares estomacales.	2.-En época de estiaje el volumen de retorno de agua es mínimo.
3.-Requiere de mantenimiento mínimo que significa sacar las grasas y cuidar el huerto.	3.- El sistema fue diseñado para 40 personas y son solo aproximadamente 20 usuarios quien vierten agua residual.
4.-El uso del ferrocemento es una técnica confiable y además económica que se puede utilizar para la construcción del SUTRANE, ya que es resistente y flexible para la construcción de paredes del sistema.	

Fuente: Elaboración propia

3.3 Sistema Integral de Abasto y Saneamiento de Agua con Descarga Cero (SIASA₀)

El Sistema Integral de Abasto y Saneamiento de Agua con Descarga Cero tiene capacidad para atender las necesidades hídricas de una vivienda o espacio público, a partir de la apropiación del agua de lluvia para su uso y su reincorporación al ciclo hidrológico sin alterarlo. Según León (2006), el sistema permite ahorrar más del 50% de agua potable, porque accede al reúso del agua residual mediante el tratamiento idóneo por tipo de contaminante; a la vez que genera agua disponible para la recarga de acuíferos.

El proyecto muestra que es una viable técnica para tratar el agua residual sin hacer grandes y costosas plantas, utiliza dispositivos que requieren de poca energía eléctrica, durante el proceso de tratamiento no se generan residuos tóxicos ni emisiones de contaminantes al aire. El funcionamiento del sistema radica en la escala, tecnología usada y en el involucramiento de la población (León, 2006).

Uno de los propósitos del SIASA₀ es cumplir con los estándares que se establecen en la NOM 001-SEMARNAT que instituyen a respetar los niveles de calidad permitidos para descargar el agua residual a un cuerpo receptor específico tomando en cuenta los de parámetros físicos, químicos y biológicos, con el fin de preservar y controlar la calidad de aguas conforme a la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento (SEMARNAT, 1997a).

Por lo anterior el funcionamiento del sistema consta de dos procesos: para la captura del agua de lluvia y para el tratamiento de las aguas residuales municipales, sin embargo, en esta investigación sólo se hace mención al segundo proceso, con fines al reciclaje, el cual se lleva a cabo a partir de la separación del agua residual gris y negra, de la siguiente manera: El agua gris tiene su tren de tratamiento que consiste en tres pasos que inician desde la fosa de agua gris hasta la inyección de ozono, de acuerdo con León (2006).

1. La fosa de agua grises (Figura 14-3), una celda cuadrada de 0.60 metros por 1.50 metros de profundidad; recibe el agua jabonosa provenientes de lavabos, regaderas fregaderos, lavadora de trastes y de ropa. El objetivo es separar por densidad los contaminantes ligeros como la espuma de jabón, grasas y los contaminantes pesados como la costra de jabón y el cabello León (2006).

León (2006) recomienda efectuar una inspección visual cada semana, levantando su tapa para estimar el volumen de natas y sedimentos acumulados y, en su caso, extraerlos, utilizando un colador de plástico.

2. El desnatador sedimentador forzado (Figura 14-4), consiste en una tina dividida en tres celdas de 0.60 metros de ancho por 1.20 metros de largo por 1.50 metros de profundidad; tiene la función de separar, por densidad, las partículas en suspensión; la primera recibe el agua con menor cantidad de partículas y una dosis de ozono para desinfectar el agua, oxidando con eficiencia a los microorganismos, para que quede estéril. En la segunda celda se forman coágulos, que eliminan la turbidez que provoca el jabón, mismos que flotan y forman natas o sedimentan en los filtros León (2006).

El mantenimiento de estas celdas consiste en: retirar la maya para limpiar los filtros, vaciar el agua, libre de natas y sedimentos, desde la tercera celda al cárcamo de recirculación y colocar las mayas limpias en los filtros y colocarlos en sus celdas.

3.-La cisterna de aguas grises de jabón (Figura 14-5) incluye un mecanismo de válvula de flotador, instalada a 40 centímetros del fondo, que permite que primero se consuma el agua de jabón reciclada y después la de la red, dando continuidad al servicio; además de un cárcamo de recirculación que es un espacio donde se succiona el líquido, este modulo contiene una bomba de inyección de ozono (Figura 14-6) que tiene por función generar la presión necesaria para provocar la inyección de ozono adecuada, a través del Venturi (Figura 14-8) donde un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado disminuye su presión al aumentar la velocidad después de pasar por una zona de sección menor. El efecto Venturi se explica por el Principio de Bernoulli y el principio de continuidad de masa. Si el

caudal de un fluido es constante pero la sección disminuye, necesariamente la velocidad aumenta tras atravesar esta sección. Por el teorema de la conservación de la energía mecánica, si la energía cinética aumenta, la energía determinada por el valor de la presión disminuye forzosamente, como se ilustra en la figura 15. (Valderrama, 2003).

Es necesario que para el adecuado funcionamiento del generador de ozono (Figura 14-7) la presión de operación sea entre 1.8 kg/cm^2 y 2.5 kg/cm^2 , esto se logra abriendo y cerrando las válvulas la de circulación, control de flujo y la de presión, con el tiempo el usuario se dará cuenta de cuál es la presión adecuada (INCASA, 2006)

El agua tratada con ozono es una forma de purificar y potabilizar el líquido, es decir, es un sistema de tratamiento de agua. En concreto el Ozono (O_3) es un gas incoloro con fuertes capacidades oxidantes de la materia orgánica; de ahí su uso para desinfectar el agua. De esta forma el agua que paso por el proceso de ozonificación produce una destrucción rápida y eficaz de microorganismos, incluidos los virus y bacterias. De este modo se obtiene un agua libre de gérmenes apta para su reutilización tanto para beber, como para el riego. Actualmente, la ozonización del agua está ganando aceptación a nivel mundial, principalmente como alternativa a los productos químicos tradicionales (Valderrama, 2003).

El Ozono es el segundo elemento con mayor poder oxidante después del flúor. Es evidente, que el O_3 es muy rápido en su actuación, siendo además inodoro, insípido y no se le conoce derivados que pudieran ser perjudiciales para la salud, pudiendo producirse además industrialmente de una manera económica. Se afirma que el Ozono actúa en la desinfección (esterilización) del agua de 600 a 3000 veces más rápida que el cloro (Valderrama, 2003).

Aplicaciones del uso del ozono en el tratamiento del agua residual:

- Eliminación de orgánicos como pesticidas, herbicidas, fenoles.
- Desinfección de conductos y utensilios.
- Inactivación de virus.
- Disminución considerable del contenido de detergentes.
- Eliminación de los sabores y olores indeseables.
- Reducción de DBO Y DQO.
- Tratamiento de agua potable y residual.

Las ventajas del agua tratada con ozono son diversas, así como notable su mayor eficiencia frente al cloro. Siendo este último el desinfectante de agua más común y usado (Valderrama, 2003).

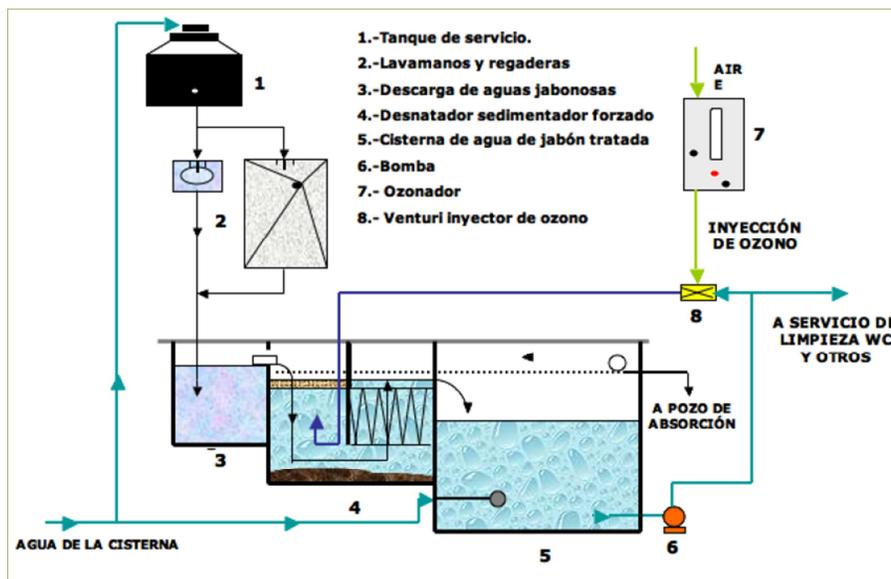
- El tratamiento de agua con ozono permite no sólo la eliminación de bacterias malignas sino que acaba con los virus que el cloro no puede destruir, no aumenta los contenidos de sales inorgánicas o productos tóxicos en el agua.
- La ozonización resulta más económica que la supercloración y resulta la misma inversión económica que una cloración normal, pero los precios van disminuyendo a medida que la tecnología de la ozonización va mejorando.
- El tratamiento del agua con ozono elimina olores y sabores extraños que pueden producir algunas sustancias orgánicas (Henry, 1993).

Desventajas de tratamiento del agua con ozono

- La ozonización cuenta con la desventaja de que el ozono tiene una vida activa en el agua de unos veinticinco minutos de media.
- El agua tratada con ozono debe serlo in situ e instalarse los medios para hacerlo ya que éste no se puede transportar.
- La ozonización puede producir ácido nítrico u óxido nítrico, produciendo efectos corrosivos en los aparatos usados para tratar el agua con ozono.

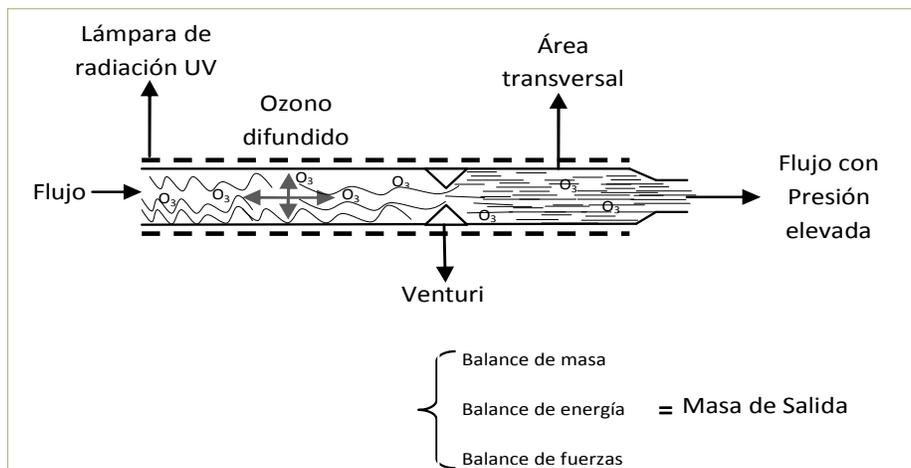
- La ozonización, en el caso de los operarios que trabajan con las grandes máquinas para tratar el agua, deben tomar precauciones en su uso y exposición al ozono. Estas deben estar estipuladas para salvaguardar la salud de éstos, ya que los poderes oxidantes del ozono pueden afectar a los ojos y pulmones (Henry, 1993).

Figura 14. Tratamiento de aguas grises en el (SIASA₀)



Fuente. León, 2006.

Figura 15. El Venturi y el Ozonador en el (SIASA₀)



Fuente: Elaboración propia

b) Tratamientos de aguas negras

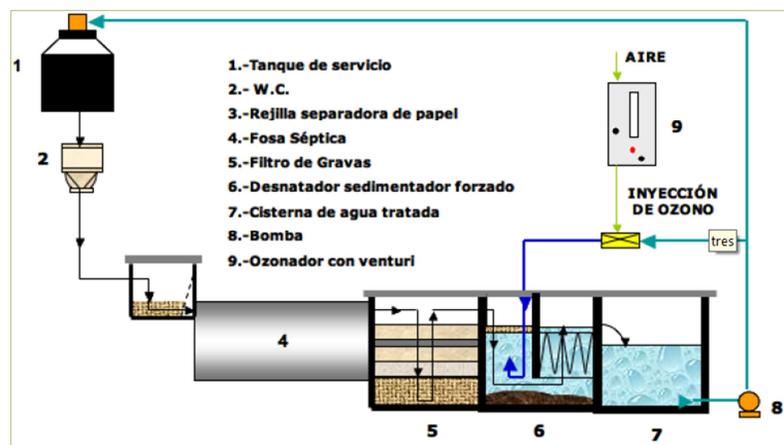
1.- La fosa separadora de papel (Figura 16-3), es un registro de 0.60 metros de ancho por 1.20 metros de largo por 0.40 metros de profundidad, recibe el agua con carga orgánica procedente de los inodoros, cuenta con una rejilla de plástico que impide el paso de materiales sólidos; su mantenimiento consta en remover el material una vez a la semana de acuerdo al grado de saturación.

2. La fosa séptica (Figura 16-4) tiene la capacidad de recibir 3,000 litros/ día, efectúa la degradación de la materia orgánica, basado en la descomposición de las bacterias anaeróbicas, estas al recibir su alimento lo transforman en gas que se volatiliza a la atmósfera. La fosa séptica no requiere de mantenimiento, la operación adecuada garantiza que durante su vida útil, no se requiera la extracción de la materia orgánica (León, 2006).

3. Filtro de gravas (Figura 16-5) mide 1.60 metros por 1.20 metros de profundo, tiene por objeto retener las bacterias que salen junto con el agua clarificada e incrementan la eficiencia de remoción a valores superiores al 90%.

4.- La cisterna de agua tratada (Figura 16-7) recibe agua desinfectada y clarificada para ser usada en el servicio de riego de áreas verdes, su capacidad es de 2,500 litros, la red de riego consiste en una tubería que termina, en cada uno de los jardines en conjunto, en una llave de nariz.

Figura 16. Tratamiento de aguas negras en el (SIASA₀)



Fuente. León, 2006.

c) Aprovechamiento del agua de lluvia

El agua de lluvia que cae en los techos escurre hasta un depósito con capacidad aproximada de 2m³, colocado arriba del nivel del lavadero y de la lavadora de ropa que es utilizada durante el temporal. Se deberá tener cuidado que antes del temporal, no existan hojas secas de los arboles que ensucien el agua y obstruyan su conducción a los puntos de consumo (León, 2006).

El agua de la red es almacenada en la cisterna del condominio y se alimenta a cada una de las casas por medio de un mecanismo de hidroneumático generador de energía y un flotador que mantiene permanentemente los tinacos. Aunque el mecanismo es de bajo mantenimiento, seguro y fácil de operar, es conveniente, verificar su funcionamiento cuando menos una vez por mes (León, 2006).

El SIASA₀ como sistema para tratar el agua residual doméstica funciona a partir de procesos microbiológicos aerobios y anaerobios, que son complementados por la inyección de ozono, próxima a la salida del líquido del sistema, tanto en el proceso de agua gris como negra, que debe permanecer al menos durante XX días. En los trenes de tratamiento paralelos de agua gris y de agua negra, terminan con distintas calidades que las destinan para distintos usos; así, el efluente del agua gris se regresa a la vivienda, para su uso en la red que alimenta al inodoro y otros servicios, a diferencia del tren del agua negra, que se utiliza sólo para el riego de áreas verdes, que complementa su tratamiento a través del suelo.

El primer efluente para el abastecimiento del sistema, se obtiene de la precipitación, captada en los techos de las viviendas; el segundo efluente es de agua potable suministrado por la red de alcantarillado, éste ultimo va a un tinaco de servicio para surtir a regaderas, lavabos y el fregadero; una vez usada el agua de estos dos primeros efluentes se conduce al sistema de tratamiento de aguas grises, donde pasa por un tanque sedimentador el cual separa la materia orgánica por densidad, que abastece a un segundo tinaco, donde el agua es distribuida a los tanques de los inodoros WC y para la toma de agua de servicio de lavado de patios y riego de áreas verdes (León, 2006).

Después de éste segundo uso, el agua se dirige a la cisterna de aguas negras donde el proceso consta de una trampa de sólidos que retiene el papel o plásticos, un biodigestor anaerobio donde es depositada la materia fecal, la inyección de aire y ozono, un filtro de poliéster, un tanque de recirculación y finalmente una cisterna de agua de servicio (León, 2006).

Cuadro 9. Ventajas y desventajas del (SIASA₀)

Ventajas	Desventajas
<p>1.-No impacta el paisaje ya que se ubica en un área ajardinada.</p> <p>2.-La superficie donde se instala el sistema puede servir también como lugar de recreación ya que no existen olores u aspectos desagradables al exterior.</p> <p>3.-Capta, controla y aprovecha la lluvia</p> <p>4.-Suministra calidad y cantidad por tipo de servicio.</p> <p>5.-Existe la separación y tratamiento dependiendo la calidad de efluente.</p> <p>6.-Desinfecta con ozono, no deja contaminantes.</p>	<p>1.-Los materiales requeridos para la construcción del sistema tienen un costo mayor comparado con las técnicas de tratamiento anteriormente descritas.</p> <p>2.- Su construcción requiere de muchos tubos plásticos por lo tanto su construcción es más compleja.</p> <p>3.-Necesita de requerimientos mecánicos como la electricidad.</p>

Fuente. Elaboración propia con base al autor León, 2006.

Caso de estudio del Sistema Integral de Abasto y Saneamiento de Agua con Descarga Cero (SIASA₀).

El sistema está funcionando en un conjunto urbano llamado Cañadas del Lago, que es un “fraccionamiento residencial medio de tipo ecológico”, rodeado de bosque, a un costado de la presa Guadalupe Cuautitlán Izcalli, México. El proyecto total contempla la construcción en etapas de hasta 32 condominios horizontales y verticales, con un máximo de 8 casas en dos niveles y 9 departamentos en cada uno (Gobierno del Estado de México, 2004).

La instalación del SIASA₀ en este conjunto urbano fue la causa de que el Ing. Eduardo León Garza ganara el Premio Nacional de Vivienda en el año 2007, por su contribución al cuidado del medio ambiente. El propósito de la instalación (León, 2006) en este sitio es lograr el ahorro de agua, al menos en 50% del consumo de la red pública y con ello reducir la presión sobre la fuente de abastecimiento, así como eliminar la descarga al alcantarillado público en 100%.

El proyecto fue construido por la empresa INCASA S.A. DE C.V. que tiene por misión conservar los recursos naturales y materiales del sitio de una manera sustentable, en especial el agua, ya que el fraccionamiento se encuentra dentro del área natural protegida con la categoría de Parque Estatal denominado “Santuario del Agua y Forestal Presa de Guadalupe”, que tiene por objetivo contribuir al desarrollo sustentable, y a su vez, incrementar las alternativas económico- ambientales que permitan incidir en una mejor calidad de vida para los pobladores de la región; conservar los sistemas hidrológicos y forestales en beneficio de la diversidad biológica, favorecer la recarga de mantos acuíferos, fomentar el desarrollo eco-turístico y la cultura integral de los usos del agua, suelo, flora y fauna; evitando la contaminación y aprovechamiento excesivo, por lo cual el diseño del sistema se basa en evitar la contaminación de la presa por aguas negras producidas por la población (Gobierno del Estado de México, 2004).

Otra norma que pretende cumplir el sistema es la NOM 127-SSA1-1994, porque en su diseño está implementado un proceso final que consiste en la potabilización mediante la inyección de ozono, la cual consiste en eliminar patógenos aun presentes en el agua, esto permitirá un posterior uso y consumo humano con calidad adecuada para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales entre otras (SEMARNAT, 1994).

En el caso de análisis de campo se observa que el SIASA₀ no cumple con los propósitos que se establecieron en la NOM 001-SEMARNAT ya que los estándares de calidad del agua para consumo humano no se cumplen, por falta de operación del sistema, y tampoco con la NOM 127-SSA1-1994 mencionada anteriormente, ya que el ozonador dejó de funcionar y para los usuarios resulta complicado repararlo y no han tenido la disposición para solucionar el problema.

Según León (2006) para fines de funcionamiento el sistema utiliza como elementos la separación de aguas residuales; por tipo de contaminante y la desinfección con ozono que oxida la materia orgánica, siendo este el único oxidante natural que no deja residuos o subproductos tóxicos que puedan causar daño.

En la línea de tratamiento del agua de inodoro, se inserta una rejilla que retiene el papel sanitario antes de la entrada a la fosa séptica que está diseñada para la subsistencia de bacterias que se desarrollan en ausencia de aire y de luz, encargadas de digerir la carga de materia orgánica y transformarla en CO₂ y gas metano. Posteriormente se coloca un filtro de carbón activado que remueve los contaminantes, seguido del sedimentador el cual facilita la separación de materia ligera, formando una nata sobre la superficie del agua en la primera celda.

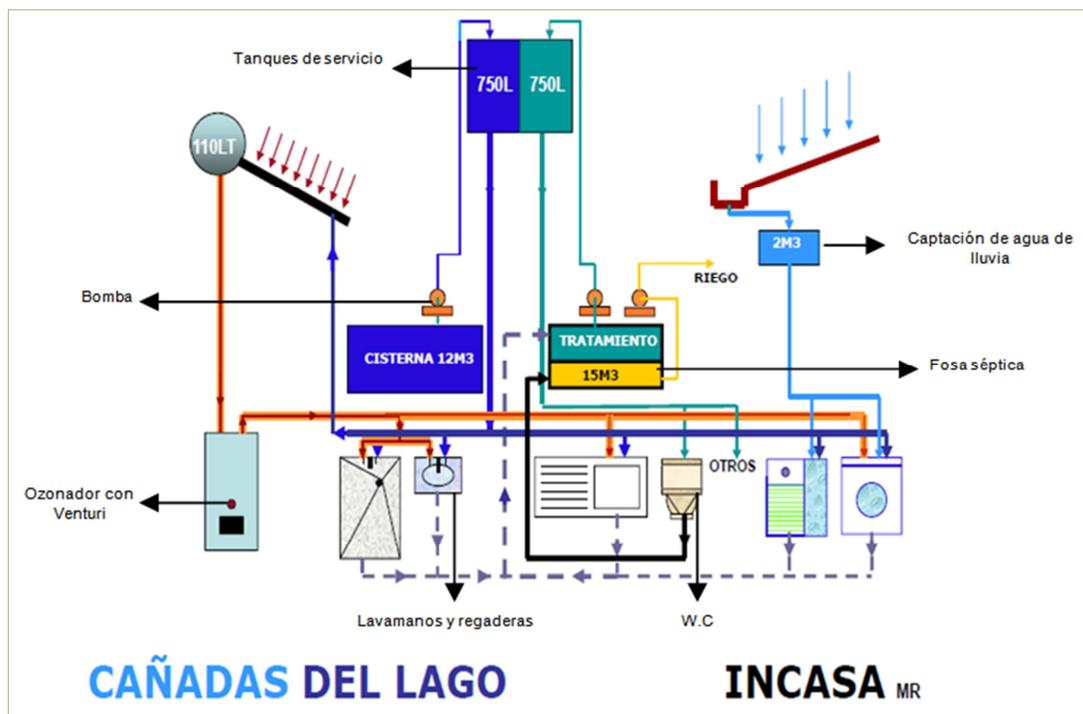
Después de las anteriores etapas el agua pasa a un cárcamo que recibe el agua reciclada enviada por medio de una bomba al tanque de servicio este segundo circuito tiene la función de incorporar el ozono que producirá el efecto de desinfectar eliminando en su totalidad materia orgánica, oxidar químicos y metales

pesados si los hubiere y de eliminar calor o turbidez del agua mediante la coagulación de materia coloidal (León, 2006).

En la penúltima etapa del tratamiento se anexa una bomba eléctrica que conduce el agua a través del venturi para la incorporación de ozono y su inyección en la primera celda del sedimentador que mediante un burbujeo vigoroso realiza su función. La función del venturi es permitir la incorporación de ozono en el agua que recircula a la primera celda del dispositivo en el que se efectúa un vigoroso burbujeo de ozono (Valderrama, 2003).

Para obtener agua libre de contaminantes pasa por el generador de ozono que utilizan el oxígeno y el ozono suficiente para llevar a cabo el tratamiento de agua, oxida materia orgánica, químicos y metales, y elimina la materia coloidal.

Figura 17. Componentes del (SIASA₀)



Fuente. INCASA, 2006.

Cuadro 10. Ventajas y desventajas del (SIASA₀), caso de estudio.

Ventajas	Desventajas
<p>Desde el año 2012 por la falta de información en la operación y mantenimiento los usuarios decidieron abandonar el sistema.</p>	<p>1.-Actualmente no está operando, y además los tanques recolectores y las bombas están en condiciones de abandono.</p> <p>2.-Los usuario no están acostumbrados a dar mantenimiento al sistema, ya que desde un principio no hubo capacitación previa del su uso de la planta de tratamiento.</p> <p>3.-En temporada lluvia se presentan problemas de inundación y humedad porque el sistema está construido sobre un río.</p> <p>5.-Genera productos que no se utilizan dentro del sistema que son los lodos, estos se tienen que retirar por una maquina extractora lo que implica un costo de mantenimiento extra.</p>

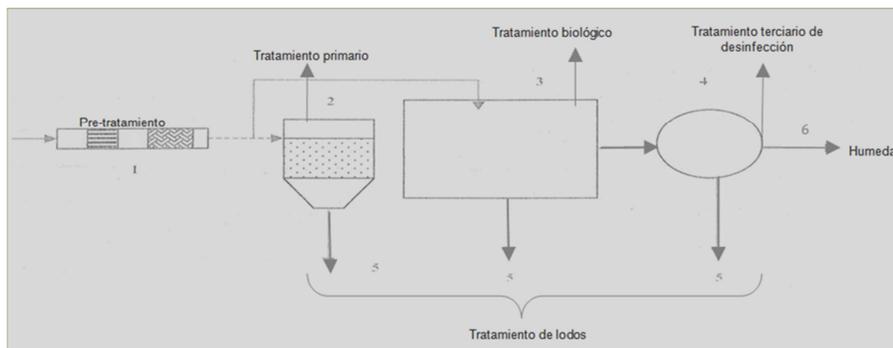
Fuente. Elaboración propia con base en: León 2006.

3.4 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y Humedal I-SEDAGRO, Metepec, Estado de México.

Ante el aumento del consumo y extracción de agua potable, las autoridades del organismo de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento (APAS) Metepec, decidieron implementar un proyecto relacionado con el tratamiento de aguas residuales, con el propósito de introducir alternativas económicas y ecológicas, que permitan reusar el agua para riego de cultivos, áreas verdes, tanques de servicio y descarga al río Lerma (León, 2012).

El tren de tratamiento para la depuración del agua residual captada en la planta consiste en seis pasos ilustrado en la figura 18 que son: el pre-tratamiento, tratamiento primario, secundario, terciario y un método adicional que es el humedal.

Figura 18. Procesos de Tratamiento en la Planta SEDAGRO I.



Fuente. Elaboración propia con base en: Arboleda, 1992.

Durante el proceso físico por medio de dos canales de rejillas, un desarenador y un cárcamo de bombeo se remueve la materia u objetos, que por su gran tamaño pueden provocar taponamientos en las líneas de distribución hidráulica, daños a los equipos de bombeo y/o acumulación de sólidos en los tanques de proceso, tal es el caso de objetos de plástico, vidrio, cartón, piedras, telas, animales muertos, entre otros (Gordon, 1979).

Una vez que el agua está libre de residuos, pasa por las cámaras de desarenado, estos son canales que controlan la velocidad de flujo y la diferencia de peso específico, entre las partículas sólidas, estas primeras se sedimentan. En el proceso de sedimentación las partículas que se depositan mantienen su individualidad y permanecen constantes en sus propiedades físicas como son el tamaño, forma y peso específico (Delfino, 2002). Después de la anterior etapa el líquido se vierte directamente en un cárcamo de bombeo, el cual tiene la función de amortiguar las variaciones de flujo y carga orgánica que se presenta a lo largo del día (León, 2012).

El segundo proceso es el tratamiento biológico que se desarrollará en un reactor biológico, conformado por un tanque de aireación que descompone la materia orgánica mediante la acción de microorganismos, los cuales se alimentan de sustancias contenidas en el agua; motivo por el cual, la población microbiana tiende a crecer y al cabo de un tiempo, es necesario purgar el excedente de microorganismos, para evitar la emisión de malos olores (Bramucci, 2000). Para que la población de microorganismos pueda llevar a cabo su metabolismo de oxidación de materia orgánica, será necesario suministrar Oxígeno (Guido, 1999).

El agua residual contiene sólidos suspendidos y coloides, que al agitarse en presencia de aire se forman núcleos sobre los cuales se desarrolla la masa biológica, pasando gradualmente a formar partículas más grandes de sólidos que se conocen como lodos activados; el producto de estas reacciones es una mezcla de materia orgánica estable que fácilmente sedimenta y junto con ella arrastra hasta un 90% de bacterias. Una vez que el lodo pasa por el proceso de digestión será enviado a los lechos de secado para su desaguado y a una posterior disposición final en un sitio de disposición final autorizado como residuo sólido municipal (Gordon, 1979).

Para el tratamiento de lodos se aplica una estabilización alcalina, para incrementar el pH, a fin de inactivar químicamente a los microorganismos patógenos, posteriormente los lodos son transferidos a un sistema de deshidratación, denominado lechos de secado, que consiste en la deshidratación del lodo, obteniendo una masa seca, que puede emplearse como composta para mejorar las condiciones del suelo, conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 que establece la disposición final como residuo sólido municipal (Ávila, 2008).

En el tratamiento terciario el efluente tratado por las anteriores etapas es enviado por gravedad a un tanque de desinfección, en esta unidad se mezcla el efluente con una dosificación de solución de hipoclorito de sodio, la forma y la longitud de este tanque permite que el agua entre en contacto con el cloro por un tiempo mínimo de 15 a 30 minutos, con un régimen de flujo de pistón, el cual garantiza un gradiente de concentraciones del cloro, optimizando su poder desinfectante, dicho proceso se realizará con el fin de eliminar los agentes patógenos (Loyola, 1994).

Una vez que el agua ha salido del sistema de tratamiento con calidad para reúso se implemento un último método alternativo, llamado humedal artificial, el cual aprovecha el efluente como fuente de nutrientes para el crecimiento de especies vegetales de la zona; esta etapa realiza la función de filtrar, descomponer y reciclar la materia orgánica acumulada, convirtiéndose así en filtro biológico que retira los nutrientes, sedimentos y contaminantes; además proporciona un tratamiento de calidad y eficiencia costo beneficio al agua residual, sin producir lodos ni otros subproductos tóxicos (De la Rosa, 2006).

Caso de estudio Planta de Tratamiento de agua residual doméstica- SEDAGRO-I, Metepec.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales actualmente opera y cumple con la normatividad vigente en el tema del agua en específico los puntos que mencionan la calidad del agua que se descarga a cuerpos de jurisdicción federal, además cumple con los estándares de los límites permisibles señalados por la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 (CONAGUA, 2008).

La planta recibe agua residual de los comercios y hogares de la zona suroeste de Metepec, incluyendo la cabecera municipal y las colonias aledañas al Fraccionamiento San Javier. La planta tiene una capacidad de tratamiento de 100 litros por segundo (l/s); y se estima que tendrá una vida útil aproximada de 30 años como mínimo, está recibe un aproximado del 40% de las aguas negras municipales (SEMARNAT, 2005).

Para el buen funcionamiento de la planta se realiza una inspección cuidadosa para asegurar que todos los elementos que la componen estén listos para empezar a operar (León, 2012).

En la etapa de tratamiento biológico anaerobio, el reactor cuenta con un sistema de distribución para asegurar el reparto uniforme del agua en el fondo sin que haya taponamientos o zonas muertas. El influente ingresa a la caja de distribución primaria y de ahí se envía a ocho cajas de distribución secundaria para que finalmente ingrese al reactor anaerobio (Gordon, 1979). Las cajas de distribución primaria y secundaria cuentan con vertederos rectangulares, los cuales alimentan el fondo del reactor y dentro del reactor el agua residual es distribuida en flujo ascendente.

Al entrar en contacto el agua residual y el lodo activo se llevan a cabo reacciones bioquímicas, en las cuales la materia orgánica contenida en el agua residual constituye el sustrato de los microorganismos anaerobios; los productos de la degradación de la materia orgánica por vía anaerobia es el biogás (Gordon, 1979).

En la parte superior del reactor anaerobio existe un separador de fases, conformado por estructuras en formas de campanas de sección triangular colectoras de biogás, que por su disposición impiden la evacuación del gas por la superficie libre del líquido del reactor (Santegoeds, 1998).

Las aguas negras contienen sólidos suspendidos y coloidales, de manera que cuando se agiten en presencia de aire, los sólidos suspendidos forman núcleos y partículas más grandes que se conocen como lodos activados, por la generación de este subproducto es necesario purgarlo cada cierto periodo de tiempo (Gordon, 1979).

En el reactor aerobio se proporcionan las condiciones adecuadas de oxigenación para que los microorganismos degraden la materia orgánica que no fue eliminada por el reactor anaerobio; cuenta con un sistema de difusión de aire en la parte inferior, los cuales generan finas burbujas de aire para suministrar a los microorganismos el oxígeno requerido para la depuración del agua (Metcalf, 1994). Cada reactor tiene una red de difusores, la cual se alimenta de aire gracias a sopladores lobulares, ubicados a nivel de piso en la parte exterior del reactor. Los dos reactores de lodos activados de tipo aerobio, tienen una capacidad máxima de 50 l/s nominal.

Figura 19. Proceso biológico aerobio.



Fuente: León (2012).

En el tanque sedimentador el agua mezclada con el lodo activado proveniente del reactor aerobio entra por la parte central y superior de este equipo, choca contra la mampara central que reduce la energía y velocidad de líquido, para eliminar la turbulencia y fomentar las condiciones adecuadas para la separación de sólidos suspendidos y agua (Metcalf, 1994). Los lodos colectados en fondo del clarificador se envían a los reactores anaerobios, para que estos sean eliminados del tren aerobio y sirvan como alimento de los microorganismos (Paredes, 2001).

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales también tiene la opción de un tratamiento terciario, el cual consiste en un sistema de filtración y desinfección. El efluente que sale del clarificador puede desviarse para pasar por los filtros y posteriormente pasar al proceso de desinfección a través de luz ultravioleta, la cual elimina organismos patógenos del agua tratada. A la salida de este equipo, el efluente es dirigido hacia el canal Parshall y a su vez hacia el humedal y posteriormente a una cisterna para su reusó en forma segura (IMTA, 2008).

Cabe mencionar que el agua tratada cumple con la NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece que el agua puede usarse para servicios al público. Dentro de la planta existe la venta de agua tratada para reusó en riego de áreas verdes como jardines, camellones, campos de futbol, construcción, lavado de autos entre otros (SEMARNAT, 2008).

Figura 20. a) Desinfección a través de luz ultravioleta, b) Parsall y c) humedal



Fuente. León, 2012.

**Cuadro 11. Ventajas y desventajas de la Planta tratadora de agua residual
 Metepec estado de México I-SEDAGRO.**

Ventajas	Desventajas
<p>1.-Cumple con la NOM-003 SEMARNAT-1997, la cual es para contacto humano (reusó en riego, auto-lavado y cría de peces).</p> <p>2.- Una proporción del agua depurada se vierte al río Lerma.</p> <p>3.- El personal encargado del mantenimiento de la planta son técnicos capacitados que tienen la información de cómo opera cada componente de la planta.</p> <p>4.- La planta tendrá una remodelación para hacer más eficiente la depuración del agua residual en cuanto a la acción microbiológica.</p>	<p>1.-La planta tratadora presenta deficiencias de materia prima (agua residual), ya que actualmente trata el 50% de su capacidad que es 100 l/s, debido a que solo tres colectores descargan el agua residual a la planta y no es la suficiente para que se opere de forma continúa.</p> <p>2.-Actualmente la planta tratadora será remodelada recibirá, se cambiara el proceso biológico anaerobio-aerobio por solo proceso biológico aerobio con lodos activados.</p>

Fuente. Elaboración propia con base en León, 2012.

Capítulo IV.

Resultados de los tres sistemas comparados SUTRANE, SIASA₀ y Humedal artificial



Capítulo IV. Resultado de los tres sistemas comparados SUTRANE, SIASA₀ Y Humedal artificial

El método de comparación consistió en analizar las características de los tres sistemas evaluados anteriormente.

Cuadro 12. Semejanzas y diferencias de los tres sistemas evaluados

Semejanzas	Diferencias
<p>1.-Son técnicas alternativas para el tratamiento de agua residual de uso doméstico.</p> <p>2.-Representan una opción para obtener agua de buena calidad.</p> <p>3.-Requieren de dos procesos el aerobio y anaerobio.</p> <p>4.-Se caracterizan por tener un tratamiento primario (físico), secundario (biológico) y terciario (químico).</p> <p>5.-La depuración del agua se lleva a cabo por microorganismos y vegetales, eliminan grandes cantidades de materia orgánica, sólidos, nitrógeno, fósforo etc.</p> <p>6.-Después de que el agua ha sido tratada, se utilizada para riego de jardines, auto-lavados, servicio sanitario, etc.</p> <p>7.-Ayudan a la conservación del recurso hídrico, a si como a la protección del ambiente.</p> <p>8.-Actualmente están experimentando un alto grado de desarrollo e implantación, debido a su flexibilidad, sus bajos costos de construcción, operación y mantenimiento.</p> <p>9.-Es necesario el uso de detergentes biodegradables, para evitar la muerte de las bacterias que ayudan a la descomposición de la materia orgánica.</p>	<p>1.-Las etapas de tratamiento son diferentes en cada uno de los sistemas.</p> <p>2.-Cada sistema utilizan diferentes materiales para su construcción, por lo tanto cada uno representa diferente valor económico.</p> <p>3.-Cada uno demanda diferente superficie territorial para su construcción.</p> <p>4.- Los usuarios requieren de capacitación de acuerdo al sistema que desean adoptar.</p> <p>5.- Es necesaria la participación política administrativa para la autorización de la implementación de alguno de estos tres sistemas.</p> <p>6.- Cada uno necesita de diferente energía para su funcionamiento.</p> <p>7.- Generan diferentes subproductos que pueden aprovecharse, es necesario considerar que exceso de estos pueden provocar contaminación.</p>

Fuente. Elaboración propia con base en Brix, 1999 y Delfino, 2002.

4.2 Subsistemas para valorar procesos de Saneamiento de Aguas Residuales Domésticas

Los subsistemas de análisis marcan las características tecnológicas, económicas, socio-culturales, político-administrativas y biofísicas. Es importante mencionar que éstos tienen punto de encuentro; en los que cada uno puede ser analizado desde diferentes disciplinas, a continuación se describen de manera breve sus componentes

a) Subsistema Tecnológico

Este subsistema describe las características cuantitativas y cualitativas de las obras de infraestructura hidráulica para el aprovechamiento del agua en los asentamientos humanos, así como su funcionamiento; desde las fuentes de abastecimiento, el cual tiene una expresión física que, para fines de análisis queda manifestada en la caracterización biofísica, pero cobra identidad por el servicio que ofrece, mismo que incluye, entre otros: los procesos para la apropiación del agua; el manejo para la conducción del líquido que abastece a los usuarios, así como para el desalojo de las aguas residuales; el tratamiento; la eficiencia de reducción de agua, es decir el balance entre el efluente de la fuente de abastecimiento y efluente predial (Alvarado,2012: 228).

Así mismo expresa el conjunto de manifestaciones antrópicas relacionadas con el uso y manejo de materiales, procesos, paquetes tecnológicos que responden a un contexto social y económico determinado, los cuales influyen en el uso de recursos naturales y en ocasiones promueven el deterioro ambiental.

b) Subsistema Económico

En este subsistema se consideran los sectores público, privado y social, cuyos componentes son compartidos entre ellos, como son el campo económico y abarcan las siguientes herramientas: el análisis costo beneficio, externalidades positivas y negativas, gasto, inversión y precios entre otros.

Dichos componentes se expresan a través de las actividades de los usuarios del agua (Alvarado, 2012: 231).

La expresión de los componentes de este subsistema se puede llevar a cabo a través de la mediación de los costos financieros, ambientales y sociales, y su contraste con sus beneficios.

c) Subsistema Sociocultural

Este subsistema toma como base la distribución de la población y de los usuarios, de acuerdo con los ecosistemas y sistemas productivos dentro de las cuencas; así como de la disponibilidad natural del agua y la red de drenaje. Las variables incluidas en este sistema son: Aceptación y participación por los usuarios, la intervención de los actores locales en el tratamiento de agua residual.

Representa la expresión humana del uso y manejo del líquido, la cual se refleja en: hábitos de consumo, infraestructura disponible, formas de gestión, manifestaciones como tradiciones y las formas de organización, entre otras. Se concibe este subsistema como determinante en el uso y manejo, porque permea en las diferentes relaciones del sistema y sus impactos, una de las ventajas que se presentan es su factibilidad en su modificación a través de la educación como una variable controlable (Alvarado, 2012: 226).

d) Subsistema Político Administrativo

En este sistema se consideran dos modalidades de acción; una corresponde a la programación institucional y otra, a la dinámica coyuntural, ambas permiten atender a la necesidades, pero sin embargo la primera resulta más racional, y además arroja datos de información y resulta útil desde antes de las eventualidades. La planeación en este subsistema es de suma importancia, por lo que incluye componentes tales como las disposiciones de orden público de los distintos ámbitos de gobierno: municipal, estatal y federal, que se expresan a través de leyes, políticas, proyectos, planes, programas, acciones y lineamientos. Otro componente es la participación ciudadana no gubernamental de distinta

naturaleza que reflejan las necesidades de la sociedad; frecuentemente son financiadas por los grupos demandantes y eventualmente por los gobiernos, que les restan su carácter social, por su parte la iniciativa privada también contribuye al manejo del proceso de uso y aprovechamiento de agua (Alvarado, 2012: 226).

El interés por este sistema es develar la existencia de relaciones y sinergias entre los actores individuales e institucionales, así como los instrumentos de financiamiento, técnicos y de gestión y; sus reglas de operación, que influyen en el mencionado proceso.

Para explicar los términos operativos es importante iniciar con el directorio de instituciones que asumen alguna tarea ya sea operativa, técnica y de gestión. Todo ello para realizar los vínculos que aseguren la atención del problema acorde con los componentes y expresiones de los otros subsistemas ya mencionados. Se debe identificar la presencia de organismos operadores del agua y drenaje de diversa naturaleza, que incluyen los sectores social, público y privado (Alvarado, 2012: 230).

e) Subsistema Biofísico

Este sistema contempla procesos naturales y artificiales que participan en el aprovechamiento que se distribuye en los asentamientos humanos y para otras actividades. En este subsistema se analiza el ciclo hidrológico, así como las modificaciones por la intervención del hombre y utilización del recurso las cuales incluyen: la captación, distribución, depuración y reincorporación en los cuerpos de agua o en su eventual reutilización.

Es importante describir, como punto de partida, los ecosistemas y los sistemas productivos de la cuenca, a partir de los componentes de: clima, y en particular la participación pluvial, el escurrimiento, la infiltración y la evaporación. La relevancia de estos elementos se justifica por que el sistema es el manejo del líquido, también implica conocer, entre otros, la configuración geológica, el relieve, suelos y vegetación (Alvarado, 2012: 223).

Cuadro 13. Variables para valorar los procesos de saneamiento de aguas residuales domésticas según subsistemas

SISTEMA DE TRATAMIENTO	SUBSISTEMA TECNOLÓGICO				
	Proceso: influente y efluente.	Usos del agua tratada.	Superficie de la planta de tratamiento por unidad de volumen tratado	Requerimientos para el tratamiento	Subproductos
SUTRANE	Influente: aguas negras y aguas grises. Efluente: agua clara para usos no potables	Riego y servicio sanitario.	150m ² /m ³	No requiere energía	Gas metano y biomasa vegetal
SIASA ₀	Influente: aguas negras y aguas grises Efluente: agua clara para usos no potables.	Riego y servicio sanitario	28m ² /m ³	Uso de energía eléctrica para ozono y floculador sedimentador	Ninguno
HUMEDAL	Agua clara para usos no potables	Venta al público (pipas) y descarga al alcantarillado	50l/s	No requiere de entrada de energía	Biomasa vegetal
SUBSISTEMA ECONÓMICO					
	Número de usuarios y cantidad de agua por usuario	Costo de inversión de la planta de tratamiento	Operación y mantenimiento	Costos de mantenimiento mensuales	
SUTRANE	(40 personas) (20 litros por día)= 800litros	Para 40 usuarios la planta tiene un precio de \$ 33,360.00	Limpieza de la trampa de grasa cada 4 años	2 salarios mínimos = \$130.00	
SIASA ₀	(12 personas)(120 litros por día)= 1,440litros	Para 12 habitantes la planta tiene un precio de \$60,000.00	Observar que las bombas funcionen correctamente y retirar la grasa	Luz= 1,000 bimestrales	
HUMEDAL	(20 personas)(120 litros por día)= 2400 litros	Se tiene que calcular el precio del terreno dependiendo el área	Retirar el exceso de plantas una vez al mes	2 salarios mínimos = \$130.00	
SUBSISTEMA SOCIO-CULTURAL					
	Aceptación por los usuarios beneficiados	Participación de los actores locales	Beneficios a los usuarios	Participación en el mantenimiento	
SUTRANE	No todos los usuarios están enterados de su funcionamiento.	Ausencia de vías de participación.	Hortalizas de autoconsumo	Una persona es la encargada de dar mantenimiento.	
SIASA ₀	Inconformidad por que esperaban obtener mejores resultados del sistema.	No existe participación en la toma de decisiones	Ofrece mayor calidad de vida	Nadie hace mantenimiento	
HUMEDAL	Es aceptado por su grado de auto-purificación	El ayuntamiento	Mejora las condiciones paisajísticas	Contratan a 3 personas para extraer el exceso de plantas acuáticas	
SUBSISTEMA POLÍTICO ADMINISTRATIVO					
	Programas y proyectos (anteriores y vigentes)	Marco jurídico	Reglamentos y normas de funcionamiento	Sector	
SUTRANE	La asociación encargada de desarrollarlo ha sido Xochicalli A.C.	Reglamento de Ley de aguas Nacionales	NOM-001-SEMARNAT-1996	Público	
SIASA ₀	Empresa privada INCASA	Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales	NOM-001-SEMARNAT-1996	Privado	
HUMEDAL	Los gobiernos han tomado en consideración la creación de humedales	Reglamento de Ley de aguas Nacionales	NOM-003-SEMARNAT-1997	Social	
SUBSISTEMA BIOFÍSICO					
	Recuperación de cursos naturales	Presencia de olores y fauna nociva en planta de tratamiento y zona de	Conservación	Bienestar	

		influencia.		
SUTRANE	El influente no es descargado a ningún caudal	El agua tiene mal olor al entrar no al salir	Medio natural y recurso hídrico	Cultivos de autoconsumo
SIASA ₀	No se descarga a ningún caudal toda se reutiliza.	No presenta fauna nociva	No se descarga a cuerpos hídricos sin antes ser tratada	Autoservicio de limpieza
HUMEDAL	El influente es vertido al río Lerma	Mosquitos, y un poco de mal olor por los lodos	Medio natural y recurso hídrico	Hábitat de flora y fauna

Fuente: Elaboración propia con base en Alvarado, 2012.

NOTAS aclaratorias del cuadro

Sistema de tratamiento	-Superficie de la planta de tratamiento por unidad de volumen tratado	Retorno del agua tratada
SUTRANE	Superficie total de la planta de tratamiento: 11.30 metros de largo por 10.30 de ancho Superficie: 120 m ² Los usuarios visitantes consumen, para fines de cálculo: 20 litros por día. 20 l/usuario/día (40) = 800 l/día 120 m ² = 0.15 m ² /l 800 l (0.15 m ² /l) (1000) = 150m ² /m ³	Para usos no potables
SIASA ₀	Superficie: 28m ² 9.80 metros de largo por 2.80 de ancho para 6 habitantes 120l/hab/día → 18 habitantes (3/vivienda y 6 viviendas/módulo con un SIASA cada módulo) → 2160 l/módulo/día 28/2160 = 0.012 m ² /l = 12m ² /m ³	Para usos no potables
HUMEDALES	Superficie 10420m ² 50l/s 10,420/ 3000 = 3.47m ² /l =	Para usos no potables

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

El funcionamiento de los tres sistemas analizados se basa en la Ley de la Conservación de la Materia que postula que la cantidad de materia antes y después de una transformación es siempre es la misma. Es decir “la materia no se crea ni se destruye, sino que se conserva”. En consecuencia, es importante que los usuarios del agua conozcan y estén conscientes de dicho principio; lo que implica que más allá de las transformaciones ocurridas, la materia está siempre presente, y lo que se le adicione estará presente en el efluente, ocasionalmente en formas que pueden ser nocivas por su cantidad o por el tipo de compuestos que forman, y por lo tanto con esta conciencia tomemos una actitud moderada en el uso del recurso, para evitar su contaminación.

En la depuración del agua residual, el uso de técnicas alternativas son opuestas al proceso de tratamiento convencional, éstas últimas se distinguen por ciertos factores dentro de los que destacan: el uso intensivo de energía para su operación; frecuentemente el uso de sustancias químicas como coagulantes, floculantes y el cloro, las plantas de tratamiento guardan esa información con mucho recelo; altos costo de operación con respecto a las alternativas; y la dependencia tecnológica que implica materiales y capacitación para su manejo, las cuales no se ajustan a las necesidades sociales, frecuentemente generan dependencia porque se requiere personal capacitado en la técnica. Estos factores influyen en el abandono de las plantas como ha ocurrido en el Valle de Toluca.

En este sentido, el uso de técnicas alternativas para el tratamiento de agua debe cubrir dos aspectos, primero, que sea accesible económicamente, en el corto, mediano y largo plazo, para los usuarios como para los gobiernos locales quienes tienen a su cargo la prestación de servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento en los distintos asentamientos humanos. Y segundo, que mantengan el equilibrio con el medio ambiente, lo cual incluye el control en la generación de residuos por los procesos de saneamiento efectuados.

Con base a los objetivos enunciados al inicio de la investigación, se describen las conclusiones y recomendaciones respectivas, con la finalidad de precisar las acciones que en determinado momento se pueden llevar a cabo por los diversos actores involucrados en la aplicación de las técnicas tratadas.

Al identificar a los usuarios de las tecnologías alternativas del agua residual doméstica en el Estado de México, se llegó a la conclusión de que la atención del saneamiento del agua residual doméstica, no necesariamente tiene que ser masivo, es posible su realización mediante la creación de pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales que den servicio por colonia, por fraccionamiento, unidad habitacional o vivienda, con lo cual se favorece la descentralización del servicio, y la responsabilidad de los usuarios para su funcionamiento, en términos de las sustancias que desechan junto con el agua, partiendo del principio de que el saneamiento no sólo es un asunto tecnológico y económico, sino involucra también, entre otros, a la cultura ciudadana para participar de manera preventiva al reducir al mínimo los residuos que se le incorporan y correctiva al participar en la depuración de sustancias que se le agregan.

Recomendaciones:

- Sensibilización a la población sobre el proceso de manejo del agua, para que nuestros hábitos del uso del líquido sean más acordes con la depuración.
- Elaborar campañas educativas con el propósito de orientar a la población, sobre las consecuencias que genera arrojar residuos a los cuerpos de agua y su efecto en el medio ambiente.

Mientras que para la caracterización de los tres sistemas analizados se consideraron los siguientes aspectos el diseño, la operación y el mantenimiento, para decidir cuál es el mejor sistema en cada situación particular que lo requiera, lo que responden a condiciones específicas de la población, terreno y de la cantidad de agua que se pretende depurar, así como de su calidad y de las

normas vigentes, ya que se pueden presentar limitantes en cuanto a capacidades humanas, económicas y materiales.

Para este caso de estudio se concluye que el SUTRANE es la mejor opción por que es una viable ecotécnica que por sus ventajas se ha implementado en diferentes partes del país, este sistema por su principio de la conservación de la materia logra recuperar recursos, sin la generación de contaminantes.

Recomendaciones:

- Cada tipo de proceso para el tratamiento de agua debe ser evaluado e implementado dependiendo de las características del agua residual.
- Es necesario que el usuario conozca cómo opera el sistema, para tener un buen funcionamiento del mismo.

En el caso empírico uno de los resultados es que en el ámbito social aun no existe la cultura para dar tratamiento adecuado a las aguas residuales y menos aún el deseo de pagar para sostener estos servicios, a esta problemática se anuda la falta de interés por el sector político administrativo y a la iniciativa privada que han tratado de implementar tecnología para la depuración de aguas residuales pero lamentablemente esto no ha sido garantía para la operación de las plantas de tratamiento convencional y alternas, ya que su interés radica en pasar los estándares de la calidad del agua a corto plazo y no a futuro.

Uno de los problemas que se presentan en las redes de alcantarillado y en las plantas de tratamiento convencionales, es que depuran el agua que no debería tratarse junto con el agua pluvial, que se puede captar y reutilizar sin ningún tratamiento para el riego de áreas verdes y servicios públicos; lo cual ha incrementado los costos y dificultado los procesos sucesivos; a la vez estas redes conducen el agua por tuberías que en ocasiones despiden, malos olores e implican costos de mantenimiento adicionales.

Los tres sistemas permiten la reutilización del agua tratada para usos no potables, en el caso del SUTRANE para el servicio de los sanitarios, para el caso del SIASA₀ el agua negra tratada se usa para el riego de jardín, mientras que la jabonosa alimenta a los inodoros luego de su depuración, y en el caso del humedal es un afluente del río Lerma y otra parte es vendida en pipas para fines diversos como riego de áreas verdes públicas y privadas, lavado de autos a un monto de 50 pesos.

Por la mayor simplicidad respecto a los sistemas convencionales el SIASA₀ y el SUTRANE son aptos para viviendas aisladas o pequeñas agrupaciones. De estos dos últimos el SUTRANE aplica procesos de manejo más sencillos, a la vez que por la sencillez en su construcción puede realizarse a través de autoconstrucción con lo cual se tienen ventajas económicas y de integración social y familiar, promueve la sensibilización para su operación, a si también este sistema genera subproductos como son el biogás y los nutrientes para la nutrición de un cultivo en hidroponía, lo cual redunda en satisfacción de necesidades y benéficos económicos.

Recomendaciones:

- Cada efluente de cualquier proceso requiere de diferente tren de tratamiento para llegar a diferente destino, para el caso de los tres sistemas evaluados son solo para materia orgánica y no para procesos industriales.
- Evaluar la técnica más factible de acuerdo a las necesidades de cada lugar, atendiendo principalmente a los factores tecnológicos, económicos, socioculturales, político- administrativo y biofísicos.

Es importante impulsar la educación ambiental en la población para reducir el uso intensivo del agua para el beneficio de las generaciones futuras y de los ecosistemas. Así mismo es primordial cuidar las fuentes de distribución de agua, controlar la contaminación al no verter agua residual a las fuentes hídricas.

Fuentes consultadas

- Acosta, Raquel Susana, 2008: *Saneamiento ambiental higiene de los alimentos*. Brujas, Universidad de Córdoba, Buenos aires Argentina.
- Alvarado Granados, Alejandro R. (Coord), 2012: *Experiencias en el tratamiento de aguas residuales en el Estado de México*. México, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Arboleda Valencia, Jorge, 1992: *Teoría de diseño y control de los procesos de clarificación del agua*, Capítulo.1, CEPIS, DF, México.
- Arcos, E. y A. García, 1999: *Remoción de la materia orgánica mediante la utilización de humedales artificiales*, 2ª ed. Texcoco, Estado de México, Facultad de estudios superiores.
- Arias Chávez, Jesús, 1976: *Plantas de tratamiento y recuperación de recursos en desechos. Tecnología Xochicalli*, documento de divulgación interna, SHR, FEXAC, DF, México. 1977, EI (SUTRANE), cartillas de ecotécnicas, SAHOP, DF, México.
- Arreguín Mañón, J.P.1998: *Aportes a la Historia de la Geohidrología en México 1890-1995 México*: CIESAS; Asociación Geohidrológica Mexicana, A.C. México.
- Ávila Dávila, Melissa, 2008: *Análisis de un reactor de lodos activados, informe del laboratorio del tratamiento de aguas residuales*. Laboratorio de Química Ambiental, Corporación Universitaria de la Costa, Barranquilla, Colombia.
- Bitton, Gabriel, 1999: *Wastewater Microbiology*. 2ª ed. Wiley-Liss, New York, Estados Unidos de America.
- Bramucci, M.G. y V. Nagarajan, 2000: *Bioreactores industriales de aguas residuales: fuentes de nuevos microorganismos para la biotecnología*, 2ª ed. Tendencias de Biotecnología, Argentina.
- Brix, H.; Johansen N.H, 1999: *Treatment of domestic sewage in a two-stage constructed wetland- design principles*. In: Nutrient Cycling and Retention in Natural and Constructed Wetlands, Vymazal, J. (Ed.), Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands.

-
- Bueno, Julio. L. y otros, 1997: *Contaminación e Ingeniería Ambiental: III Contaminación de aguas*. Ed. FICYT, Oviedo, Asturias, España.
 - Campos Aranda, 1998: *Procesos del Ciclo Hidrológico*. 2ª ed. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería. México.
 - Carabias, Julia y otros, 2005: *Agua Medio Ambiente y Sociedad, en hacia la Gestión Integral de los Recursos Hídricos en México*, 3ª ed. México DF: UNAM/COLMEX/ Fundación Gonzalo Río Arronte/ IAP.
 - Carrillo Rivera, Joel y Cardona Antonio, 2003: *Sistemas de flujo de Agua subterránea*. México; Limusa. Noriega Editores.
 - CIESAS (Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social), 2003: *Archivo Histórico del Agua*, CONAGUA, México.
Disponible en:
<http://archivohistoricodelagua.info/mx/content/view/17/35/>, consultado el 08 de Septiembre 2010.
 - Ciriano López, Miguel Ángel y Román, Pascual, 2005: *Nomenclatura de Química Inorgánica*. Recomendaciones de la IUPAC. La Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (International Union of Pure and Applied Chemistry), Prensas universitarias de Zaragoza, España.
 - CONAGUA (Comisión Nacional del Agua), 2007: *Estudios técnicos de sustituciones aplicables al saneamiento de aguas servidas de pequeñas comunidades: Reglas de operación para los programas de infraestructura hidroagícola y de agua potable, alcantarillado y saneamiento*, aplicables a partir de 2012. Gobierno del Estado de México, México.
Disponible en:
<http://www.conagua.gob.mx>, consultado el 26 de Marzo, 2012.
 - CONAGUA (Comisión Nacional del Agua), 2010: *Infraestructura Hidráulica*. Gobierno Federal. México. Disponible en:
<http://www.conagua.gob.mx>, consultado el 26 de Marzo, 2012.
 - De la Rosa, Aurelia, 2006: *Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua Gestión y cultura del agua* (IMTA, SEMARNAT). México.
Disponible en:
http://members.es.tripod.de/bern/agua_depuracion.html, consultado el 20 de Febrero, 2011.

-
- Delfino Francia, P. y Ernesto A. Camarena, 2002: *Análisis de las ecuaciones para la predicción de la reducción de la DBO₅ en el tratamiento de aguas residuales mediante pantanos artificiales de flujo sub-superficial*. 3ª ed. Porrúa. México.
 - Delgado, Gian Carlo, 2005: *Agua y seguridad nacional, el recurso natural frente a las guerras del futuro*. 2ª ed. Limusa, México.
 - Díaz, Carlos y otros, 2003: *Gestión del Agua por Cuencas hidrológicas: los casos de Canadá, Inglaterra, Estados Unidos de América, Francia y México*. en, Ávila García, Patricia (editora). Agua, Medio Ambiente y Desarrollo en el siglo XXI. México desde una Perspectiva Global y Regional, México: El colegio de Michoacán/ Secretaria de Urbanismo y Medio Ambiente. México.
 - Eaton A.D. y Clesceri L.S., 2005: *Standard Methods for Examination of water and Wastewater*, 21º ed. Greenberg A.E, Association, American Water association, water environment federation.
 - EPA (Environmental Protection Agency), 2000: *Humedales de flujo subsuperficial*. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Disponible en:
[http://www.es.scribd.com/Humedales-de-Flujo subsuperficial](http://www.es.scribd.com/Humedales-de-Flujo-subsuperficial), consultado el 13 de Octubre, 2012.
 - FAO (Sistema de Información del Agua y Agricultura), 2009: Sistema de información global sobre el agua y la agricultura.
 - Disponible en:
<http://www.fao.org>, consultado el 06 de Diciembre ,2012.
 - García Serrano, Joan, 1997: *Depuración con humedales construidos*. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de flujo sub-superficial. Universidad Politécnica de Cataluña, España.
 - García, T. y Rodríguez, M., 2005: *Diseño construcción y evaluación preliminar de un humedal de flujo sub-superficial*. Revista de ingenierías. Universidad de los Andes. Santafé de Bogotá.
 - Grady, C.P.L. y G.T. Daigger, 1998: *Biological Wastewater Treatment* (Environmental Science & Pollution).
 - Grupo de Estudios Ambientales A.C, 1990: *Sistema de tratamiento de aguas negras*.3ª ed. Revista de ciencias. México.
 - Gobierno del Estado de México, 1921: Constitución Política del Estado Libre y Soberano de México, Gaceta de Gobierno, Estado de México.

-
- Gobierno del Estado de México, 2001: *Código Administrativo del Estado de México*, H. LIV Legislatura del Estado, Toluca de Lerdo, México.
 - Gobierno del Estado de México, 2004: *Declaratoria del Ejecutivo del Estado por la que se establece el área natural protegida con la categoría de Parque Estatal denominado "Santuario del Agua y Forestal Presa Guadalupe"*, Toluca, México en Gaceta de Gobierno.
 - Gobierno del Estado de México, 2006: *Programa Hidráulico Integral del Estado de México 2002-2025*, Desarrollo Urbano sustentable, Estado de México.
 - Gobierno del Estado de México, 2010: *Ley del Agua del Estado de México*, Gaceta de Gobierno, Estado de México.
 - Gobierno del Estado de México, Comisión Nacional del Agua, 2011: *Registro Público de Derechos del Agua (REDPA)*. México.
Disponible en:
<http://www.conagua.gob.mx/Repda>, consultado el 18 de Enero, 2013.
 - Gobierno Federal de México, 2005: *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Diario Oficial de la Federación, D.F, México.
 - Gobierno Federal de México, 2008: *Ley de Aguas Nacionales*. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Diario Oficial de la Federación, D.F, México.
 - Gobierno Federal de México, PROBOSQUE, 2008: Informe anual fideicomiso, *Planta de tratamiento de agua residual Chapultepec*, D.F, México.
 - Gobierno Federal de México, 2010: *Ley Federal de Derechos. Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales*. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Diario Oficial de la Federación, D.F, México.
 - Gobierno Federal de México/CONAGUA, 2011: *Programa Federal de Saneamiento de Aguas Residuales (PROSANEAR)* Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Diario Oficial de la Federación, D.F, México.

-
- Gobierno Federal de México, 2012: *Programa Nacional Hídrico 2007- 2012*, Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Diario Oficial de la Federación, D.F, México.
 - Gómez Guadalupe, Enrique, 2006: *Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM*. vol.9, Rev. Instituto de investigación ciencia y geografía. La Universidad Nacional Mayor de San Marcos es una universidad pública ubicada en la ciudad de Lima, Perú
 - Gordon M. F., 1979: *Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales*, Limusa, DF, México.
 - Guido A, Guillermo, 1999: *Zona Metropolitana de la Ciudad de Toluca: Los servicios al productor en el contexto de la globalización*, Tesis de la Licenciatura en Planeación Territorial, Toluca, México: UAEM.
 - Gutiérrez, Daniel, 2010: *Sistema Unitario de Tratamiento y Reuso de Agua, Nutrientes y Energía (SUTRANE)*, México.
 - Guzmán, P. M ,2007: *Tecnología y Desarrollo local para el acceso al agua y saneamiento en el marco de la convivencialidad*. 2ª ed, UAEM. Estado de México.
 - Herráez.I, J.López, L.Rubio y M.E.Fernández, 1989: *Residuos Urbanos y Medio Ambiente*. Universidad Autónoma de México. D.F, México.
 - IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua), 2008: *Tratamiento de aguas residuales*, Jiutepec, México.
 - Jiménez Cisneros, Blanca E., 2001: *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. México: Limusa, Colegio de Ingenieros Ambientales de México.
 - Kalbermatten, J.D., D.A.S. Julius, y C.G. Gunnerson. 1980: *Appropriate Technology for Water Supply and Sanitation: A Summary of Technical and Economic Options*. Washington, D.C.: Banco Mundial. Estados Unidos de America.
 - Lahera, V., 2003: Viabilidad hidráulica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México en Estudios Demográficos y Urbanos, vol.18, núm.2, El Colegio de México (CEDDU).
 - Lahora A., 2001: *Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales*. México.

-
- Lara, J., 1999: Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales. Universidad Politécnica del Cataluña.
 - León Alcaraz, María Cecilia, 2012: *Tratamiento del agua residual doméstica en la planta tratadora de Metepec I, SEDAGRO*. En Alvarado Granados, Alejandro R. (Coord), 2012: Experiencias en el tratamiento de aguas residuales en el Estado de México. México, Universidad Autónoma del Estado de México.
 - León Garza, Eduardo, 2006: *Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema Integral de Abasto y Saneamiento de Agua con Descarga Cero*, México, DF, Desarrollado por INCASA S.A. DE C.V.
 - Llagas, W. y Gómez E., 1999: *Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM*. Revista del Instituto de Investigaciones del Agua. México.
 - Loosdrech, M.; G.J. Smolders, T. Kuba, 1997: *Metabolism of microorganisms responsible for enhanced biological phosphorus removal from wastewater*. Use of dynamic enrichment cultures.
 - López Cano, R. 2010: *Memoria del taller de análisis de sistemas de tratamiento de aguas residuales para comunidades rurales*. Valle de Bravo, Estado de México.
 - Loyola, E. Vega, J. Ramos y C. Calderón, 1994: *Alternativas de tratamiento de aguas residuales*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos, México
 - Luna, Lucio y otros, 1998: *Evaluación de un sistema para el tratamiento de aguas residuales municipales, pre-tratamiento reactor UASB, laguna primaria funcionando a temperatura ambiente en clima subtropical*, México. Secretaria de Ecología del Gobierno del Estado de México
 - Madigan, Martinko y Parker, 1999: *Biología de los Microorganismos*. 8ª ed. España, Brock Prentice Hall.
 - Mara, 1976: *Aguas Residuales y Tratamiento de Efluentes Cloacales Tratamiento de efluentes, caracterización, generalidades, definición y origen*. Anexo IX. México.
 - Metcalf y Eddy, 1994: Ingeniería sanitaria. *Tratamiento, evacuación y reutilización de las aguas residuales*. 2ª ed., Labor S.A. Bogotá, Colombia.
 - Metcalf y Eddy, 1996: Ingeniería de aguas residuales. *Tratamiento, vertido y reutilización* Tomo 3, Mc Graw- Hill, DF, México.

-
- Mier, Arturo, 1991: *Tratamiento de Agua Residual*, Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México CONACYT, la Universidad Nacional Autónoma de México UNAM y el Fondo Nacional de Habitaciones Populares, FONAPO. México.
 - Moreno, L.; Fernández, M. R. Calaforra, 2003: *La depuración de aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa en el terreno fundamentos y casos prácticos*. 3ª ed. Madrid, Instituto Geológico y minero de España.
 - Muñoz, V. C. y Muñoz, V. B., 2007: *La gestión del agua en México: análisis de las capacidades públicas en el marco de la seguridad nacional*. 2ª ed. Santillana, México.
 - Ñique, A., 2003: *Humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales*. Sociedad Peruana de Gestión Ambiental. Organización de las Naciones Unidas.
 - OMS (Organización Mundial de la Salud), 1989: *Health Guidelines for Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture*. Serie de Documentos Técnicos No. 778. Ginebra, Suiza. En línea
 - OMS/UNICEF (Organización Mundial de la Salud), 2010: *Programa Conjunto de Monitoreo para el Abastecimiento de Agua y Saneamiento*. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health, consultado el 13 de Enero, 2013.
 - ONU (Organización de las Naciones Unidas), 1992: *Prevención de la contaminación del agua por agricultura y actividades a fines "agua negra"*, 2ª ed. Santiago Chile.
 - ONU (Organización de las Naciones Unidas), 2010: *Programa del Agua para el Desarrollo de la Capacidad en el Marco del Decenio (UNW-DPC)*. Universidad de Naciones Unidas en Bonn, Alemania. Disponible en: http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml, consultado el 06 Febrero, 2011.
 - ONU (Organización de las Naciones Unidas), 2011: *Programa Agua para el Decenio sobre Promoción y Comunicación, implementado por la Oficina de Naciones Unidas de apoyo al Decenio Internacional para la Acción "El agua, fuente de vida" 2005-2015*. España y coordinado por el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas (ONU-DAES). Disponible en:

<http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/background.shtml>, consultado el 28 de Junio, 2012.

- ONU-Agua (Organización de las Naciones Unidas), 2012: *Cuarto Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*. Disponible en: <http://www.programa mundial de evaluación de los recursos hídricos>, consultado el 17 de Diciembre, 2012.
- Ortiz Rendón, Gustavo Armando, 2010: *Evolución y perspectivas del marco jurídico del agua en México: nuevos retos y oportunidades para la gestión integrada del recursos hídrico*. Sumario I. México.
- Paredes, D., Kusch, P., 2001: *Tipo de humedales y mecanismos de remoción. Seminario humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales*. 5ª ed. Armenia, Manizales, Pereira.
- Paul Gerbod, 1982: *Avances tecnológicos y consecuencias de la Primera Revolución Industrial*. 2ª ed. Europa Barcelona.
- PNUMA, ERCE, UNESCO, 2008: *Water Quality for Ecosystems and Human Health*, 2ª ed.
- Prieto Bolívar, Carlos, 2004: *El Agua: Sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación*. 2ª ed. Bogotá: Eco Ediciones.
- Ramalho, R.S., 2003: *Tratamiento de aguas residuales*. 2ª ed. Reverté, Barcelona, Madrid, España.
- Ramsar, Convención sobre los Humedales, 1971: *Definición de humedales Naturales*, Folleto Científico. Bolivia
Disponible en: <http://www.ramsar.org/cda/es/ramsar-wwd13>, consultado 13 de Abril, 2012.
- Rincón, Andrea Griselda, 2001: *El agua como recurso vital*, Organización de Estados Iberoamericanos, 3ª ed. Gedisa. República Dominicana.
- Roemer, Andrés, 2000: *Derecho y economía de las políticas públicas del agua*. Trillas. México.
- Robertis, E. 1996: *Biología celular y molecular en el agua residual*. 2ª ed. El Ateneo. Buenos Aires. Argentina.
- Rojas, E., 1977: *Métodos de análisis para aguas residuales industriales*. Universidad del Valle. Sección saneamiento ambiental, Colombia.

-
- Romero J., 2004: *Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño*. 3ª ed., Escuela Colombiana de Ingeniería.
 - Ronzano. E. y J.L. Dapena, 1995: *Tratamiento biológico de las aguas residuales*. 3ª ed. Ecodes. México.
 - Ruíz Beviá, F., 2008: *Agua, Tecnologías de Tratamiento y Medio Ambiente: Ingeniería Química*. 2ª ed. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante. España.
 - Salazar A., Morales P., 2003: *Adaptación y evaluación de plantas típicas de la zona cafetera como tratamiento de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. 6ª ed. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia
 - Salgado Ramírez, Álvaro, 1991: *Aplicación de digestores anaerobios dentro de un sistema de tratamiento y rehusó del estiércol y aguas residuales como estrategia de eco-desarrollo en granjas intensivas porcicola*. Escuela superior de medicina y Veterinaria. 2ª ed. México.
 - SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 1994: *Norma Oficial Mexicana 127-SS-1994*, Diario Oficial de la Federación, D.F, México.
 - SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 1997a: *Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996*, Diario Oficial de la Federación, DF, México.
 - SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 1997b: *Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996*, Diario Oficial de la Federación, D.F, México.
 - SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 1997c: *Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1996*, Diario Oficial de la Federación, D.F, México.
 - SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2005: *Informe de la situación del medio ambiente en México*. Compendio de Estadísticas Ambientales 2005. México. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Pages/index-sniarn>, consultado el 17 de Agosto, 2012.
 - SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2006: *El Medio Ambiente en México 2005*. En resumen. México. Disponible en:

<http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Pages/index-sniarn>, consultado el 18 de Agosto, 2012.

- SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2008a: *Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente*, Diario Oficial de la Federación, D.F, México.
- SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2008b: *Inventario de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación*. DF, México. 302. Disponible en: <http://www.Agua.Org.mx>, consultado el 17 de abril 2011.
- SEMARNAT/ CONAGUA (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2008c: *Planta de tratamiento de aguas residuales Atotonilco, México*. Secretaría de Gobernación. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/sustentabilidadhidricadelValledeMexico/proyectodrenajes>, consultado 08 enero 2012.
- SEMARNAT (Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2009: *Programa Conjunto de Monitoreo para el Abastecimiento de Agua y Saneamiento, 2010*. Gobierno Federal, México.
- SEMARNAT (Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2011: *Agenda del Agua 2030*. SEMARNAT, Gobierno Federal, México. Disponible en: <http://www.Conagua.gob.mx>, consultado el 11 de septiembre 2012.
- Seoanez Calvo, M. Ed., 1995: *Aguas residuales urbanas: Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento*. 3ª ed. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, 1999.
- SINA (Sistema Nacional de Información del Agua), 2011: *Infraestructura hidráulica del país*. Estadísticas del Agua en México. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Diario Oficial de la Federación, D.F, México.
- Solís Morelos, Carlos 2011: *Tratamiento del efluente de la planta de aguas residuales municipales Toluca Norte, por medio de procesos avanzados de tratamiento terciario informe técnico final del proyecto*. En Alvarado Granados, Alejandro R. (Coord), 2012: *Experiencias en el tratamiento de aguas residuales en el Estado de México*. México, Universidad Autónoma del Estado de México.

-
- Suarez Cortez, Blanca Estela, 1998: *Historia de los usos del agua en México: Oligarquía, empresas y ayuntamiento*. Comisión Nacional del Agua; CIESAS, IMTA.
 - Tomé Rodríguez, Carlos, 2009: *Tratamiento de aguas Residuales*, 2ª ed. Colombia.
 - Turk A., Turk J. y Wittes J., 1973: *Ecología, contaminación, medio ambiente*. 7ª ed., Interamericana. México.
 - Tyler Miller Jr. G., 1994: *Ecología y Medio Ambiente: Introducción a la ciencia ambiental, el desarrollo sustentable y la conciencia de conservación del planeta Tierra*. Edición Grupo Editorial Iberoamérica. México.
 - Urquiza, Elton, 2006: *Los humedales artificiales; una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales en comunidades rurales*. Segundo foro académico nacional de ingenierías y arquitectura. México.
 - Valderrama José, 2003: *Información tecnológica, Generador de ozono*, volumen 14 No. 2, Chile, Editorial del norte- Brasil.

Anexo 1. Metodología

La inquietud sobre el estudio de los sistemas de tratamiento de agua residual, surgió de la discusión colectiva entre el cuerpo académico interdisciplinario de la Facultad de Planeación Urbana y Regional, durante la secuencia de las reuniones se expusieron puntos sobre la importancia del agua en la vida del hombre y en el ambiente, por tal motivo el grupo se vuelve sensible de acuerdo al tema y se decide investigar sobre el tratamiento del agua residual en México.

El conocimiento sobre la existencia del primer sistema SIASA₀ surge después de la asistencia al XIII Congreso Nacional de Instituciones de la Enseñanza de la Planeación Territorial, el Urbanismo y el Diseño Urbano (ANPUD) 2010, expuesto por la Maestra. Virginia Lahera Ramón con el tema Infraestructura Sustentable. Posteriormente como parte de las discusiones del trabajo en equipo se conoce el segundo sistema denominado SUTRANE y durante las consecuentes reuniones se hace la localización de otros los sistemas ubicados en los distintos puntos de la geografía estatal.

Fase 1

La realización de esta investigación siguió con un procedimiento basado en los métodos descriptivo y comparativo que tienen como finalidad conocer y describir la composición de cada uno de los tres sistemas alternos para el tratamiento de aguas residuales considerados, para su comparación con fines a identificar las características de cada sistema y la comparación al analizar las diferencias y semejanzas, esto permitió contrastar las ventajas y desventajas de los tres sistemas analizados, para posteriormente buscar las variaciones que se presentan en estas diferentes combinaciones de circunstancias.

Fase 2

El proceso de indagación consistió en recabar información de gabinete y de campo para el posterior análisis de cada sistema; la información se obtuvo de fuentes bibliográficas, hemerográficas, enlaces de internet (fuentes mesográficas) y de la observación en las visitas de campo con recorridos a las zonas donde actualmente operan los sistemas convencionales y alternos de tratamiento de agua residual. Las visitas de campo a los lugares tipificados, que tuvieron como finalidad conocer físicamente los sistemas en cuanto a sus componentes y funcionamiento; los sistemas visitados fueron el Sistema Unitario de Tratamiento y Reúso de Aguas Nutrientes y Energía (SUTRANE) localizado en Huixquilucan, el Sistema Integral de Abasto y Saneamiento de Agua con Descarga Cero (SIASA₀) localizado en Cuautitlan Izcalli, la Planta tratadora de aguas residuales I, SEDAGRO ubicada en Metepec, las lagunas de estabilización ubicadas en Santa María Rayón y la Planta Tratadora de Aguas Residuales Toluca Norte.

Fase 3

Después de conocer de manera física a los anteriores sistemas, se seleccionaron tres el SUTRANE, el SIASA₀ y el humedal artificial, los criterios considerados para la elección fueron porque son más manejables, son no convencionales ósea que son diferentes a lo que se acostumbra y que además no están funcionando muy bien y por eso se elige estos sistemas. Durante esta etapa cognitiva, también se realizaron entrevistas con los operadores del SUTRANE y del humedal, con los usuarios del SIASA₀ y con los diseñadores del SUTRANE y del SIASA₀.

Fase 4

Al contar con la información de gabinete y de campo se procedió a la descripción detallada de cada sistema, la herramienta utilizada para la comparación técnica de los sistemas de tratamiento del agua residual doméstica, fue los cuadros y graficas, donde se describen las semejanzas y diferencias, así como las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

Otro nivel de comparación son la descripción de cinco subsistemas el tecnológico, económico, socio-cultural, político administrativo y biofísico que engloban una serie de variables donde se puntualizan los usos del agua tratada, superficie de la planta, subproductos, el número de usuarios, costos de inversión de la planta, aceptación por los usuarios, reglamento y normas en funcionamiento, recuperación de recursos naturales etc.

Fase 5

Después de la comparación, se discuten los resultados obtenidos durante el proceso de investigación basados en datos cuantitativos y cualitativos que permitieron llegar a las conclusiones y posteriormente se anexa un glosario para la consulta de términos técnicos usados en el documento, de acuerdo a como lo dicen los autores y esto con la finalidad de homologar el léxico.

Anexo 2. Glosario

A:

-Adsorción: “Es la separación de líquidos, gases, coloides o de materia suspendida en un medio por adherencia a la superficie o a los poros de un sólido” (Bueno, 1997).

-Aerobio: “Es un proceso que ocurre en presencia del oxígeno, tal como la digestión de la materia orgánica por las bacterias en un medio de oxidación” (Bitton, 1999).

-Aguas residuales: “Son las aguas utilizadas en las viviendas, industria y agricultura, que se canalizan en el alcantarillado junto con el agua de lluvia y la que discurre por las calles” (SEMARNAT, 1997a).

-Agua tratada: “Es la resultante de haber sido sometida a procesos de tratamiento, para remover sus cargas contaminantes” (SEMARNAT, 1997a).

-Agua potable: “Es la que puede ser ingerida sin provocar efectos nocivos a la salud y reúne las características establecidas por las normas oficiales mexicanas” (Gobierno Federal, 2012).

-Aguas residuales: “Son los fluidos residuales en un sistema de alcantarillado, el gasto o agua usada por una casa, una comunidad, una granja, o industria que contiene materia orgánica disuelta o suspendida” (Gobierno Federal, 2011).

-Algas: “Son organismos uni o multicelular que se encuentran comúnmente en el agua superficial, producen su propio alimento por medio de la fotosíntesis; el crecimiento excesivo las algas puede hacer que el agua tenga olores o gusto indeseables; la descomposición de las algas disminuye las fuentes de oxígeno en el agua” (Brix, 1999).

B:

-Bacteria coliforme: “Bacteria que sirve como indicador de contaminantes y patógenos cuando son encontradas en las aguas. Estas son usualmente encontradas en el tracto intestinal de los seres humanos y otros animales de sangre caliente” (Grady, 1998).

-Biopelícula: “Población de varios microorganismos, contenidos en una capa de productos de excreción, unida a una superficie” (SEMARNAT, 1997b).

C:

-Capacidad de asimilación: “Es la capacidad del agua natural de recibir aguas residuales o materiales tóxicos sin que tengan efectos negativos para la vida acuática o para los seres humanos que consumen esa agua” (Grady, 1998)

-Capilaridad: “Es el agua que sube por encima de un punto de la superficie, no estando en contacto con ninguna superficie sólida. Esto es debido a la adhesión, cohesión y tensión superficial donde el agua está en contacto con una superficie sólida” (Gobierno Federal, 2010).

-Carbón activado: “Es el medio usado para la adsorción, producido por calentamiento de sustancias carbonosas o bases de celulosa en ausencia de aire. Tiene una estructura porosa y se utiliza comúnmente para quitar la materia

orgánica y los gases disueltos en el agua” (Santegoeds, 1998).

-Ciclo hidrológico: “Ciclo natural del agua que ocurre en el ambiente, incluyendo la evaporación, condensación, retención y escorrentía” (Campos, 1998).

-Cloración: “Es el proceso de purificación del agua en el cual el cloro es añadido al agua para desinfectarla, para el control de organismos presente. También usado en procesos de oxidación de productos impuros en el agua” (Valderrama, 2003).

-Coagulación: “Es la desestabilización de partículas coloidales por la adición de un reactivo químico, llamado coagulante. Esto ocurre a través de la neutralización de las cargas” (SEMARNAT, 1997b).

-Compuestos: “Son dos o más elementos diferentes sostenidos juntos en proporciones fijas por fuerzas de atracción llamado enlace químico” (SEMARNAT, 1997c).

-Concentración: “La cantidad de material disuelto en una unidad de solución, expresado en mg/l.” (SEMARNAT, 1997c).

-Contaminante: “Es un compuesto que a concentración suficientemente alta causa daños en la vida de los organismos” (SEMARNAT, 1997b).

D:

-DBO (Demanda Biológica de Oxígeno): “Es la cantidad de oxígeno (medido en el mg/l) que es requerido para la descomposición de la materia orgánica por los organismos unicelulares, bajo condiciones de prueba. Se utiliza para medir la cantidad de contaminación orgánica en aguas residuales” (SEMARNAT, 1997a).

-DQO (Demanda Química de Oxígeno): “Es la cantidad de oxígeno (medido en mg/L) que es consumido en la oxidación de materia orgánica y materia inorgánica oxidable, bajo condiciones de prueba. Es usado para medir la cantidad total de contaminantes orgánicos presentes en aguas residuales” (Delfino, 2002).

-Descarga: “Es la liberación de contaminantes que fueron capturados por un medio de filtración” (Gobierno Federal, 2010)

-Digestor: “Tanque cerrado para el tratamiento de aguas residuales, en el cual las bacterias actúan induciendo la ruptura de la materia orgánica” (SEMARNAT, 1997b).

E:

-Escorrentía: “Parte del agua de precipitación que discurre por la superficie de la tierra hacia corrientes u otras aguas superficiales” (Gobierno Federal, 2010)

-Eutrofización: “Enriquecimiento del agua, la cual causa un crecimiento excesivo de plantas acuáticas e incrementan la actividad de microorganismos anaeróbicos. Como resultado los niveles de oxígeno disminuyen rápidamente y el agua se asfixia, haciendo la vida imposible para los organismos acuáticos aeróbicos” (Bitton, 1999).

F:

-Filtración de arena: El medio de filtración consiste en múltiples capas para arenas con variedad en el tamaño y gravedad específica. Filtros de arena pueden ser suministrados para diferentes tamaños y materiales ambas manos operan de totalmente de forma automática” (SEMARNAT, 1997a).

-Flóculo: “Masa floculada que es formada por la acumulación de partículas suspendidas. Puede ocurrir de forma natural, pero es usualmente inducido e orden de ser capaz de eliminar ciertas partículas del agua residual” (Bitton, 1999).

-Fuente puntual: “Localización estacionaria desde la cual los contaminantes son descargados. Es una fuente identificable individual de contaminación, Como los sistemas de tuberías y las fábricas” (Gobierno del Estado de México, 2006)

G:

-Generador de ozono: “Es un mecanismo que genera ozono haciendo pasar una corriente a través de una cámara que contiene oxígeno.

Es a menudo usado como sistema de desinfección” (Bitton, 1999).

H:

-Humedad: “Es un área que está cubierta por agua superficial o subterránea, con vegetación adaptada para vivir bajo esta clase de condiciones del suelo” (Campos, 1998).

I:

-Infiltración: “Penetración del agua en un medio, por ejemplo el suelo” (Campos, 1998).

-Inyección: “La introducción de una sustancia química o un medio en un proceso del agua para alterar su química o filtrar compuestos específicos” (Valderrama, 2003).

L:

-Laguna aireada: “Es un depósito para el tratamiento de aguas que acelera la descomposición biológica de la materia orgánica estimulando el crecimiento y la actividad de las bacterias, que son responsables de la degradación” (Grady, 1998)

-Lodo activado: “Proceso biológico dependiente del oxígeno que sirve para convertir la materia orgánica soluble en biomasa sólida, que es eliminada por gravedad o filtración” (Bitton,1999).

-Lodos: “Residuo semisólido, que contiene microorganismos y sus productos, de cualquier sistema de tratamiento de aguas” (Bitton,1999).

M:

-Materia orgánica: “Sustancias de material de plantas y animales muertos, con estructura de carbono e hidrógeno” (Bitton, 1999).

-Membrana: “Delgada barrera semipermeable lo cual el paso a través de ella está determinado por el tamaño o la especial naturaleza de las partículas. Las membranas son usadas generalmente para la separación de sustancias” (Grady, 1998).

-Metabolismo: “Conversión de la comida, por ejemplo materia orgánica soluble, para material celular y gases por productos a través de procesos biológicos” (Bitton, 1999).

-Microorganismos: “Organismos que son tan pequeño que sólo pueden ser observado a través del microscopio, por ejemplo bacterias, fungi, levaduras, etc.” (Bitton, 1999).

N:

-Nitrificación: “Proceso biológico, durante el cual bacterias nitrificantes convierten el amoniaco tóxico en nitrato para disminuir su efecto dañino. Esto es comúnmente utilizado para eliminar sustancias de nitrógeno de las aguas residuales, pero en lagos y en pantanos esto ocurre de forma natural” (Bitton, 1999).

-Nutriente: “Cualquier sustancia que promueve el crecimiento de organismos vivos. El término es generalmente aplicado para el nitrógeno y el fósforo en aguas residuales ” (Bitton, 1999).

O:

-Ósmosis inversa: “El proceso es llamado ósmosis inversa ya que se requiere presión para forzar que el agua pura pase a través de la membrana, dejando las impurezas detrás” (Eaton, 2005).

-Oxidación: “Es la reacción química en la cual los iones transfieren los electrones, para incrementar la valencia positiva” (SEMARNAT, 1994).

-Ozono: “Es un inestable agente oxidante, que consiste en tres átomos de oxígeno y puede ser formado en la capa de ozono de la atmósfera. Es producido por descarga eléctrica a través de oxígeno o por lámparas UV especialmente diseñadas” (Valderrama, 2003).

P:

-Parámetro: “Es una variable, propiedad medible cuyo valor está determinado por las características del sistema en el caso del agua por ejemplo, estas pueden ser la temperatura, la presión, la densidad, etc.” (SEMARNAT, 1997a).

-Planta de tratamiento: “Es una estructura construida para tratar el agua residual antes de ser descargada al medio ambiente” (Gobierno Federal, 2010).

-Pre-tratamiento: “Proceso utilizado para reducir o eliminar los contaminantes de las aguas residuales antes de que sean descargadas” (Gobierno Federal, 2010)

R:

-Recirculación: “Reciclar el agua después de ser usada. A menudo esta tiene que pasar por un sistema de purificación de aguas residuales antes de poder ser reusada” (Campos, 1998).

S:

-Sólidos disueltos totales: “Es el peso por unidad de volumen de agua de sólidos suspendidos en un medio de filtro después de la filtración o evaporación” (Brix, 1999)

-Servicio de tratamiento de aguas residuales: “Las actividades que realiza el organismo prestador de los servicios para remover y reducir las cargas contaminantes de las aguas residuales” (Gobierno Federal, 2010).