



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**SISTEMA DE TRATAMIENTO DE
AGUA RESIDUAL PARA PEQUEÑAS
COMUNIDADES**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

AMBIENTAL - AGUA

P R E S E N T A:

CARLOS BUSTOS MEJIA

T U T O R:

DRA. PETIA MIJAYLOVA NACHEVA



2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Pedro Martínez Pereda

Secretario: Dr. Simón González Martínez

Vocal: Dra. Petia Mijaylova Nacheva

1er. Suplente: Dr. Alfonso Durán Moreno

2do. Suplente: Dr. Germán Buitrón Méndez

Lugar: Facultad de ingeniería
campus Morelos.

Universidad Nacional Autónoma
de México.

Instituto Mexicano de Tecnología
del Agua.

TUTOR DE TESIS:

Dra. Petia Mijaylova Nacheva

FIRMA

AGRADECIMIENTOS

A CONACyT por la beca otorgada para la realización de los estudios de Maestría en Ingeniería.

A la Universidad Nacional Autónoma de México a través de la Facultad de Ingeniería Campus Morelos y al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua por el apoyo brindado para la realización del trabajo de tesis.

A la Dra. Petia Mijaylova Nacheva, por el apoyo incondicional brindado para la realización del presente trabajo, por su profesionalismo, por la confianza depositada y sobre todo por la amistad brindada.

A los integrantes del honorable jurado:

Dr. Pedro Martínez Pereda
Dr. Simón González Martínez
Dr. Alfonso Durán Moreno
Dr. Germán Buitrón Méndez

por sus aportaciones para mejorar el presente trabajo de tesis.

A la Biól. Yolanda Hornelas Orozco, por el apoyo en el estudio de las biopelículas mediante observaciones en el microscopio electrónico de barrido.

Al Ing. Samuel León López, por la paciencia, por todo lo que me ha enseñado en estos años, por la confianza en mí y por su amistad que ha ido creciendo en este tiempo y que ha hecho de mí una mejor profesionista y una mejor persona.

A mis amigos, Ivonne, Liliana, Alex y Edson por su sincera amistad y por darme siempre su apoyo incondicional, nunca nadie como ellos.

Y a todos los que fueron parte de este ciclo, un gran episodio de mi vida.

DEDICATORIA

Muy especialmente a Dios por concederme **Serenidad**, **Valor** y **Sabiduría**; y por permitirme llegar a esta etapa de mi vida y por darme la oportunidad de gozar de este mundo lleno maravillas y desde luego de la Ingeniería Civil y Ambiental.

A mis Padres José Lino Carlos Bustos Figueroa y Crisanta Mejia Ceja, por su gran amor, paciencia y sacrificio.

A mis hermanos José Lino y Maria del Pilar y Familia, amigos y compañeros de vida.

A mis Abuelos Alfonso Mejia Flores y Trinidad Ceja Hurtado, mis ejemplos de vida, fortaleza y serenidad.

A toda mi Familia Tías y Tíos, primos y primas; ya que unidos logramos cosas imposibles.

A mis Amigos y compañeros de vida que tanto quiero, los A.A., mis compadres, suegros y cuñadas.

A todos los Profesores, Catedráticos y compañeros de trabajo de todo este tiempo que llevo ejerciendo mi amada profesión.

Pero sobre todo a ella, Martha Delia de la Fuente Rojas, mi flaca por ser el amor de mi vida, que confía en mí sin importar nada y por que juntos estamos logrando nuestros sueños de infancia.

Y a mi hijo José Lino Carlos, razón extra para disfrutar esta vida, por ser como eres te amo tanto.

Carlos Bustos Mejia

ÍNDICE

	Página
Índice	i
Índice de tablas	iv
Índice de figuras	v
Resumen	viii
CAPITULO 1. INTRODUCCION	1
1.1 JUSTIFICACIÓN	3
1.2 HIPÓTESIS	4
1.3 OBJETIVOS	4
1.4 ALCANCE	5
CAPITULO 2. ANTECEDENTES	6
2.1 FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA	8
2.2 CONSUMO DE AGUA	9
2.3 GENERACIÓN DE AGUA RESIDUAL	13
2.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS	16
2.5 SISTEMAS DE TRATAMIENTO	17
2.5.1 TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	18
2.6 ESTADO DE ARTE DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA PEQUEÑAS COMUNIDADES	24

	Página	
2.6.1	GRUPO SEVERN TRENT PLC	25
2.6.2	HUBER SOLUTIONS	31
2.6.3	WET & PURE TECHNOLOGY	36
2.6.4	HI-TECH ENVIRONMENTAL	39
2.6.5	HIDROXYL SYSTEMS	41
2.6.6	EEC GLOBAL OPERATION	44
2.6.7	TECNOLOGÍA DELTA S.A. DE C. V.	47
2.6.8	HIDROBIOTECNOLOGIA S.A. DE C. V.	49
2.6.9	AGUAMARKET	52
2.6.10	ASA AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL	53
2.6.11	DISCUSIÓN DEL ESTADO DE ARTE	56
2.7	SISTEMAS DE BIOPELICULA FIJA	57
2.8	MEDIOS DE SOPORTE	57
2.9	NORMATIVIDAD REFERENTE A DESCARGAS, REUSO Y LODOS DE LAS AGUAS RESIDUALES	59
 CAPITULO 3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION		 60
3.1	SISTEMA EXPERIMENTAL	60
3.2	OBJETIVO DEL EXPERIMENTO	61
3.3	DESCRIPCIÓN DEL REACTOR BIOLOGICO	61
3.4	CARACTERIZACIÓN DE LOS MEDIOS DE SOPORTE DEL DISPOSITIVO EXPERIMENTAL	63
3.4.1	AREA SUPERFICIAL ESPECIFICA	63
3.4.2	POROSIDAD DEL LECHO EMPACADO	64
3.4.3	DENSIDAD	64
3.4.4	TAMAÑO EFECTIVO	65
3.5	DESCRIPCIÓN DE LOS MEDIOS FILTRANTES UTILIZADOS EN EL EXPERIMENTO	65
3.5.1	MATERIALES NATURALES	65
3.5.2	MATERIALES PLÁSTICOS SINTETICOS	67

	Página
3.6 PROGRAMA EXPERIMENTAL Y PROGRAMA DE MUESTREO	68
3.6.1 AGUA RESIDUAL DOMESTICA EXPERIMENTAL	69
3.6.2 PARÁMETROS DEL PROCESO Y OPERACION	69
3.6.3 DETERMINACIONES ANALÍTICAS	71
3.6.4 SISTEMA DE RETROLAVADO	72
3.7 ANALISIS DE LAS BIOPELICULAS	72
3.7.1 DESCRIPCION DE BIOPELICULAS	73
3.7.2 ESTIMACION DE BIOMASA ADHERIDA	73
3.8 OBSERVACIONES EN MICROSCOPIO DE LA SUPERFICIE DE LOS MATERIALES	74
 CAPÍTULO 4. RESULTADOS	 76
4.1 ARRANQUE Y DESARROLLO DE BIOPELICULA	76
4.2 CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS MATERIALES FILTRANTES DE SOPORTE	78
4.3 REMOCION DE MATERIA ORGANICA	79
4.4 REMOCION DE NITROGENO	82
4.5 COMPORTAMIENTO DE LOS PARAMETROS DE CAMPO	83
4.5.1 pH	83
4.5.2 CONDUCTIVIDAD Y SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	84
4.5.3 TEMPERATURA	85
4.5.4 TURBIEDAD	86
4.6 ANALISIS DEL DESEMPEÑO DE LOS BIOFILTROS EN LAS DIFERENTES CONDICIONES DE OPERACIÓN	87
4.7 OBSERVACIONES DE LAS BIOPELICULAS MEDIANTE MICROSCOPIO ELECTRONICO	92
 CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	 96
ANEXOS	99
BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS	105

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
1. Clasificación de la disponibilidad natural media de agua	7
2. Componentes del ciclo hidrológico	8
3. Volúmenes de agua concesionada de uso consuntivo Datos en km ³ anuales	10
4. Dotación de agua potable	12
5. Consumo de agua por clase económica	12
6. Rango de temperaturas para el tipo de clima	12
7. Caudales medios de agua residual de origen residencial	13
8. Cobertura del agua potable y alcantarillado en México	15
9. Análisis típico del agua residual municipal	16
10. Contaminantes importantes de las aguas residuales	17
11. Tipos de tratamiento de aguas residuales	18
12. Fechas de cumplimiento para contar con PTAR	19
13. Porcentajes de población en México	20
14. Crecimiento de las localidades en México	20
15. Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales por estado, 2002	21
16. Localidades por entidad federativa, y su distribución según tamaño de localidad	22
17. Comparación de las empresas en estudio	56
18. Características del agua residual	69
19. Fases de operación del experimento	70
20. Programa de monitoreo y control efectuado durante la biodegradación	71
21. Características de agua residual del IMTA	76
22. Parámetros de operación de los reactores	77
23. Características de los materiales filtrantes	78
24. Promedios de pH y temperatura durante las diferentes fases experimentales en el influente y en los efluentes de los reactores	90

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1. Contraste de disponibilidad natural media de agua en México	7
2. Usos del agua en México	9
3. Volúmenes de agua concesionada de uso consultivo	10
4. Usos del agua de países según su nivel económico	11
5. Generación de agua residual por salida de instalación hidráulica	14
6. Sistemas de tratamiento de agua residual doméstica en México.	23
7. Planta paquete ColOX	26
8. Planta paquete Filtopack	27
9. Planta paquete TETRA SAF	29
10. Bloques de medio filtrante	30
11. Sistemas de HUBER MembraneClearBox	31
12. Sistemas de HUBER BioMem	32
13. Esquema del HUBER BioMem	33
14. Sistemas de HUBER Unidad de VRM® (sin operar y operando)	34
15. Diagrama de un sistema de HUBER VRM® pakc	35
16. Sistemas BIOROCK individuales	37
17. Sistemas BIOROCK agrupados	38
18. Planta Paquete HI-TECH	39
19. Medios filtrantes HI-TECH ETAPAK®	40

	Página
20. Sistema Modular Biológico de Tratamiento Hydroxyl	41
21. Medios filtrantes Hydroxyl-Pac	43
22. Planta paquete EEC de D.A.S.	44
23. Esquema planta paquete EEC de DAS	45
24. AMB Biomedia soporte filtrante	46
25. Planta Paquete de tratamiento Biológico ACS	47
26. Diagrama de flujo de la Planta ACS	48
27. Tren de tratamiento del sistema biológico mixto de una planta paquete	49
28. Ubicación de una PTAR Tipo Planta paquete	53
29. Planta Paquete de tratamiento de agua doméstica modelo ASA-JET SERIE 1500	54
30. Diagrama de flujo del proceso biológico con aeración extendida	55
31. Esquemas de subcapas aerobias y anaerobias de un medio	57
32. Esquema del sistema experimental	60
33. Reactor experimental	62
34. Tezontle rojo	65
35. Esferas de arcilla	66
36. Material sintético SESSIL	67
37. Cubos de poliuretano	68
38. Vistas microscópicas de los materiales naturales	74
39. Vistas microscópicas de los materiales sintéticos	75

	Página
40. Comportamiento de la DQO	79
41. Porcentaje de remoción de la DQO	80
42. Porcentaje de remoción de la NTK	82
43. Comportamiento del pH	83
44. Comportamiento de la conductividad	84
45. Comportamiento de los Sólidos Disueltos Totales	85
46. Comportamiento de los Sólidos Disueltos Totales	85
47. Comportamiento de la turbiedad	86
48. Concentraciones promedio de la DQO en el influente y en los efluentes de los biofiltros, calculadas para las fases experimentales con diferentes cargas orgánicas	88
49. Remociones de DQO promedio obtenidas en los biofiltros aplicando diferentes cargas orgánicas	89
50. Tasas específicas promedio de remoción de DQO obtenidas en los biofiltros aplicando diferentes cargas orgánicas	89
51. Concentraciones promedio del N-NH ₃ en el influente y en los efluentes de los biofiltros, calculadas para las fases experimentales con diferentes cargas orgánicas	91
52. Observación en microscopio del material de empaque del reactor de esferas de cerámica	93
53. Material de empaque del reactor de tezontle visto en el microscopio	94
54. Materiales plásticos sintéticos de empaque de los reactores de cinta SESSIL y cubos de poliuretano visto con el microscopio	95

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue conocer el estado actual de los sistemas de tratamiento de agua residual domestica en la modalidad de planta paquete y evaluar el desempeño de cuatro biofiltros aerobios de lecho sumergido, utilizando diferentes materiales como medio de soporte de la biopelícula, para tratamiento de aguas residuales fundamentalmente domesticas. La investigación se realizó en una instalación experimental de cuatro reactores de acrílico, con un volumen de 20 L cada uno. Los reactores fueron empacados con diferentes materiales de soporte: cubos de poliuretano, cinta de polietileno (SESSIL), esferas de cerámica y granos de tezontle rojo previamente triturado. Los biofiltros se operaron en continuo con cuatro diferentes cargas orgánicas y se evaluó su desempeño. Durante el período experimental la DQO promedio en los efluentes de todos los biofiltros fueron menores de 60 mg/L. Los biofiltros operados con cargas orgánicas hasta $2.0 \text{ gDQO}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ presentaron tasas específicas de remoción de DQO muy similares del orden de 80% mg/L. A mayores cargas (hasta $6 \text{ gDQO}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) se presentaron diferencias y los mejores resultados se obtuvieron en los reactores con cinta SESSIL y con cubos de poliuretano. El reactor con tezontle tuvo un buen desempeño con remociones del orden de 70% con cargas hasta $4 \text{ gDQO}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, después de lo cual se observó una disminución en su capacidad de remoción. La remoción del N-NH₃ depende más de la concentración de oxígeno disuelto en el reactor que de la carga orgánica. El efecto de la carga orgánica es mayor a menores concentraciones del oxígeno disuelto. Con una concentración del oxígeno disuelto de 5 mg/L se pueden obtener remociones del amoníaco hasta 99.5% con cargas orgánicas menores de $2 \text{ gDQO}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ y hasta 91% con cargas hasta $6 \text{ gDQO}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Mejores remociones de N-NH₃ se presentaron en los reactores con cubos de poliuretano. Fueron también altas las remociones en los reactores con cinta SESSIL y granos de tezontle.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de tratamiento con biopelículas están tomando interés en las plantas compactas de tratamiento de agua residual doméstica, ya que tienen muchas ventajas, como son la alta remoción de cargas orgánicas, la estabilidad en condiciones de pH y temperatura variables y la capacidad de disminuir los volúmenes de construcción en las plantas de tratamiento.

Se ha demostrado que los biofiltros aerobios de lecho fijo sumergido son una opción efectiva para el tratamiento de las aguas residuales (*Canler and Perret, 1994; Farabegoli et al., 2003; Hamoda, 1989; Mendoza-Espinoza and Stephenson, 1999; Robinson et al., 1994*). La posibilidad de retener una gran cantidad de biomasa en los biofiltros, los hace más compactos comparados con los sistemas convencionales y por lo tanto adecuados para plantas pequeñas de tratamiento de aguas residuales. En varios trabajos se ha reportado la capacidad de los biofiltros aerobios sumergidos de remover simultáneamente materia orgánica y nutrientes (*Meaney and Strickland, 1994; Peladan et al., 1996; Aravinthan et al., 1996; Goncalves et al., 1994*). Una desventaja de estos sistemas es la necesidad de realizar retrolavados periódicamente para evitar la colmatación del lecho. Las características de los materiales utilizados para el empaque de los biofiltros determinan el tipo y la estructura de la biopelícula que se desarrolla en el reactor, por lo cual influyen sobre la forma de operar los reactores y su capacidad de remoción de los diferentes contaminantes (*Hamoda, 1989; Moore et al., 2001; Wuertz et al., 2003*).

El sistema de biopelículas tiene como principal ventaja el tener mayor concentración de biomasa en los reactores, lo cual permite un tratamiento eficiente en reactores mas compactos, siendo importante para desarrollar un sistema de tratamiento de agua residual para pequeñas comunidades, es por lo que se determina la capacidad de un proceso aerobio con biopelículas sumergidas para la eliminación de la materia orgánica y nitrogenada del agua residual doméstica; utilizando diferentes medios de soporte para la adherencia de la biopelícula.

Las investigaciones de tratamiento del agua residual domiciliaria, obtienen una buena eficiencia con nuevas tecnologías. Los principales métodos aplicados han sido los biológicos, los químicos, la separación con biomembranas, la biofiltración y el tratamiento térmico. Los procesos físico-químicos presentan altos costos y bajas eficiencias. Los procesos biológicos basados en el crecimiento de la biomasa en suspensión han demostrado ser efectivos en la remoción de materia orgánica y nutrientes. El problema de este sistema es la colmatación o saturación del medio, lo que hace que se efectúen retrolavados, por lo que ocasiona que los organismos de lento crecimiento como los nitrificantes y otros organismos capaces de degradar sustancias menos biodegradables sean lavados del sistema. Además de que el sistema necesita contar con equipo para la separación de sólidos antes de ser alimentado.

Algunas de las ventajas que ofrecen comparados con los sistemas convencionales de biomasa en suspensión, son las altas concentraciones de biomasa en los reactores, altas tasas de transformación de contaminantes, eficiente sedimentación de la biomasa, reactores más pequeños, resistencia del sistema a sustancias inhibitoras y tóxicas.

En la literatura aun no se encuentran suficientes datos sobre la calidad y cantidad del agua residual derivada de sistemas de tratamiento para pequeñas comunidades con sistemas de medios filtrantes sumergidos con biopelícula adherida, aun que las empresas que ofertan estos sistemas dan las más altas calidades que alcanzan los estándares normativos que permite descargarlos en cuerpos de agua o bien utilizarlos para usos públicos.

Al determinarse la capacidad de un medio filtrante en un proceso aerobio con biopelículas sumergidas, para la eliminación de la materia orgánica y nitrogenada de un agua residual domiciliaria, podrá desarrollarse un sistema de tratamiento compacto (planta paquete) que tenga como principio la biofiltración, utilizando el material más adecuado y que se considere óptimo en todas las condiciones tanto de remoción de contaminantes como económicas.

1.1 JUSTIFICACION

Es a menudo que los sitios residenciales, las granjas o los centros públicos (tales como instalaciones deportivas o centros comerciales) no están conectados con la red de alcantarillado que llega a una planta de tratamiento de aguas residuales. Las aguas residuales generadas en estos lugares frecuentemente se descargan a tanques sépticos, pozos de absorción o directamente a cuerpos naturales de agua. Esta disposición es perjudicial para el medio ambiente; así que es importante buscar soluciones alternativas. Una recomendación para el tratamiento de aguas residuales de dichos lugares requiere que las nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales, sé planeen para la operación ha largo plazo y que su sistema tenga una etapa biológica del tratamiento, para hacerlas mas armoniosas con el medio ambiente.

Considerando los antecedentes y la problemática del agua en la actualidad será de especial importancia el desarrollar un sistema compacto de tratamiento de aguas residuales para fraccionamientos o unidades habitacionales.

Las Normas Oficiales Mexicanas establecen las especificaciones de descargas del agua residual tratada, dependiendo del tipo del cuerpo receptor o del reuso del agua residual (NOM 001-SEMARNAT-1993, NOM-003-SEMARNAT-1997). Algo importante es que para descargas municipales se han fijado plazos límite y fechas de cumplimiento, estableciendo que ciertas poblaciones deberá contar con su sistema de tratamiento de agua residual. El cumplimiento es gradual y progresivo, conforme a los rangos de población.

Es por esto, que se pretende introducir sistemas efectivos y compactos de tratamiento de las aguas residuales de tipo doméstico para pequeñas comunidades o fraccionamientos, con el fin de asegurar su confiabilidad para reuso y contribuir a la preservación de los recursos hídricos y del ambiente.

1.2 HIPÓTESIS

Mediante un sistema biológico compacto, usando biopelículas para el tratamiento de agua residual de fraccionamientos habitacionales, se puede obtener la remoción de contaminantes necesaria para utilizar el agua tratada en servicios públicos.

1.3 OBJETIVOS

Desarrollar un sistema compacto de tratamiento biológico de aguas residuales para fraccionamientos o unidades habitacionales de 100 habitantes como máximo (gasto de 0.20 L/s), con el fin de lograr su reutilización en servicios públicos y en riego de áreas verdes, cumpliendo con las normas establecidas por la SEMARNAT en la Republica Mexicana.

1.3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.3.1.1 Seleccionar un sistema de tratamiento biológico con biopelículas adecuado para plantas compactas.

1.3.1.2 Diseñar y construir un sistema experimental de biofiltros para contener diferentes materiales como medio de soporte de la biopelícula.

1.3.1.3 Determinar la remoción de los principales contaminantes en los biofiltros y las mejores condiciones de operación del sistema.

1.3.1.4 Analizar comparativamente el desempeño de los biofiltros con los diferentes materiales de soporte, seleccionar el mejor y proponer los parámetros de diseño de un sistema de tratamiento.

1.4 ALCANCE

Analizar el estado actual en el tema referente a plantas pequeñas para tratamientos de aguas residuales de fraccionamientos, así como la variedad de plantas paquete en el mercado Mexicano.

Con base en el análisis seleccionar un sistema biológico adecuado para plantas pequeñas.

Construir modelos físicos del sistema seleccionado y efectuar un estudio del comportamiento de diferentes materiales filtrantes, tanto sintéticos como naturales, para ser utilizados como posibles medios de soporte en un sistema de biofiltros sumergidos de flujo ascendente.

De datos obtenidos, determinar la efectividad del tratamiento para obtener agua de alta calidad, el mejor material de soporte y los parámetros de diseño de un sistema de tratamiento compacto.

2. ANTECEDENTES

En la actualidad la escasez de agua se aprecia muy a menudo, tanto en las pequeñas comunidades, como en las grandes ciudades. En una, por la falta de infraestructura para la explotación del líquido vital o bien por la escasez de fuentes de abastecimiento; mientras que en la otra, por la gran demanda que se tiene y la poca disponibilidad del agua.

Se han propuesto diferentes alternativas de solución viables para el problema en cuestión.

Dentro de estas posibilidades de mejorar el abastecimiento del vital líquido, se encuentran:

- Concientizar a las poblaciones de las necesidades del ahorro y buen uso del agua;
- Implementar programas de minimización del líquido;
- Desarrollar sistemas para reutilizar el agua.

Estos son los principales puntos de la estrategia para enfrentar la problemática en los últimos años. Sin embargo, en México y en el mundo la concientización no se ha podido fomentar en la mayoría de las poblaciones.

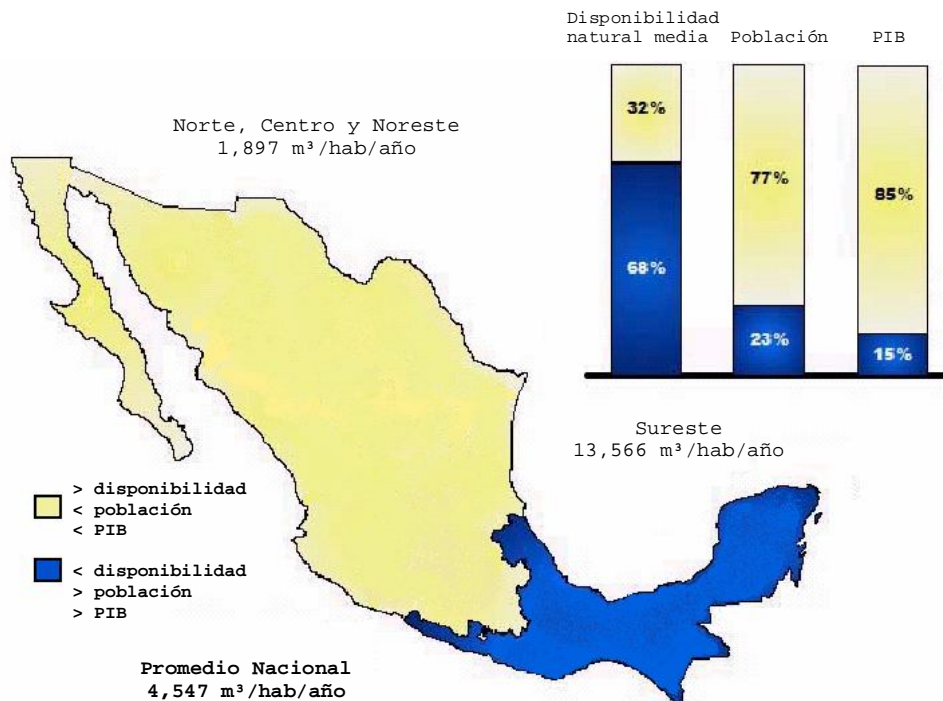
Así mismo, la minimización de la utilización del líquido no ha tomado su mayor auge. En lugares donde el agua se obtiene con mayor facilidad, se tiene un proceso nulo de minimización, mientras que en lugares, donde no se cuenta con agua, la minimización ha tomado mayor énfasis. Esto tiene que ver con la disponibilidad natural media de agua, la cual varía de una zona a otra o de un país a otro, esta es la relación de la cantidad de agua disponible con la población que se asienta en su zona. Un indicador ampliamente utilizado para detectar posibles problemas relacionados al agua, es el que se refiere a la disponibilidad natural media per cápita. De acuerdo con este indicador las regiones y países se clasifican como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación general de la disponibilidad natural media de agua

Disponibilidad natural media de agua per capita (m ³ /hab/año)	Clasificación
Menor a 1,000	Extremadamente baja
1,001 a 2,000	Muy Baja
2,001 a 5,000	Baja
5,001 a 10,000	Media
10,001 a 20,000	Alta
Más de 20,000	Muy Alta

Fuente: Shiklomanov, I. A. y Rodda, J. C., 2003.

Como ejemplo, para el caso de México, la zona sur cuenta con mayor disponibilidad del agua a comparación de la zona norte, (Figura 1), por lo cual, en la zona norte se tienen mejores sistemas de abastecimiento de agua, de riego, de manejo de agua en la industria y una mayor concientización ciudadana de la minimización. Por lo que, considerar un sistema de tratamiento de agua residual doméstica podrá lograr la reutilización de agua tratada, teniendo un beneficio para lugares con un baja disponibilidad.



Fuente: Integrado por la Subdirección General de Programación. CNA.

Figura 1. Contraste de disponibilidad natural media de agua en México

Para el desarrollo de sistemas de reutilización de agua, se tienen factores primordiales en el tratamiento del agua de desecho o residual para ser reutilizada por las poblaciones.

Para analizar las fuentes de aguas residuales, es necesario conocer las diferentes fuentes de abastecimiento, usos del agua y tratamientos.

2.1. FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

Las principales fuentes de abastecimiento son:

- Lluvia;
- Agua Superficial (ríos, lagos, embalses y lagunas);
- Agua Subterránea (acuíferos y manantiales);
- Mares y Océanos;

En México poco más del 70% del agua que llueve evapotranspira y regresa a la atmósfera, el resto escurre por los ríos o arroyos, lagos y lagunas o se infiltra al subsuelo y recarga los acuíferos. Esto se presenta con mayor detalle en la Tabla 2, el resto mencionado es lo que se utiliza como fuente de abastecimiento.

Tabla 2. Componentes del ciclo hidrológico en México

Componentes	Valores anuales
Precipitación media histórica 1941-2002 (771 mm)	1 511 km ³
Evapotranspiración media	1 084 km ³
Escorrentamiento natural medio superficial total	399 km ³
Recarga media total de acuíferos	77 km ³
Disponibilidad natural media total	476 km³
Disponibilidad natural media por habitante	4 547 m³

Fuente: Subdirección General Técnica. CNA. 2006

Estas fuentes de abastecimiento superficial y subterránea son utilizadas en diferentes consumos. En el país se utiliza el 15% del volumen de disponibilidad natural media de agua; sin embargo, en el norte del país se utiliza más del 60% de la disponibilidad

natural media, mientras que en el sur apenas un 4% de la disponibilidad natural media.

En los ríos del país escurren aproximadamente 399 km³ de agua anualmente, y cuenta con 653 unidades hidrogeológicas o acuíferos.¹

2.2 CONSUMO DE AGUA

El consumo de agua, es más bien el aprovechamiento que se tiene del agua para diversos fines el cual puede ser clasificado en dos tipos: uso consuntivo o no consuntivo. En la Figura 2 se presentan los principales usos del agua en México y las fuentes de abastecimiento para cada uno de estos.

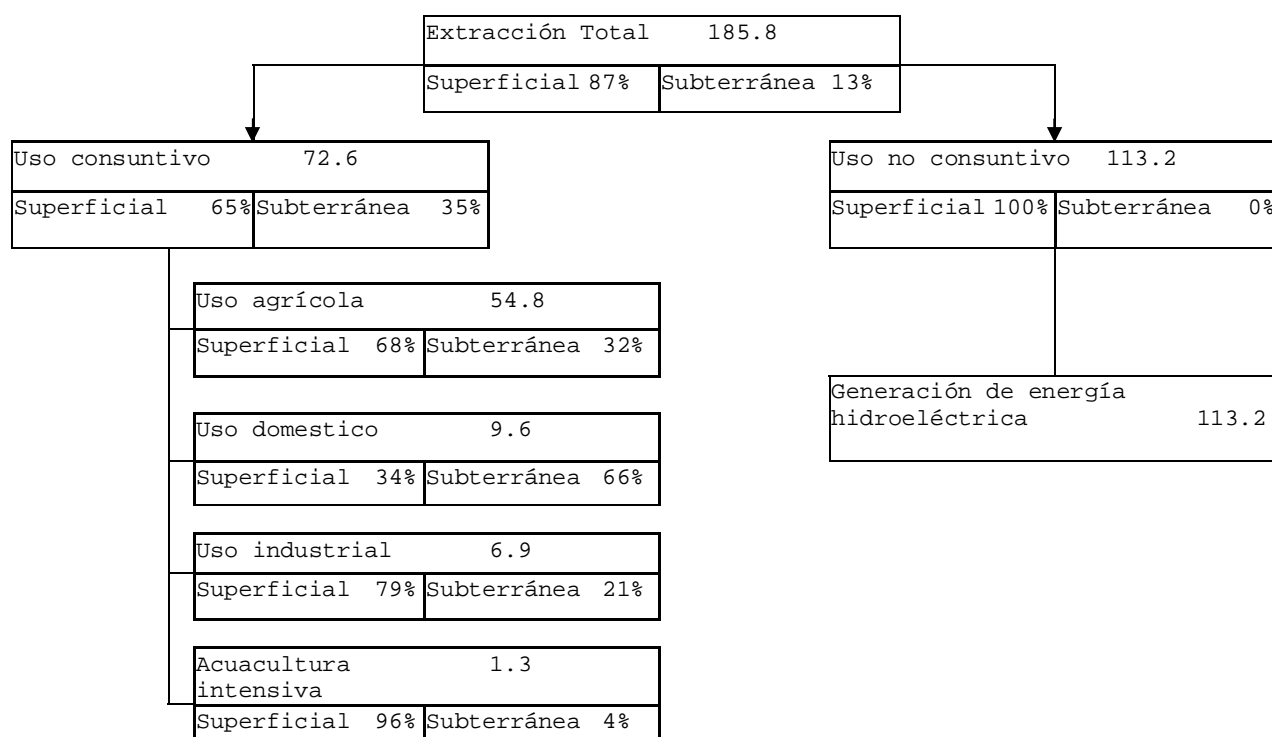


Figura 2. Usos del agua en México

Usos consuntivos o usos fuera del cuerpo de agua, en los cuales el agua es transportada a su lugar de uso y la totalidad o parte de ella no regresa al cuerpo de agua.

¹ Comisión Nacional del Agua, Estadísticas del Agua en México, 2004 / Comisión Nacional del Agua.- México: CNA, 2004.

Usos no-consuntivos o usos en el cuerpo de agua, en los cuales el agua se utiliza en el mismo cuerpo de agua o con un desvío mínimo y su totalidad regresa al cuerpo de agua.

Los volúmenes de agua para los diferentes usos consuntivos se presentan en la Tabla 3. La mayor cantidad de agua se consume por el sector agropecuario (Figura 3). Para abastecimiento público se utiliza solo el 13 % de la extracción anual del agua.

Tabla 3. Volúmenes de agua concesionada de uso consuntivo
Datos en km³ anuales

Uso	Origen		Volumen total	Porcentaje de extracción
	Superficial	Subterráneo		
Agropecuario ^{a*}	38.3	17.8	56.1	77
Abastecimiento público ^b (incluye industria conectada a la red)	3.3	6.3	9.6	13
Industria autoabastecida ^c (incluye termoeléctricas)	5.3	1.6	6.9	10
Total Nacional	46.9	25.7	72.6	100

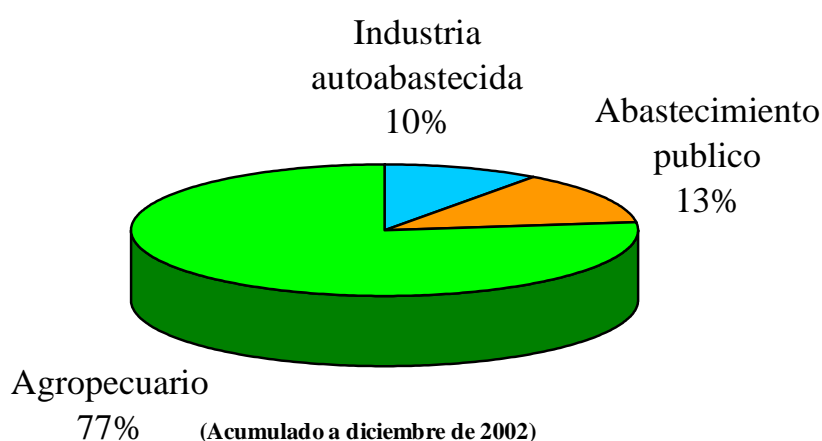
Fuente: Gerencia del Registro Público de Derechos de Agua. SGAA. CNA.

Notas: * En el uso agropecuario se incluyen volúmenes de agua que se encuentran en proceso de regularización.

a. Incluye los usos agrícola, pecuario, acuicultura, múltiples y otros.

b. Incluye los usos público urbano y doméstico.

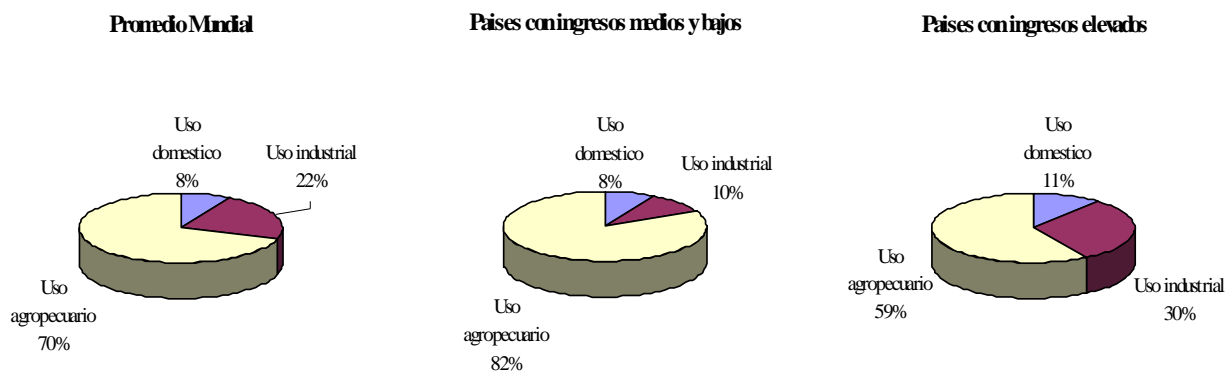
c. Incluye los usos industria autoabastecida, agroindustria, servicios, comercio y termoeléctricas.



Fuente: Gerencia del Registro Público de Derechos de Agua. SGAA. CNA.

Figura 3. Volúmenes de agua concesionada de uso consuntivo

En el resto del mundo es similar el consumo de agua, variando solo por su economía nacional, en la Figura 4 se presentan los usos del agua por grupos de países según sus niveles de ingresos.



Fuente: Extraído del Resumen Ejecutivo Oficial del Informe (WWDR). Banco Mundial. 2001. Washington DC.

Figura 4. Usos del agua de países según su nivel económico

El uso industrial del agua aumenta según el nivel de ingresos del país, variando desde el 10% en países de ingresos medios y bajos hasta el 30% en países de ingresos elevados, ajustándose con el uso agropecuario, mientras que el uso doméstico se mantiene estable.

La importancia del uso del agua doméstica es vital, ya que de ella dependen los habitantes de las comunidades, localidades, ciudades, etc. Estos le dan el principal uso en lo que respecta al aseo, siendo aproximadamente el 80% y el resto corresponde al consumo, riego y fugas.

El consumo doméstico del agua en México, es variado, ya que esto depende, del tipo de clima y de la población. En la Tabla 4 se muestran las dotaciones de agua para diferentes tipos de clima y diferentes poblaciones y en la Tabla 5 se presentan los diferentes consumos de agua por clase económica, la cual depende tanto del clima como del estatus socioeconómico. Haciendo una comparación la diferencia es nula, siendo semejantes en que consideran el tipo de clima, en la tabla 6 se dan las diferentes temperaturas para cada tipo de clima.

Tabla 4. Dotación de agua potable

población habitantes	por	Tipo de clima		
		Cálido	Templado	Frió
		L/hab/día		
De 2,500 a 15,000		150	125	100
De 15,000 a 30,000		200	150	125
De 30,000 a 70,000		250	200	175
de 70,000 a 150,000		300	250	200
De 150,000 ó más		350	300	250

Tabla 5. Consumo de agua pos clase económica

Tipo de clima	Consumo pro clase económica		
	Residencial	Media	Popular
L/hab/día			
Cálido	400	230	185
Semicálido	300	205	130
Templado	250	195	100
Semifrio y frió	250	195	100

Tabla 6. Rango de temperaturas para el tipo de clima

Temperatura media anual °C	tipo de clima
> de 22	cálido
De 18 a 22	Semicálido
de 12 a 17.9	templado
De 5 a 11.9	semifrio
< de 5	frió

Consumo doméstico de agua promedio nacional: **216.6 litros/hab/día**

FUENTE: INEGI-SEMARNAP (2000). "Indicadores de desarrollo sustentable en México".

2.3. GENERACIÓN DE AGUA RESIDUAL

La generación de agua residual se da por sus diferentes usos, la cual dependiendo de su consumo es la clasificación que se le da.

Para esto tenemos que las fuentes de aguas residuales pueden ser:

- aguas domésticas o urbanas (publico),
- aguas residuales industriales,
- escorrentías de usos agrícolas,
- pluviales.

Las aguas residuales domesticas son de características similares, mientras que la agrícola y la industrial son muy variadas y diversas.

Las principales fuentes de agua residual doméstica de una comunidad las constituyen las zonas residenciales y urbanas. Otras fuentes importantes son las instalaciones públicas y de recreo.

En el caso de las zonas residenciales es común determinar los caudales de aguas residuales a partir de la densidad de población y de la contribución media per capita. En la Tabla 7 se presentan datos de los rangos de variación y caudales típicos para agua residual domestica.

Tabla 7. Caudales medios de agua residual de origen residencial

Origen	Gasto, L/unidad/día		
	Unidad	Intervalo	Valor típico
Departamentos	Persona	200 - 340	260
Hotel, por residente	Residente	150 - 220	190
Viviendas individuales:			
Casa media	Persona	190 - 350	280
Casa de la clase alta	Persona	250 - 400	310
Casa de lujo	Persona	300 - 550	380
<i>Casa moderna</i>	<i>Persona</i>	<i>100 - 250</i>	<i>200</i>
Bungalow de verano	Persona	100 - 240	190
Campamento de caravanas	Persona	120 - 200	150

En la cual observamos que entre menor es nivel socioeconómico habitacional la descarga es menor y va aumentando la descarga conforme al nivel socioeconómico habitacional.

De igual modo en las graficas de la Figura 5 se observan los porcentajes de agua residual domestica generada de los diferentes usos, para el caso de departamento y por tipo de casa.

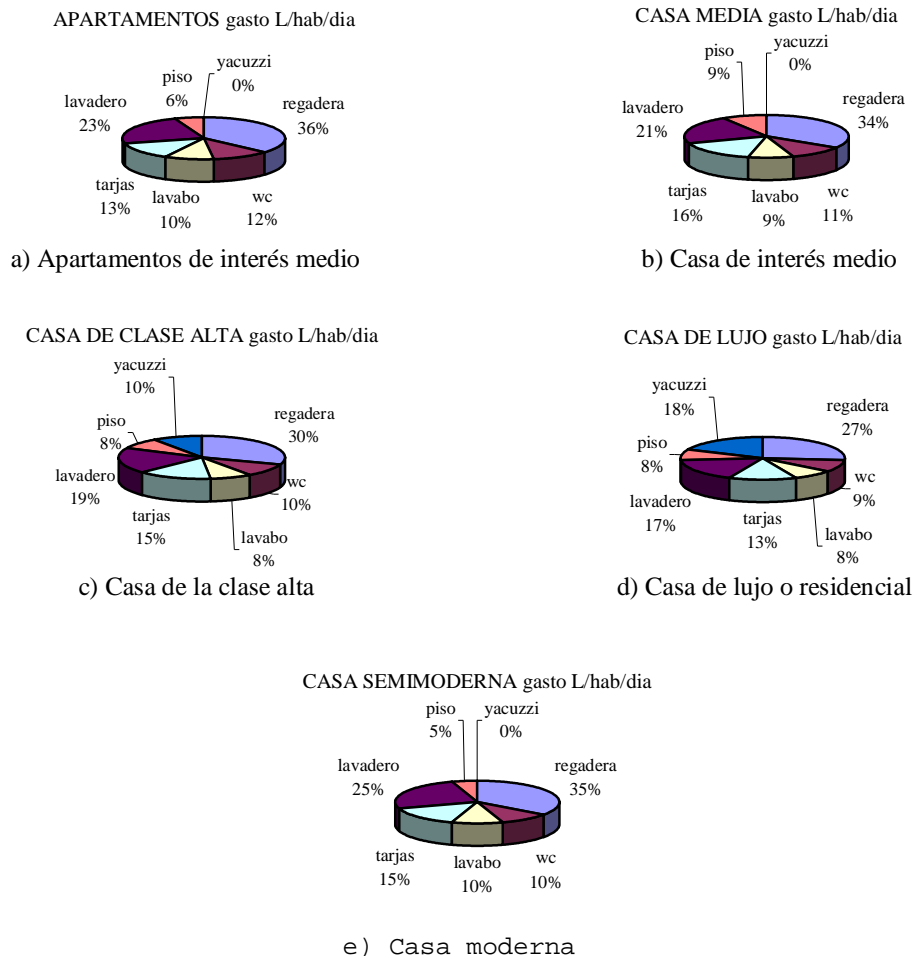


Figura 5. Generación de agua residual por salida de instalación hidráulica

Podemos ver que hay mucha variación, esto depende del tipo y del numero de muebles sanitarios, ya que aun que el consumo por salida de instalación hidráulica es el mismo, la cantidad de estos es mayor en las casas de mejor condición económica.

En México se cuenta con sistemas de abastecimiento de agua y a su vez de alcantarillado para la recolección del agua residual. La cobertura se presenta en la Tabla 8, donde se observa el incremento de los porcentajes de cobertura desde 1980 hasta 1995.

Tabla 8. Cobertura del agua entubada y alcantarillado en México (Porcentajes de población que cuentan con servicios).

Población	Censo 1980*	Censo 1990	Conteo 1995	Censo 2000
Agua Potable %	%			
Urbana	Nd	89.4	92.4	94.6
Rural	Nd	51.1	62.5	68.0
Total Nacional	70.7	78.4	84.6	87.8
Alcantarillado %	%			
Urbana	Nd	79.1	87.3	89.6
Rural	Nd	18.1	30.2	36.7
Total Nacional	49.1	61.5	72.4	76.2

Fuente: Con base en INEGI (1), 1996; INEGI (3), 2003. * Datos estimados por la Subdirección

General de Programación, con base en INEGI (1), 1996.

Nota: nd: dato no disponible.

Las coberturas fueron calculadas dividiendo los ocupantes en viviendas particulares que cuentan con el servicio entre el total de ocupantes en viviendas particulares, bajo esta consideración los datos pueden variar con respecto a otras publicaciones de la CNA.

El agua residual que llega a la red de alcantarillado, provienen fundamentalmente de las viviendas, establecimientos comerciales y de recreo, fabricas productoras domésticas y de equipos para el riego de calles y jardines, esta agua residual se estima sin considerar la infiltración del agua subterránea y de las precipitaciones; excluyendo el agua pluvial y contando con una red de alcantarillado bien construido, la variación de la relación de aguas residuales/suministro de agua no varia de un 70 a 80%.

2.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS.

Las características generales de las aguas residuales domesticas, se basan en los parámetros de calidad físico-químicos y microbiológicos. En la Tabla 9 se presentan las concentraciones típicas de los diferentes constituyentes, (Metcalf & Eddy, Inc.).

Tabla 9. Análisis típico del agua residual municipal

Constituyente	Concentración, mg/L		
	Fuerte	Media	Débil
Sólidos totales:	1200	720	350
Disueltos totales	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
Suspendidos totales	350	220	100
Fijos	75	55	20
Volátiles	275	165	80
Sólidos sedimentales, mili	20	10	5
Demanda bioquímica de oxígeno, 5 días a 20° C (DBO ₅)	400	220	110
Carbono orgánico total (COT)	290	160	80
Demanda química de oxígeno (DQO)	1000	500	250
Nitrógeno (total como N):	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoniacal	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo (total como P)	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
Cloruros	*100	50	30
Alcalinidad (como CaCO ₃)	200	100	50
Grasas	150	100	50

* A menos que se indique otra

Fuente: Metcalf & Eddy, Inc.

Los constituyentes del agua residual pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos. Estos se determinan con análisis de agua. De estos constituyentes los sólidos suspendidos, los compuestos orgánicos biodegradables y los organismos patógenos son de mayor importancia, y por ello los sistemas de tratamiento son diseñados para su remoción.

En la Tabla 10 se presentan los contaminantes importantes de las aguas residuales domesticas por fuente emisora, la cual presenta la importancia de su impacto ambiental.

Tabla 10. Contaminantes importantes de las aguas residuales

Contaminante	Fuente	Importancia ambiental
Sólidos suspendidos.	Uso domestico, desechos industriales y agua infiltrada a la red.	Causa depósitos de lodo y condiciones anaerobias en ecosistemas acuáticos.
Compuestos orgánicos biodegradables.	Desechos domésticos e industriales.	Causa degradación biológica, que incrementa la demanda de oxígeno en los cuerpos receptores y ocasiona condiciones indeseables.
Microorganismos patógenos.	Desechos domésticos.	Causan enfermedades transmisibles.
Nutrientes.	Desechos domésticos e industriales.	Pueden causar eutroficación.
Sólidos inorgánicos disueltos.	Debido al uso doméstico o industrial se incrementan con respecto a su nivel en el suministro de agua.	Pueden interferir con el reuso del efluente.
Metales pesados	Desechos industriales, minera, etc.	Son tóxicos, pueden interferir con el tratamiento y reuso del efluente.
Compuestos orgánicos refractarios *	Desechos industriales	Pueden causar problemas de sabor y olor; Queden ser tóxicos o carcinogénicos.

*Refractario: Se aplica al cuerpo que resiste la acción de agentes químicos o físicos, especialmente altas temperaturas, sin descomponerse.

2.5.- SISTEMAS DE TRATAMIENTO

Para la elaboración de proyectos de tratamiento de agua residual es necesario realizar la estimación del crecimiento de la población y con base en la dotación, la cobertura de alcantarillado y con la aportación se puede determinar los caudales de aguas residuales. Hoy en día, se pueden conseguir datos sobre los caudales en los organismos de regulación y planificación locales, regionales y estatales. Con base en los caudales y las características de las aguas residuales, se proponen y evalúan alternativas de tratamiento integral y opciones de reutilización.

2.5.1- Tipos de tratamiento de aguas residuales

Para comprender el tratamiento del agua residual, esto se resume en que está, pueda regresar al medio ambiente sin alterarlo.

Las operaciones y procesos utilizados en el tratamiento de aguas residuales domesticas, donde su función es transformar y alterar sus constituyentes, se clasifican principalmente por operación ya sea física, química o biológica, y a su vez en tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario avanzado, en la Tabla 11 se presenta el siguiente listado.

Tabla 11. Tipos de tratamiento de aguas residuales

<i>Tratamiento primario</i>	<i>Tratamiento secundario</i>	<i>Tratamiento terciario o «avanzado»</i>
Cribado Sedimentador Flotación Separación de aceites Homogeneización Neutralización	Tratamientos aerobios: Lodos activos Aireación prolongada (procesos de oxidación total) Estabilización por contacto Otras modificaciones del sistema convencional de lodos activos: aireación por fases, mezcla completa, aireación descendente, alta carga, aireación con oxígeno puro Lagunas con aireación Estabilización por lagunas Filtros biológicos (percoladores) Discos biológicos Tratamientos anaerobios: procesos de contacto, filtros (sumergidos) RAFA UASB	Microtamizado Filtración (lecho de arena. Antracita, diatomeas, zeolitas,...) Precipitación y coagulación Adsorción (carbón activado) Intercambio iónico Ósmosis inversa Electrodialisis Cloración y ozonización Procesos de reducción de nutrientes Otros

Las Normas Oficiales Mexicanas establecen las especificaciones y reglamentaciones dependiendo de su tipo, considerando la norma NOM 001, 002 y 003, que son de descarga y reuso; pero, algo muy importante es que las descargas municipales tendrán como plazo límite las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 12 la cual establece que cada población deberá contar con su sistema de planta de tratamiento de agua residual. El cumplimiento es gradual y progresivo, conforme a los rangos de población. El número de habitantes corresponde al determinado en el XI Censo Nacional de Población y Vivienda, correspondiente a 1990, publicado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

Tabla 12. Fechas de cumplimiento para contar con PTAR

DESCARGAS MUNICIPALES	
Fecha de cumplimiento a partir de:	Rango de población:
1 de enero de 2000	mayor de 50,000 habitantes
1 de enero de 2005	De 20,001 a 50,000 habitantes
1 de enero de 2010	De 2,501 a 20,000 habitantes

Por ello, se pretende introducir el sistema de tratamiento de las aguas residuales de tipo doméstico para pequeñas comunidades o fraccionamientos, con el fin de asegurar su confiabilidad y contribuir a la preservación de los recursos hídricos y del ambiente.

Esto queda mas claro considerando la Tabla 13 donde se muestran los porcentajes de los rangos de población y localidades en México, la cual considera que un 98.5% de localidades cuentan con menos de 2,500 habitantes, la cual es el 25% de la población del país. Esto nos lleva a considerar que la problemática parece menor con respecto a las Normas, pero si se considera a la población como la problemática, 75% de la población se verá afectada.

Tabla 13. Porcentajes de población en México.

Entidad federativa	Localidades			Población		
	Menos de 2,500 habitantes	2,500 a 14,999 habitantes	15,000 y más habitantes	Menos de 2,500 habitantes	2,500 a 14,999 habitantes	15,000 y más habitantes
Estados Unidos Mexicanos	98.5	1.3	0.3	25.4	13.6	61

Fuente INEGI 2000 (actualizado 2004)

Y considerando la Tabla 14 que presenta el crecimiento de la población en las localidades de México, se observa que las localidades de menos de 2,500 habitantes van disminuyendo considerablemente.

Tabla 14. Crecimiento de las localidades en México.

Año	Total	Menos de 2 500 habitantes	2 500 y más habitantes
1950	25 791 017	57.4	42.6
1960	34 923 129	49.3	50.7
1970	48 225 238	41.3	58.7
1990	81 249 645	28.7	71.3
1995	91 158 290	26.5	73.5
2000	97 483 412	25.4	74.6

FUENTE: Para 1950: DGE. *VII Censo General de Población, 1950*. México, D.F., 1953.
 Para 1960: DGE. *VIII Censo General de Población, 1960*. México, D.F., 1962.
 Para 1970: DGE. *IX Censo General de Población, 1970*. México, D.F., 1972.
 Para 1990: **INEGI**. *XI Censo General de Población y Vivienda, 1990*. Aguascalientes, Ags., 1992.
 Para 1995: **INEGI**. *Conteo de Población y Vivienda, 1995*. Aguascalientes, Ags., 1997.
 Para 2000: **INEGI**. *XII Censo General de Población y Vivienda, 2000*. *Tabulados Básicos*. Aguascalientes, Ags., 2001.

Y si se considera el inventario nacional de plantas de tratamiento la cual se presenta en la Tabla 15. que muestra el total de plantas en México con el caudal de tratamiento y la Tabla 16 que presenta las localidades en México; efectuando un simple calculo del numero de localidades contra el numero de plantas; es de considerarse la necesidad de la implementación de sistemas de tratamiento de agua residual para pequeñas comunidades.

Tabla 15. Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales por estado, 2002.

ESTADO	TOTAL		EN OPERACIÓN			FUERA DE OPERACIÓN		
	No. de Plantas	Capacidad instalada l/seg	No. de Plantas	Capacidad instalada l/seg	Caudal tratado l/seg	No. de Plantas	Capacidad instalada l/seg	
Aguascalientes	91	2,731.40	86	2,723.90	2,230.20	5	7.5	
Baja California	15	4,437.10	15	4,437.10	3,897.00	-	-	
Baja California Sur	16	1,102.00	15	1,082.00	758.5	1	20	
Campeche	12	132	12	132	45.5	-	-	
Chiapas	16	793.6	5	165.3	113	11	628.3	
Chihuahua	58	5,137.10	56	5,129.10	3,773.70	2	8	
Coahuila	15	1,488.50	6	1,289.00	1,157.00	9	199.5	
Colima	44	584	40	572	451	4	12	
Distrito Federal	28	7,032.00	28	7,032.00	3,652.00	-	-	
Durango	89	3,450.40	87	3,431.90	2,337.00	2	18.5	
Guanajuato	22	4,278.00	18	3,938.00	2,866.00	4	340	
Guerrero	25	2,861.00	25	2,861.00	1,656.70	-	-	
Hidalgo	11	102.4	11	102.4	67.9	-	-	
Jalisco	85	2,979.30	73	2,770.00	2,224.40	12	209.3	
México (estado)	59	6,821.50	52	6,616.40	4,550.60	7	205.1	
Michoacán	20	2,025.00	13	1,136.00	659	7	889	
Morelos	30	1,628.90	18	1,258.20	1,057.50	12	370.7	
Nayarit	56	1,787.90	49	1,660.90	1,092.60	7	127	
Nuevo León	55	12,247.00	55	12,247.00	8,639.90	-	-	
Oaxaca	45	865.4	37	780.4	595.9	8	85	
Puebla	32	3,188.20	28	3,101.00	2,320.40	4	87.2	
Querétaro	52	922	48	907	622.9	4	15	
Quintana Roo	14	1,536.00	14	1,536.00	1,021.80	-	-	
San Luís Potosí	6	820	5	795	545	1	25	
Sinaloa	48	3,010.40	47	3,004.40	2,381.90	1	6	
Sonora	75	3,633.60	61	3,322.40	2,358.20	14	311.2	
Tabasco	39	1,195.50	35	997.5	787	4	198	
Tamaulipas	22	2,671.00	15	2,581.00	2,365.20	7	90	
Tlaxcala	47	1,047.30	31	920	602.7	16	127.3	
Veracruz	91	4,173.80	71	2,883.80	1,017.80	20	1,290.00	
Yucatán	11	169.5	10	144.5	139.5	1	25	
Zacatecas	13	190.8	11	177.8	160.6	2	13	
Total	1,242	85,042.60	1,077	79,735.00	56,148.	50	165	5,307.60

Fuente: CNA/SIGIHU/Unidad de Agua Potable y Saneamiento/Gerencia de Potabilización y Tratamiento

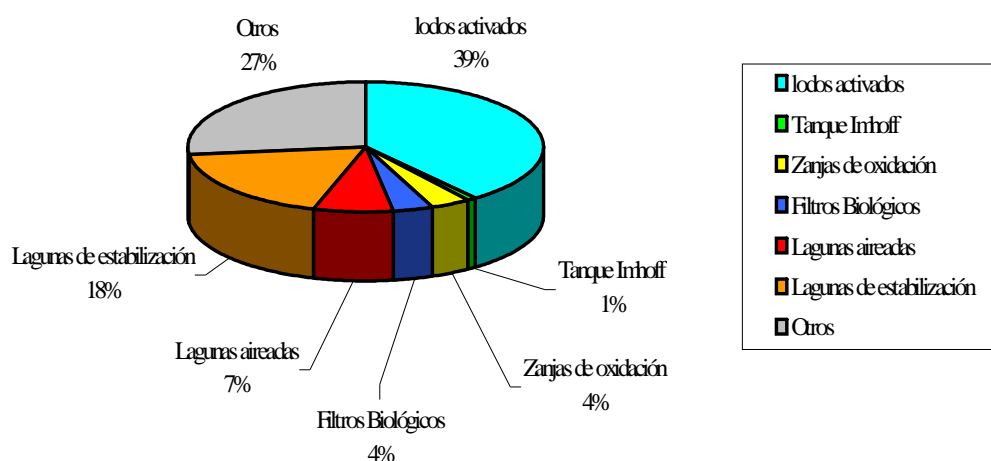
Tabla 16. Localidades por entidad federativa, y su distribución según tamaño de localidad

Entidad Federativa	Total de localidades	Distribución según tamaño de localidad														
		1-49 Hab.	50-99 Hab.	100-499 Hab.	500-999 hab.	1000-1999 Hab.	2000-2499 Hab.	2500-4999 Hab.	5000-9999 Hab.	10000-14999 Hab.	15000-19999 Hab.	20000-49999 Hab.	50000-99999 Hab.	100000-499999 Hab.	500000-999999 Hab.	1000000 y mas Hab.
Estados Unidos Mexicanos	199391	133164	15415	33778	8698	4481	814	1580	711	237	109	226	64	84	20	10
01 Aguascalientes	1856	1450	85	175	81	39	5	13	2	1	1	3	0	0	1	0
02 Baja California	4086	3583	157	193	61	36	11	23	9	4	4	1	1	1	1	1
03 Baja California Sur	2745	2530	63	99	24	10	2	8	1	4	0	3	0	1	0	0
04 Campeche	3099	2607	65	287	74	34	6	11	9	2	0	2	0	2	0	0
05 Coahuila	4211	3503	158	385	68	49	3	19	6	1	5	8	1	3	2	0
06 Colima	1273	1083	34	97	22	14	4	6	7	1	1	0	3	1	0	0
07 Chiapas	19455	13129	1601	3432	785	316	48	80	35	12	3	10	1	3	0	0
08 Chihuahua	12862	10933	789	920	97	63	12	19	15	3	2	3	4	0	1	1
09 Distrito Federal	480	344	56	47	1	1	0	2	5	3	5	1	0	9	4	2
10 Durango	6258	4672	480	810	163	81	12	24	7	4	1	1	1	2	0	0
11 Guanajuato	8932	5062	844	1966	624	278	47	59	13	9	4	14	8	3	0	1
12 Guerrero	7719	4117	861	1779	533	268	36	77	29	3	4	7	2	2	1	0
13 Hidalgo	4596	1637	566	1603	441	220	30	53	22	8	3	11	1	1	0	0
14 Jalisco	11259	8123	1077	1434	252	151	44	73	43	23	12	18	4	3	1	1
15 México	4841	1171	428	1646	646	464	87	213	100	25	19	18	5	15	2	2
16 Michoacán	9686	5996	961	1789	459	251	49	100	41	17	2	12	6	2	1	0
17 Morelos	1341	730	156	250	52	51	17	39	24	7	6	5	1	3	0	0
18 Nayarit	2611	1879	158	323	113	79	15	21	12	4	3	3	0	1	0	0
19 Nuevo León	5726	4780	335	484	55	19	10	11	11	6	1	5	2	5	1	1
20 Oaxaca	10519	5005	1373	2920	685	319	58	88	44	13	3	7	3	1	0	0
21 Puebla	6556	2854	666	1749	586	369	72	146	68	20	6	14	4	1	0	1
22 Querétaro	2482	1320	273	574	141	97	19	40	11	2	1	2	1	0	1	0
23 Quintana Roo	2167	1834	57	153	67	33	3	9	5	1	1	1	1	2	0	0
24 San Luis Potosí	7305	4466	699	1595	351	119	21	24	16	6	0	4	1	2	1	0
25 Sinaloa	6263	4034	529	1131	306	153	24	49	19	7	0	6	2	2	1	0
26 Sonora	8110	7104	234	521	121	63	6	27	16	3	0	8	3	3	1	0
27 Tabasco	2605	856	146	925	352	206	28	56	20	4	3	7	1	1	0	0
28 Tamaulipas	8826	7524	348	761	95	43	9	18	11	4	1	3	3	6	0	0
29 Tlaxcala	1245	861	54	111	66	54	18	42	21	8	2	7	1	0	0	0
30 Veracruz Llave	22032	14060	1669	4468	1078	409	73	148	55	22	10	30	2	8	0	0
31 Yucatán	3363	2748	102	243	83	77	23	49	23	3	2	9	0	0	1	0
32 Zacatecas	4882	3169	391	908	216	115	22	33	11	7	4	3	2	1	0	0

Fuente INEGI 2000 (actualizado 2004) INEGI - XII Censo General de Población y Vivienda 2000

Haciendo un balance de esto y de lo visto anteriormente, con el consumo de agua en México y los sistemas de tratamiento tenemos que menos del 10% del agua utilizada es tratada. Además de se tiene un mayor numero de localidades y un menor numero de plantas de tratamiento

En México los sistemas más utilizados de tratamiento de agua residual domestica se presentan en la Figura 6, así como el porcentaje del agua tratada con cada uno de estos. El cual es apenas el 10% del tratamiento del agua residual domestica en el país.



Conforme a las plantas de tratamiento de agua residual municipal, en operación.

Fuente: CNA, 2006

Figura 6. Sistemas de tratamiento de agua residual domestica en México

Como se pudo observar en la figura el tratamiento en México es muy escaso y considerando los antecedentes y la problemática del agua en la actualidad será de vital importancia, el desarrollar un sistema de tratamiento de aguas residuales para fraccionamientos o unidades habitacionales

2.6 ESTADO DE ARTE DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA PEQUEÑAS COMUNIDADES

Los sistemas de tratamiento de agua residual para pequeñas comunidades han tomado mayor énfasis en la actualidad, por esto la iniciativa privada a tomado la problemática del tratamiento y ha logrado implementar varios tipos de sistemas de tratamiento, que con la inversión de su capital, con la aplicación de su tecnología y basándose a estudios anteriores que ellos mismos realizan en sistemas convencionales; las empresas han diseñado diferentes sistemas, de tipo paquete, con diferentes procesos tanto físico-químicos como biológicos y mixtos, los cuales se presentan a continuación.

Es importante mencionar que la investigación se enfoco en todas las empresas que contaban con sistemas de tratamiento de agua residual en planta paquete, con poca capacidad y gastos menores al 1.0 L/s, destinadas principalmente a las comunidades descentralizadas, fraccionamientos y pequeñas comunidades, las cuales fueron omitidas por contar con sistemas y procesos los cuales no corresponden a la comparación que se pretende realizar; dichas empresas contaban con sistemas de lodos activado con aireación extendidas, lodos activados con oxidación total en sistema secuencial, tratamientos con inyección de oxígeno, con aplicación de encimas, con sistemas de coagulación - floculación, con proceso de sistema séptico. Es por esto que se tomo solo en cuenta las empresas con modelos y sistemas con tratamiento biológico avanzado, similares a lo que se pretende analizar y estudiar; tales como los sistemas con procesos biológicos a base de biopelículas adheridas.

2.6.1 GRUPO SEVERN TRENT PLC, de servicios ambientales, es el principal grupo de iniciativa privada de servicios ambientales que proporciona servicios de agua potable, basura y de agua residual; en Reino Unido, Estados Unidos de América y Europa.

Para el caso de la investigación se revisaran solo los servicios y productos de agua residual, tales como:

Filtros biológicos y tratamiento de aguas residuales SEVERN TRENT

La biofiltración es una tecnología biológica avanzada del tratamiento de aguas residuales usadas en los últimos años. Los sistemas biológicos utilizan los microorganismos que consumen y destruyen compuestos orgánicos como fuente del alimento.

SEVERN TRENT tiene en oferta filtros y sistemas de tratamiento biológicos de aguas residuales, teniendo como mayor resultado la remoción de la DBO, del amonio, de sólidos suspendidos y del nitrato-nitrógeno. Las ventajas principales de sus sistemas son que permite un tratamiento de las aguas residuales con nitrógeno, que en un sistema convencional no puede ser permitido. También permite una reducción significativa de lodos y que puede bajar perceptiblemente el costo de un sistema.

Sistemas BioReactor SEVERN TRENT

En el tratamiento biológico aerobio, los microorganismos utilizan el componente orgánico de la materia orgánica con oxígeno, que produce crecimiento de la célula y productos finales del bióxido de carbono y del agua. El más popular es el proceso del lodo activado, que se utiliza comúnmente en usos de las aguas residuales. Este proceso proporciona el efluente de la alta calidad y es capaz perceptiblemente de reducir DBO. El proceso bacteriano oxida lo soluble y los orgánicos suspendidos a bióxido de carbono y a agua en la presencia del oxígeno. El material orgánico se convierte en las nuevas células o se utiliza para apoyar el crecimiento de las células existentes. El exceso de células se convierte en sólidos.

Para proporcionar uno de los sistemas de tratamiento biológicos aerobios más avanzados, los mejores elementos del lodo activado (crecimiento suspendido) y del filtro de goteo (película unida de crecimiento fijo) se combinan en un sistema de tratamiento. Sin embargo, el sistema funciona predominante como un sistema de la película-fija donde los microorganismos se unen a la superficie de los medios y los espacios entre los gránulos de los medios también sirven como áreas para el crecimiento suspendido de la biomasa, dando por resultado un aumento significativo en la concentración total del microorganismo. Además, el tiempo de retención disminuye mientras que el tiempo de la retención de los sólidos dentro del sistema aumenta.

Los sistemas BioReactor SEVERN TRENT son:

ColOX™

El sistema de ColOX es un sistema de tratamiento biológico aerobio avanzado que combina los mejores elementos de los procesos del sistema de lodos activados (crecimiento suspendido) y de los del filtro de goteo (crecimiento de biopelícula adherida) con las características del diseño innovadoras para alcanzar funcionamiento superior. Configurado como reactor embalado de lecho sumergido, el sistema de ColOX utiliza la película fija y biomasa suspendida del crecimiento, para mayor eficacia de ofrecimiento, confiabilidad operacional y flexibilidad, que cualquier otro proceso biológico aerobio del tratamiento. La Figura 7 muestra un sistema ColOX en operación. En el cual su empaque son láminas de plástico de polietileno de alta densidad, apiladas en forma horizontal entre las 3 y 6 pulg.



Figura 7. Planta paquete ColOX

Ventajas Dominantes:

Nitrifica el nitrógeno amoniacal
Mayor remoción de la DBO
Remueve los sólidos suspendidos y
Oxida los complejos orgánicos
Reducción del equipo y de espacio

Filtopack™

El FILTOPACK™ es un sistema fabricado que trabaja por gravedad que consiste en dos o más celdas de filtración, soplador de turbulencia, bomba de agua para mezcla, bomba de recirculación y panel de control. La Figura 8 muestra lo compacta que puede ser esta unidad, que es fábrica, montada y probada para asegurar un arranque y una comprobación lisos después de la instalación.



Figura 8. Planta paquete Filtopack

Las ventajas dominantes

Capacidades hasta 1200 L/min. (600 GPM)

Áreas de la filtración hasta 200 pie².

Especial para centros públicos

Ofrece un sistema del acero especial, inoxidable diseñado para distribuir el aire y el agua uniformemente sobre el área entera de la capa filtrante durante el ciclo de mezclado sin la necesidad de inyectores o de pantallas. Este sistema de de placas de acero van colocadas diagonalmente y son multiperforadas.

Sistema De Denite ®

Los medios especialmente clasificados y formados usados en los reactores biológicos de tratamiento de agua residual de película fija son una ayuda excelente para los organismos desnitrificantes, y el ambiente de lecho profundo conducente al retiro muy eficiente del nitrato-nitrógeno ($\text{NO}_3\text{-N}$).

Este sistema funciona a contra flujo. Esto mantiene el buen retiro de los sólidos suspendido, y evita la necesidad de clarificadores o filtros que pulan el efluente.

Los sistemas de Denite®, para el proceso de la desnitrificación y el proceso de la filtración se combinan en un solo sistema y proveen de un mejor de proceso muy superior.

Ventajas Dominantes:

Filtro combinado del bioreactor y del efluente en una unidad.

Remueve simultáneamente los sólidos suspendidos totales (TSS) y $\text{NO}_3\text{-N}$

Extremadamente rentable en modo que pule cuando está junto con los sistemas de nutrientes biológicos del retiro (BNR).

Flexibilidad magnífica en descarga en agua superficial y para reutilización.

Capaz de dar 1ppm de $\text{NO}_3\text{-N}$ y límites totales o menos del nitrógeno de los 3ppm (NT).

Ningún problema con < 2 NTU o los < 5 ppm (TSS).

Sistema TETRA SAF

TETRA SAF el filtro sumergido aireado es un reactor biológico para la oxidación de la DBO y del amonio. En el proceso del tratamiento de las aguas residuales con pre-aireación en el proceso se alimentan por el fondo del reactor y el aire y el agua fluyen hacia arriba con un lecho de medios.

Los microorganismos crecen en los medios y biológicamente quitan componentes indeseables en las aguas residuales. La Figura 9 muestra el sistema el cual es extremadamente tolerante de variaciones en los cargamentos biológicos.



Figura 9. Planta paquete TETRA SAF

Los medios son apoyados por el patentado Blocks™ y el aire de proceso se alimenta a través de un sistema lateral, construido del acero inoxidable. El sistema de la distribución de bajo dren y del aire es altamente eficaz en aire y agua que distribuyen. Sin piezas móviles y materiales de la construcción durables, asegurará muchos años de operación liberando de mantenimiento.

Debido a la operación simplificada, TETRA SAF requiere la mínima supervisión de proceso y de control. Esto alternadamente permite para que el costo reduzca los gastos de funcionamiento.

Para estos sistemas se cuenta con:

Medios filtrantes.

SEVERN TRENT mantiene los filtros de bajo flujo en las ofertas para los usos de las aguas residuales y del agua potable: el TETRA " U " Block™, TETRA " LP " Block™ y TETRA " T " Block™. Todos estos medios filtrantes tienen un diseño probado que proporcione la distribución superior para el agua y el aire, por separado o concurrentemente. Los TETRA filtros " U " y " LP " son populares para su construcción ligera, el fácil ensamble asegura un ajuste apretado, larga vida útil sin necesidad de mantenimientos y una adaptación fácil en un nuevo o viejo uso del diseño del filtro de bajo flujo.

Bloques de medio filtrante

Para usos en las aguas residuales o agua potable, **los Block™** es un diseño probado que proporcionará la distribución superior para el agua y el aire, por separado o concurrentemente. La Figura 10 muestra unos de estos medios filtrantes. El aire se distribuye uniformemente a través del área entera del fondo del filtro para fregar los medios, y para proporcionar una elevación de aire que, con el agua, quite los sólidos lanzados del filtro. Esta acción dual de la turbulencia proporciona energía que se lava intensa a través de la capa filtrante.



Figura 10. Bloques de medio filtrante

2.6.2 HUBER SOLUTIONS, dedicada al tratamiento de aguas residuales y la reutilización en forma descentralizada de nacionalidad Alemana.

La solución a los problemas de las aguas residuales descentralizadas de esta empresa se centró en la tecnología de membranas.

Para el tratamiento de las aguas residuales de áreas más grandes HUBER desarrolló el sistema de *Vacuum Rotation Membrane* (VRM®) - membranas de rotación, para las plantas de tratamiento pequeñas de aguas residuales el sistema de *Vacuum Upstream Membrane* (VUM®) - membranas de filtrado sumergidas. El sistemas la membrana conserva confiablemente todos los sólidos, bacterias y virtualmente todos los gérmenes, ya que el diámetro de las aberturas de la membrana es 1500 veces menor a 0.1mm. El agua tratada puede por lo tanto ser reutilizada.

Para zonas descentralizadas HUBER SOLUTIONS ha desarrollado las plantas y los sistemas de tratamiento de alto-funcionamiento como:

- HUBER MembraneClearBox® hasta para 8 personas
- HUBER MembraneClearBox® hasta para 150 personas
- HUBER BioMem® para superior a 500 personas

Los sistemas de HUBER MembraneClearBox® mostrados en la Figura 11 y de Huber BioMem® son productos eficientes que son perfectamente convenientes para el uso del tratamiento de aguas residuales descentralizadas. Los sistemas se pueden adaptar a los requisitos específicos del cliente.

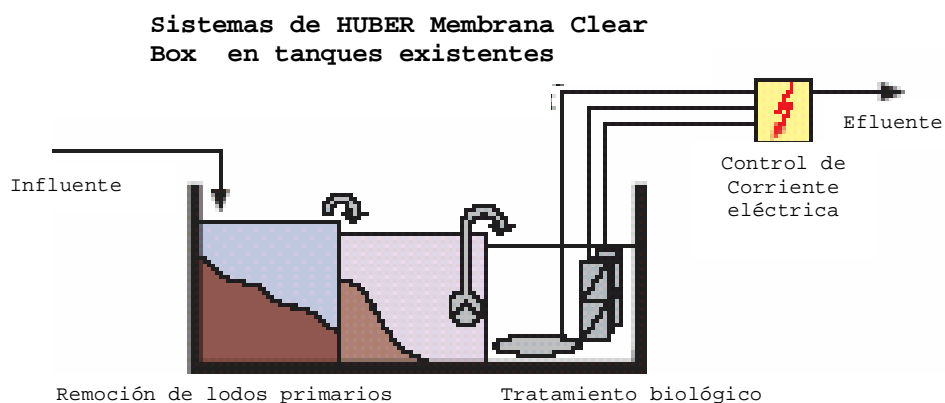


Figura 11. Sistemas de HUBER MembraneClearBox

HUBER MembraneClearBox®

Da solución a su equipo municipal de tratamiento existente, elimina el problema de las aguas residuales, da efluente sin bacterias y libre de gérmenes, en tanques séptico existentes reduce al mínimo el costo de construcción del alcantarillado.

Sus ventajas son:

Rápido y fácil montaje,
Instalación e iniciación en su operación,
Mejor diseño estético,
Logra reducir espacios,
Es compacta en sus dimensiones,
Diseño de libre espacio,

Solamente requiere el trabajo auto-verificador (las inspecciones de la vista, informe de las horas de la operación...)

HUBER BioMem®

Planta completa de Tratamiento de aguas residuales descentralizada, con sistema principal a base de membranas biológicas aereadas, mostrada en la Figura 12 para descargas de 50 a 500 residentes, ideal para los hoteles, zonas residenciales, efluente confiable de la calidad de los requisitos que prevalece por las normas, espacio mínimo específico, la demanda libremente de los sólidos, bacterias, gérmenes y es conveniente para la reutilización como conformidad de agua del servicio.



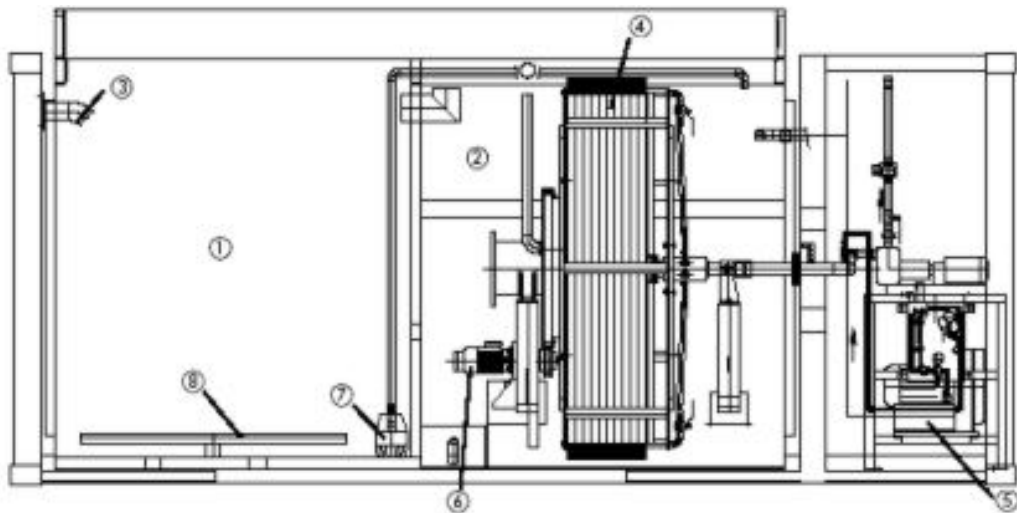
Figura 12. Sistemas de HUBER BioMem

Las ventajas del BioMem®

Diseño modular y compacto, combinación virtualmente ilimitada, unidades de filtración y aireación (tratamiento de aguas gris y negro), tratamiento de flujos pequeños de aguas residuales y utilización eficaces de los efluentes.

No tiene costos de construcción y disminuye el costo del alcantarillado, separación de lodos, eliminación de todas las bacterias y de virtualmente todos los gérmenes, reutilización del aguas residuales clarificadas como agua del servicio, agua de limpieza, agua que limpia con un chorro de agua del tocador o para la irrigación

Conveniente para la instalación subterránea opcional, en la Figura 13 se muestra el esquema de funcionalidad y del equipo utilizado.



1. Bioreactor
2. Compartimiento filtración
3. Entrada
4. Unidad de la membrana
5. Agregados (soplador, bombas, etc.)
6. Unidad de impulsión
7. Bomba de circulación
8. Aireación

Figura 13. Esquema del HUBER BioMem

El sistema de HUBER BioMem® es conveniente para muchos usos:

En el tratamiento de las aguas residuales de municipios pequeños, de áreas residenciales o de ciudades sin red de alcantarillado cerca, en plantas de tratamiento de aguas residuales de hoteles, en lugares sistemas de alcantarilla, el tratamiento de aguas residuales para el distritos individuales que descentralizó la circulación del agua y los usos numerosos de los propósitos de la filtración separan el tratamiento de aguas gris y negras.

HUBER VRM®

La introducción del sistema de la membrana de la rotación del vacío (VRM®). HUBER SOLUTIONS ahora provee también el equipo para los tanques de aireación. Las unidades de VRM® están instaladas directamente en el tanque de aireación o el tanque separado de la filtración y separan las aguas residuales clarificadas de lodo activado biológico. Como se muestra en la Figura 14, debido al tamaño bajo de la separación de 38 nm, todas las partículas, bacterias y gérmenes se conservan en el tanque de aireación y se descargan junto con exceso del lodo.

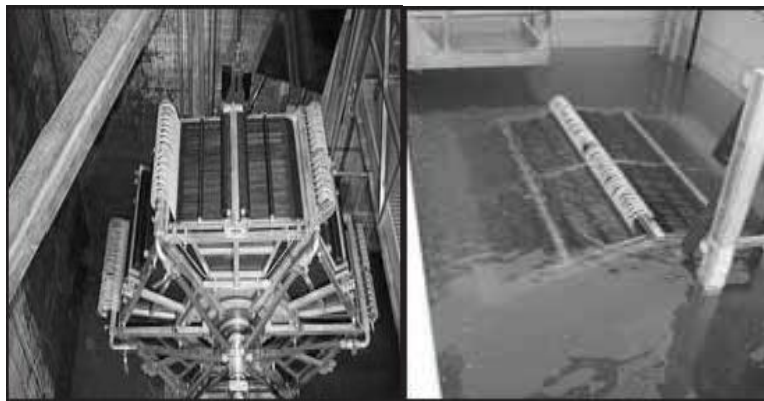


Figura 14. Sistemas de HUBER Unidad de VRM® (sin operar y operando)

Características especiales del sistema de VRM®: los resultados completos de la separación de la partícula, efluente excelente calidad, altas concentraciones de la biomasa activa permiten la reducción del tamaño del tanque de aireación por hasta 70 %, redujeron al mínimo la demanda energética para el retiro de las capas de la cubierta con la limpieza secuencial, las membranas que rotaba ninguna repercusión con detección o química requerido

la purificación empapada, reemplazo fáciles y rápidos de módulos defectuosos individuales

El sistema de HUBER VRM® pack, resuelve los parámetros requeridos por las normas y los resultados del flujo hidráulico son buenos en cualquier norma. En la Figura 15 se muestra un sistema paquete del HUBER VRM pack, el cual es similar al HUBER BioMem®

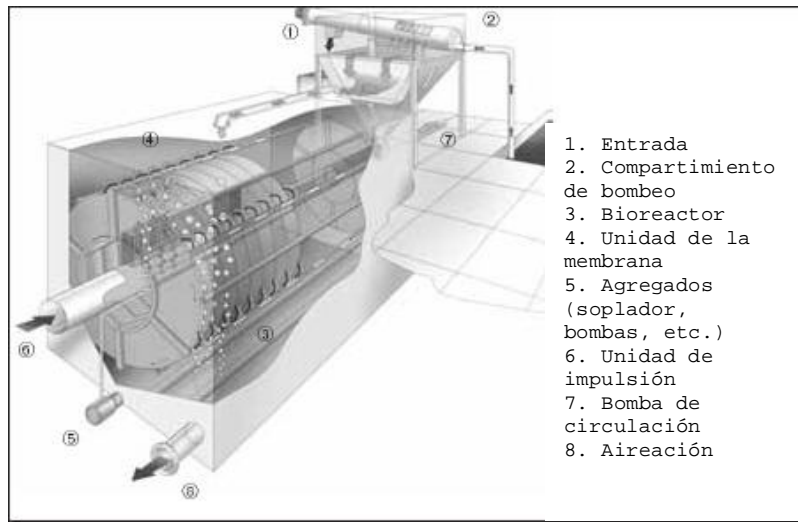


Figura 15. Diagrama de un sistema de HUBER VRM® pack

El sistema de HUBER BioMem® también es un sistema desarrollado de VRM® para los usos descentralizados y móviles. Combinado con una separación preliminar mecánica (por ejemplo HUBER MiniCop™ o HUBER RoMem™) y una unidad del tratamiento del lodo el sistema de BioMem® representa una planta de tratamiento pequeña completa de aguas residuales de 50 a 500 personas. Es una alternativa razonable especialmente para los estados alejados o las comunidades, las granjas solitarias, los hoteles o los distritos urbanos individuales, para los cuales de otra manera los nuevos y costosos sistemas de alcantarillado serían requeridos. El sistema permite también el reciclaje separado de los flujos materiales individuales - agua gris, agua negra y agua amarilla.

El corazón de cada planta de BioMem® es el bioreactor y el compartimiento de la filtración con las membranas sumergidas de VRM®. Las aguas residuales crudas pasan al principio una pantalla preliminar mecánica de 3 milímetros y fluyen entonces en el bioreactor donde los agentes contaminadores y los alimentos contenidos son descompuestos por el lodo activado.

2.6.3 WET & PURE TECHNOLOGY B.V. compañía de funcionamiento mundial (Holanda y Países Bajos), proporcionando productos que se relacionan con la tecnología del tratamiento de las aguas residuales domesticas.

Sus unidades biológicas patentadas el en tratamiento de aguas residuales tal como el BIOROCK, ideal para pequeñas comunidades.

Sin semejanza de todos los principios tradicionales de tratamiento, el concepto único de las unidades del paquete BIOROCK, no requiere ninguna componente eléctrica.

Los sistemas de BIOROCK

Una alternativa innovador al agua y gerencia y tratamiento domésticos de las aguas residuales.

Los SISTEMAS del PAQUETE de BIOROCK.- los sistemas del paquete de BIOROCK son unidades biológicas del tratamiento de aguas residuales. La tecnología del tratamiento realiza los principios de una separación previa combinada y una filtración biológica aerobia de la etapa doble.

Consecuentemente, los efluentes tratados de sistemas del paquete de BIOROCK se pueden descargar a los ríos, lagos, infiltrar o reutilizar para las necesidades de la irrigación o el cultivar un huerto o jardín. Los efluentes tratados resolverán las regulaciones y las normas más altas de la calidad de la descarga y de la reutilización efluentes del agua.

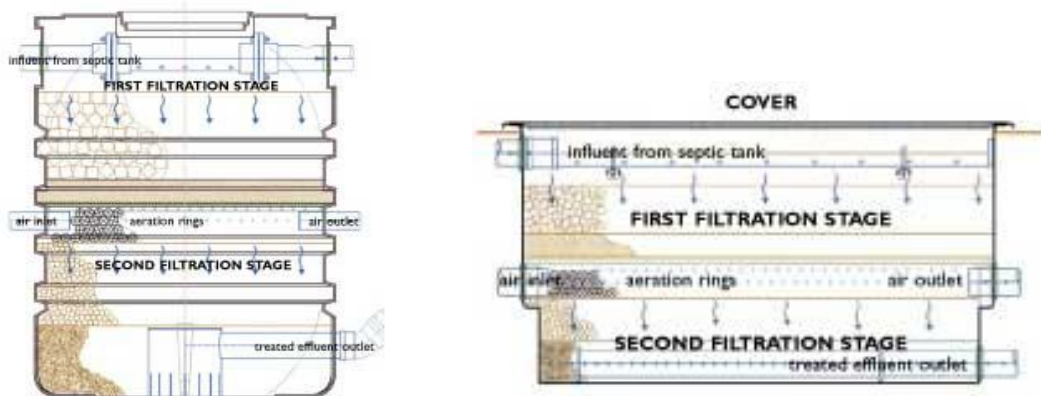
Las unidades de BIOROCK son unidades paquete para las casas pequeñas y para grupo de casas, el concepto modular permite al usuario del extremo aumentar la capacidad del sistema proporcional; el principio del tratamiento es único en la comparación a todas las técnicas tradicionales, no usa electricidad, los medios filtrantes son un material de piedra natural procesado y de fibra que permiten a las unidades realizar sus funciones en condiciones de variables cargas altas o bajas del influente; de este sistema se derivan los siguientes modelos.

Las unidades de BIOROCK-BIOGEM son sistemas domésticos compactos de las aguas residuales diseñados para tratar efluentes de oficinas más grandes, los centros recreativos, público o las instalaciones comerciales, las comunidades pequeñas y las aldeas extendiéndose a partir de 30 hasta 500 habitantes.

El sistema de BIOGEM es un biofiltro avanzado del concepto modular con la mejor integración en sitio, espacio mínimo de la instalación y los requisitos operacionales y de mantenimiento bajos.

La unidad de BIOROCK-BIOPOLISHER se puede instalar río abajo la planta existente de las aguas residuales y mejorará el efluente de la calidad del agua a los requisitos deseados. La operación y el mantenimiento de proceso serán asegurados. El sistema de BIOPOLISHER es una unidad biológica aerobio paquete de filtración de una sola etapa y se puede, también, instalar río abajo con facilidad para asegurar una calidad excelente del efluente, para la reutilización del agua, la infiltración o las necesidades de la irrigación.

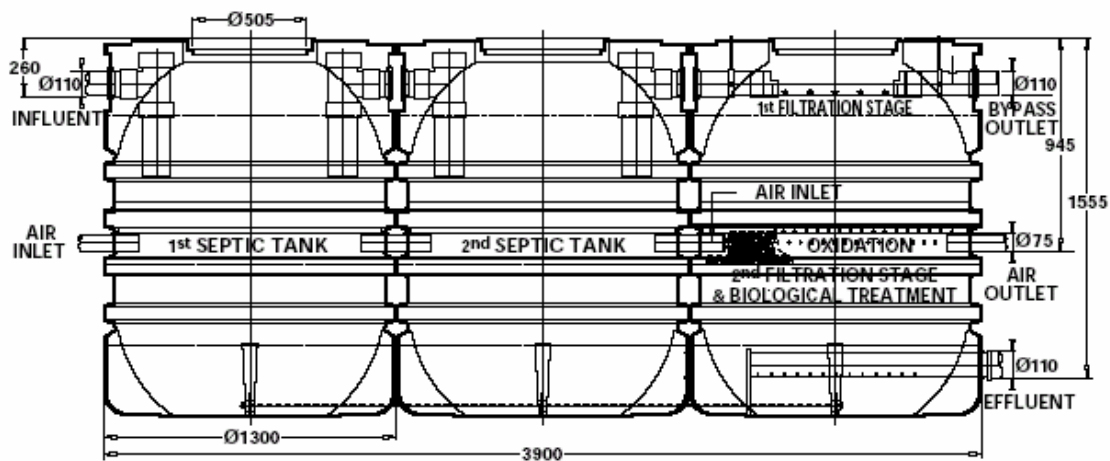
En las figuras siguientes se muestra las diferentes modalidades del sistema BIOROCK, las cuales pueden ser como el la Figura 16 a) y b); de forma individual o como el la Figura 17 de forma agrupada dependiendo de las necesidades del agua de reuso.



a) BIOROCK cilíndrico

b) BIOROCK rectangular

Figura 16. Sistemas BIOROCK individuales



Agrupación para dar mayores soluciones

Figura 17. Sistemas BIOROCK agrupados

En la figura anterior se muestra una agrupación esta es una planta de tratamiento biológica de aguas residuales paquete desarrollada para resolver requisitos ambientales terminantes en la remoción del nitrógeno (todo bajo el mismo principio). La unidad de BIO-N consiste en un tanque que coloca primario, un tanque biológico aireado y un clarificador final con una post-filtración integrada. El BIO-N requiere la fuente de alimentación para la aireación y la recirculación del lodo. Las unidades de BIO-N se hacen de 3 tanques del polietileno.

BIOROCK desarrolló una gerencia de las aguas residuales (insitu) del concepto y una reutilización domésticas integral del agua. El concepto de BIOROCK confía en una técnica biológica y de la filtración única para las aguas residuales domésticas, agua negra y gris y agua de lluvia de casas, de oficinas, de los centros de recreación, públicos o de las instalaciones comerciales. Las aguas residuales tratadas se pueden reutilizar para los varios propósitos.

2.6.4 HI-TECH ENVIRONMENTAL incorporada en 1984, se especializa en el diseño, fabricación, instalación y el servicio de equipos de agua y aguas residuales municipales y de la industria. Empresa internacional con productos de vanguardia en cuanto a plantas paquete de tratamiento de aguas residuales domesticas

Se enfoca es lograr beneficios y colocar sus equipos del tratamiento del agua y de aguas residuales en los municipios y principalmente en pequeñas comunidades.

La empresa HI-TECH ENVIRONMENTAL, internacional con sede en los estados unidos y radicando ya en varios países tiene la siguiente línea de productos.

La planta paquete de aguas residuales que producen, mostrada en la Figura 18 esta compuesta por su área de sedimentación seguida de una aeración extendida y una biofiltración de lecho móvil, con una zona de clarificación y desinfección.

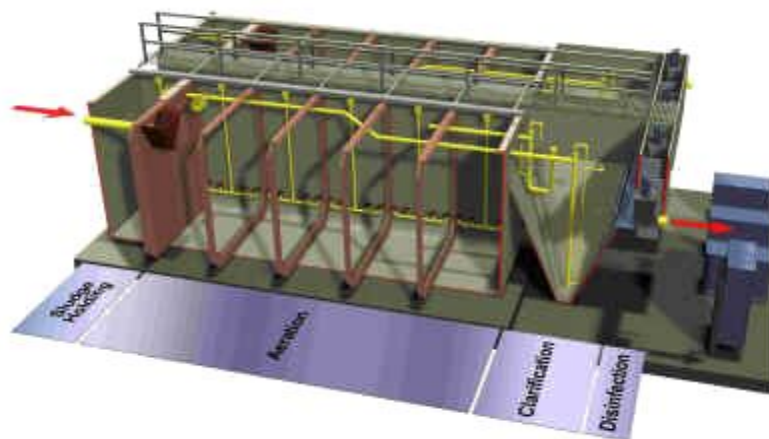


Figura 18. Planta Paquete HI-TECH

Esta planta paquete en su área de biofiltración cuenta con:

MEDIOS DEL FILTRO DE GOTEO DE HI-TECH POLY-PAK™

HI-TECH Environmental, Inc. ofrece una gama completa del embalaje del filtro de goteo. Todo el embalaje de HI-TECH se construye del material del polipropileno, el cual es fuerte, da un rápido bio-crecimiento de microorganismos, y no daña el medio ambiente. Los medios son disponibles en diferentes tipos estructurados. Su diversidad, permite a HI-TECH proporcionar las recomendaciones imparciales del bio-filtro para todos nuestros clientes.

Los medios HI-TECH ETAPAK® mostrados en la Figura 19 están disponibles en dos tamaños del área superficial. Los 120 proporciona 90 m² / m³, y los 210 proporciona a 180 m² / a m³. ambos medios tienen un área superficial por lo menos de 95%.



Figura 19. Medios filtrates HI-TECH ETAPAK®

Material del medio - homopolímero termoplástico, estabilizado completamente a la luz UV y químicamente inerte. El material es no tóxico a los microorganismos e inmune a la degradación fungicida o bacteriana.

En proceso - los medios de ETAPAK® se utilizan extensamente en los filtros solos o de dos fases de la alta tasa para el retiro hasta del 95% de DBO. Se utiliza a menudo en filtros de la primera etapa del desbaste donde está la sobrecarga o por debajo de su funcionamiento de la planta existente. El embalaje se satisface idealmente para el tratamiento de los efluentes altos en carga orgánica, aerobios o anaerobio en lechos profundos.

2.6.5 HYDROXYL SYSTEMS INC., es una compañía federal canadiense incorporada con las jefaturas situadas en Victoria, Colombia británico. Fue incorporada en 1993 y comenzó las operaciones que se especializaban en las soluciones avanzadas del tratamiento de aguas para los usos industriales, municipales, marinas, y domésticos principalmente en Norteamérica.

HYDROXYL ha terminado numerosas instalaciones de aguas residuales a través de América del norte y del sur, ha desarrollado capacidades extensas en el diseño, instalación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Los clientes industriales de HYDROXYL incluyen lo importante de la ingeniería, también tiene usos marinos de las aguas residuales de barcos trazadores de líneas y transbordadores; con sus tres principales departamentos divididos en Municipal, Industrial y Marino tiene una gama de productos y servicios extensos, dando nosotros importancia solo a su planta paquete de tratamiento de aguas residuales domésticas, mostrada en la Figura 20 en forma esquemática en su compartimentos y funcionalidad

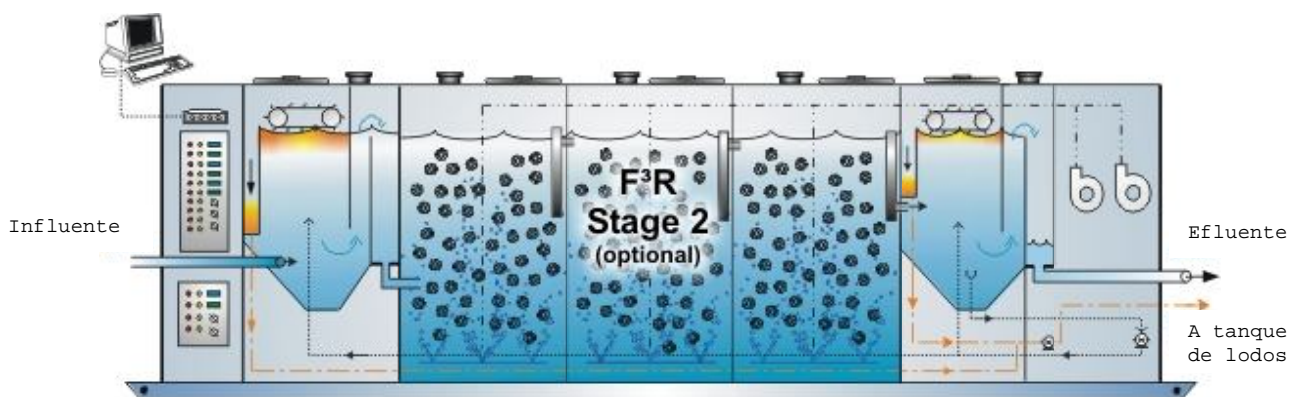


Figura 20. Sistema Modular Biológico de Tratamiento Hydroxyl

HYDROXYL construye los sistemas de tratamiento domésticos modulares transportables en paquete de las aguas residuales para una variedad de usos. Estos sistemas incorporan generalmente procesos múltiples incluyendo la oxidación biológica, avanzada, separación de los sólidos, y pueden incluir opcionalmente la filtración o la separación de la membrana.

Los sistemas HYDROXYL ofrecen las nuevas soluciones de tratamiento de las aguas residuales para las comunidades pequeñas incluyendo: La modificación de las plantas de tratamiento pequeñas de aguas residuales de la comunidad, de lodos activados existente se pueden convertir, aun sistemas de reactor Bach o aun sistemas más productivo de Hydroxyl-F³R o de Hydroxyl-F³RAS para más capacidad y funcionamiento, los sistemas de Hydroxyl-F³R de tratamiento modulares de las aguas residuales en Hydroxyl-MBS que proporcionan el tratamiento completo en un acuerdo a una caja altamente automatizada, tratamiento avanzado, pulimento y oxidación para crear la calidad efluente sin precedente conveniente para la capacidad y la flexibilidad únicas del tratamiento del uso Hydroxyl-MBS

Los sistemas HYDROXYL de tratamiento biológico modular de los sistemas en una unidad muy compacta. Combinando la tecnología HYDROXYL de la base para el tratamiento biológico así como el retiro suspendido de los sólidos, el Hydroxyl-MBS entrega muy baja DQO, DBO, retiro de los sólidos, control opcional de nutrientes, y la desinfección en un sistema completamente integrado.

Otros procesos (oxidación avanzada) se pueden incorporar según lo requerido para tratar contaminantes recalcitrantes y/o requisitos particulares del tratamiento. Para alcanzar alto rendimiento, los sistemas modulares emplean el proceso establecido de Hydroxyl-F³R (reactor fluidificado de película fija) para el tratamiento biológico. El componente de Hydroxyl-PFM (mecanismo positivo de la flotación) quita los sólidos suspendidos (grasas incluyendo, los aceites, y grasa) de la corriente de las aguas residuales. Ambos procesos se contienen dentro de un acuerdo, la unidad portátil, en contenedor que se puede instalar dentro de un edificio o externamente como sistema a prueba de mal tiempo. Cada sistema modular se construye con tanque y la tubería del acero inoxidable para la durabilidad (con otras opciones disponibles). La instalación se logra fácilmente y una vez en la operación, los sistemas completamente automatizados de Hydroxyl-MBS son baratos funcionar y proporcionar años del servicio confiable.

El proceso de Hydroxyl-F³R es un avance de la tecnología biológica aerobia conocida como lecho móvil (movingbed), la unidad del tratamiento tiene el crecimiento de microorganismos degradadores adheridos, el Hydroxyl-F³R emplea los medios de **Hydroxyl-Pac**, los cuales se muestran en la Figura 21, son elementos neutros flotantes los cuales serán el portador de la biopelícula, esto servirá para alcanzar una mayor productividad del retiro de DBO y DQO en un bioreactor compacto.

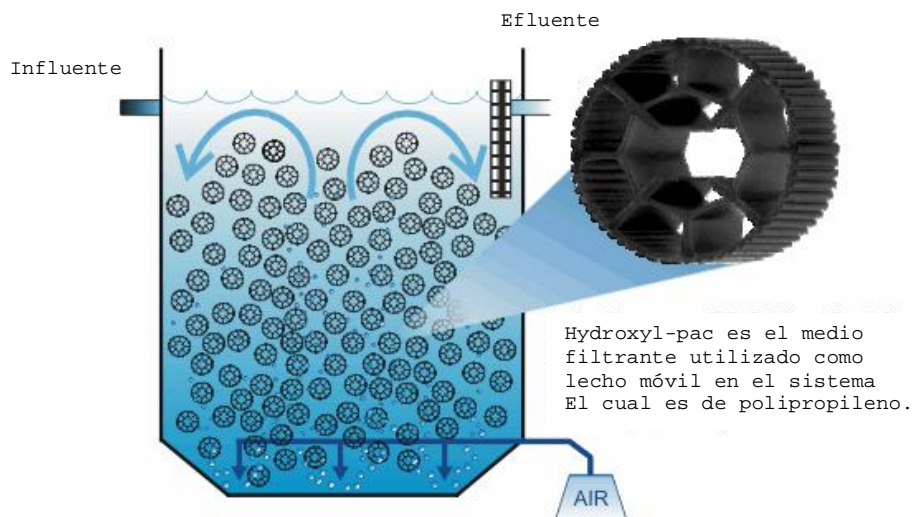


Figura 21. Medios filtrantes Hydroxyl-Pac

Los sistemas incluyen el Hydroxyl-MBS modular así como sistemas más grandes basados en tecnología biológica del tratamiento de Hydroxyl-F³R.

2.6.6 EEC GLOBAL OPERATION LLT y AMB Bio Media,

son un grupo que fabrica las plantas más finas en paquete para las aguas residuales industriales y domésticas. Esta planta seleccionada por militares Estadounidenses (2004) y algunas de las compañías más grandes de las aguas residuales alrededor del mundo

Con biofiltros o biomembranas completamente automáticos en el reactor que no se cambian o sustituyen. Resuelven cualesquier requisito de los efluentes, separación automática del lodo, operación extremadamente compacta y confiable, viene en contenedor, y los alista para ser funcionados.

EEC - PLANTAS DEL PAQUETE DE D.A.S.

La tecnología **Bio-Técnica de alta velocidad** de la biodegradación y de la sedimentación del **EEC de DAS (DYNAMIC AQUA SCIENCE INC.)** es único, debido a su modelo compacto y funcionamiento en la eficacia volumétrica. Estas tecnologías se combinan por ser prefabricado y estandariza el tanque con la longitud variable, conveniente para el transporte en módulos de carga. **Los sistemas son completamente automáticos**, como se muestra en la Figura 22, listos para ser operados.



Figura 22. Planta paquete EEC de D.A.S.

El reactor de la biodegradación viene con los varios compartimientos dependiendo de eficacia de remoción requerida.

Los birreactores están degradando la materia orgánica disuelta por la oxidación en el bióxido de carbono que se escapa al aire, y a la biomasa producida que actúan mientras como lodo activado. Un medio flotante suspendido libre portador del biopelícula está proporcionando una superficie grande, protege la biopelícula y está acumulando simultáneamente el biolodo activo dentro de los reactores.

El agua biodegradada está fluyendo en una etapa de la clarificación donde los sólidos suspendidos sedimentan por gravedad. El agua se dirige a través de una capa superior a un sistema de sedimentación, que proporcione la clarificación final del efluente para los sistemas de alta eficacia de la limpieza, EEC puede configurar sistemas del paquete para resolver sus requisitos exactos incluyendo retiro del amoníaco y de nutrientes esto se muestra en la Figura 23.

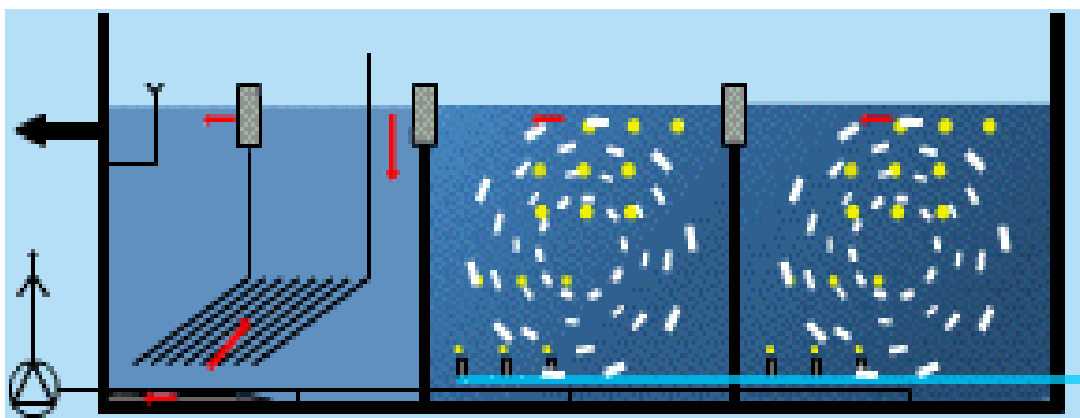


Figura 23. Esquema planta paquete EEC de DAS

LOS BIO MEDIOS DE AMB

Reduce STAR-P hasta 1/5 del tamaño. El tiempo de retención de 2-4 horas compararon a 20 horas. Los biomedios de AMB son de fácil manejo y limpieza. Ninguna recirculación de lodo, no turbulencia. Conforman las regulaciones de efluentes más últimas de una manera amistosa del presupuesto, aumente la eficiencia en las plantas existentes y mas rápido y eficiente es la remoción de la DBO, del AMONÍACO Y de los nutrientes sin la extensión del tanque.

El soporte plástico AMB Biomedio™, empleado en las plantas, se muestra en la Figura 24 y se presentan unas características óptimas para esta aplicación.

Material	Polietileno de alta densidad(HDPE)
Superficie específica total	850 m ² /m ³
Superficie específica efectiva	400 m ² /m ³
Diámetro	1.1 cm
Longitud	0.9 cm
Nº de aletas	25
Altura de las aletas	0.15 cm
Nº de cruces	3

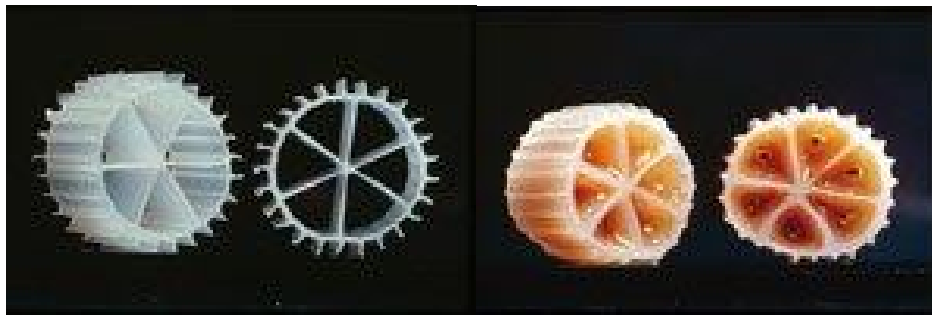


Figura 24. Esquema de AMB Biomedica, medios de soporte filtrante

Los estudios de investigación realizados con AMB Biomedica™ y la experiencia adquirida en plantas reales, junto con la ingeniería asociada a este soporte, hacen que los reactores de lecho móvil se diseñen de forma que garanticen los requerimientos de efluente exigidos.

AMB Biomedica™, cuya licencia a nivel europeo tiene ATM, pertenece al grupo americano **EEC**. En un futuro cercano, ATM dispondrá de agentes en países europeos que permitan ofertar plantas de tratamiento de lecho móvil con relleno plástico AMB Biomedica™ en el mercado europeo.

2.6.7 TECNOLOGÍA DELTA, S.A. de C.V., a través de su marca **ACS Medio Ambiente** ® es una empresa mexicana de Ingeniería Ambiental dedicada a resolver las necesidades de tratamiento de agua:

PLANTA PAQUETE DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Bajo el principio de aireación extendida, el equipo proporciona suficiente oxígeno y nutrientes para brindar "condiciones ideales" que desarrollan colonias de bacterias y microorganismos que al multiplicarse, destruyen los contaminantes biológicos que viven en el agua.



Figura 25. Planta Paquete de tratamiento Biológico ACS

El equipo puede ser usado en cualquier parte donde se producen desechos biológicos, y la descarga sea a instalaciones municipales (como alcantarillado, fosas sépticas, etc.) o en ríos, mares, etc. Los ejemplos más comunes son: escuelas, fábricas, sanatorios, hoteles, restaurantes, conjuntos habitacionales, aeropuertos y ciudades principalmente. Pensando en las necesidades de desarrollo de nuestros clientes, este equipo puede expandirse sin límite y acoplarse al crecimiento de su empresa y/o necesidades. El diagrama de flujo se presenta en la Figura 26.

PLANTA PAQUETE ACS DIAGRAMA GENERAL DE FLUJO

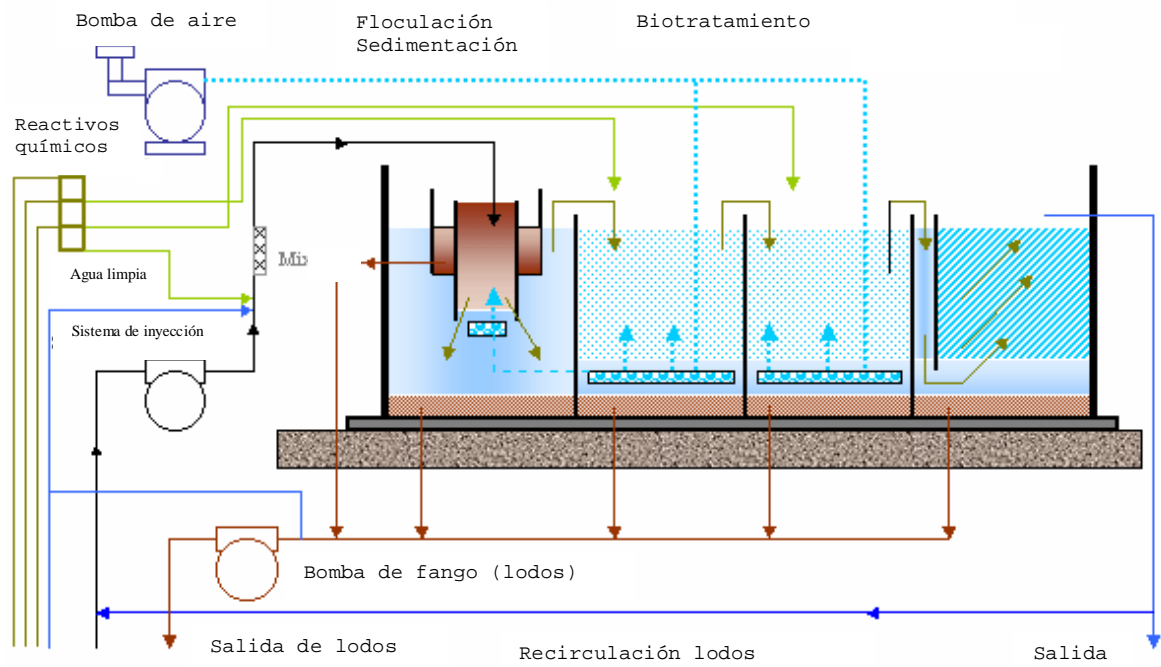


Figura 26. Diagrama de flujo de la Planta ACS

2.6.8 HIDROBIOTECNOLOGIA S.A. de C.V., tiene tecnología en plantas de tratamiento paquete, lo cual se ahorra tanto en la construcción como en mantenimiento. Sus plantas paquetes están conformadas por diferentes procesos y se adaptan a las características y caudales de determinada agua residual.

Su planta paquete de tratamiento de aguas residuales domesticas tiene el siguiente tren de tratamiento el cual se muestra en la Figura 27.

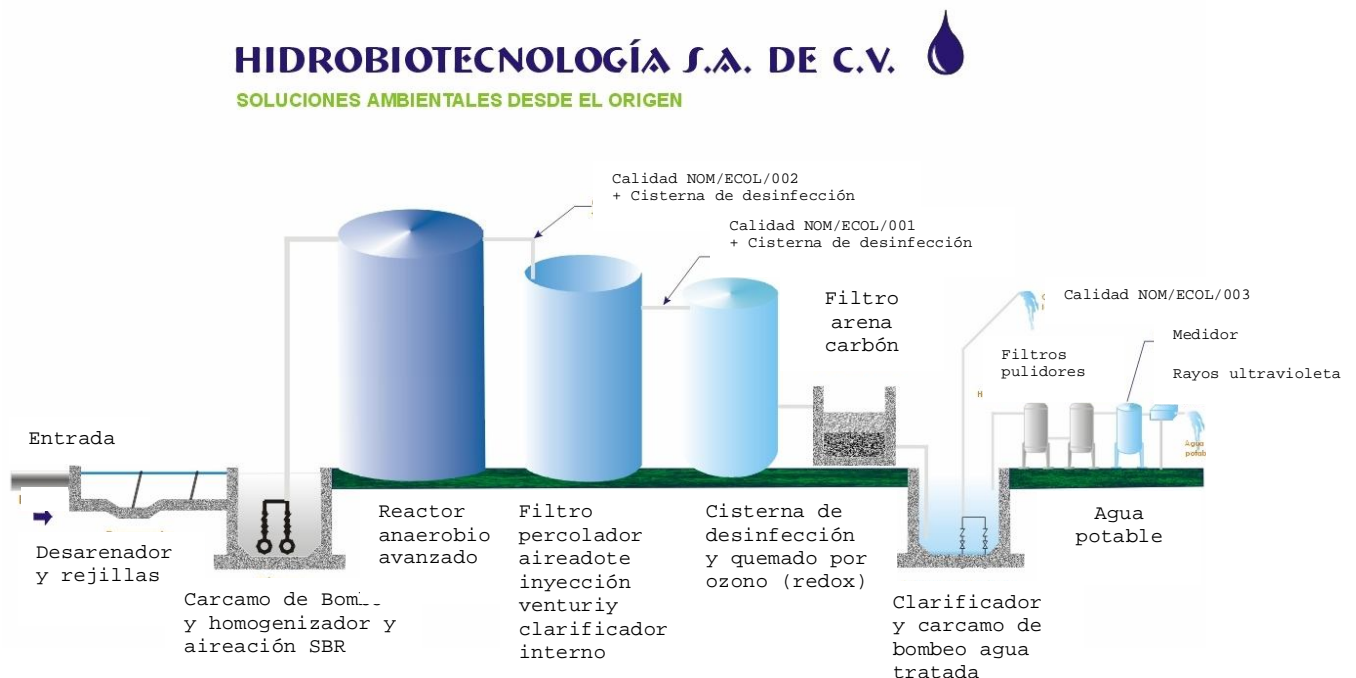


Figura 27. Tren de tratamiento del sistema biológico mixto de una planta paquete

Descripción del proceso:

Desarenador y retención de sólidos gruesos: En el se encuentran unos bastidores montados en canaletas deslizables a 45° de inclinación para atrapar los sólidos gruesos, el mantenimiento de este es manual. El diseño de este desarenador permite recolectar las arenillas y otros productos sólidos.

Carcamo de bombeo, homogenizador y aireador tipo SBR de agua residual: bombea el agua hacia el siguiente sistema de tratamiento; además de homogenizar y airear el agua residual mientras permanece en la etapa.

Reactor anaerobio empacado avanzado de flujo ascendente: La alimentación del agua cruda proveniente del carcamo entra por el fondo, con el fin de reaccionar con el lecho de lodos anaerobios, principalmente bacterias metanogénicas encargadas de la degradación de la M.O., estas bacterias están fijadas en un empaque que tienen colocado internamente en el reactor y su función es el incrementar la superficie de contacto entre agua residual y las fijación bacteriana y por tanto da mayor remoción en cuanto a la carga orgánica. Este tipo de reacción da una producción de biogás (Metano 75%, Bióxido de carbono 20%, hidrogeno 3%, nitrógeno 1.9% y ácido sulfhídrico 0.1%) con variación en su parte proporcional de un 3%. El biogás es recolectado por campanas internas y es conducido a venteo directo por medio de un extractor atmosférico en caso que la producción de biogás no sea mucha y cuando la producción de biogás es buena (plantas de 10 lps) se procede a un lavado de biogás en agua para la eliminación del ácido sulfhídrico y de ahí sacar este gas para utilizarlo en las calderas, en las estufas de los comedores o en donde se requiera en vez del gas natural, (el gas natural es 90% de metano y el biogás tiene un promedio de un 75% de metano).

Filtro percolador aireado de inyección ventury: en la parte media del filtro percolador aireado esta colocada una bomba sumergible que transfiere agua a la parte alta del filtro y que con la ayuda de venturis atrapa aire de la atmósfera para luego ser conducido (aire y agua) a unos aspersores, la cual tienen la función de distribuir agua y aire en toda la superficie superior del filtro y esta acelerar la degradación de la carga orgánica que quedo del tratamiento anaerobio y es logrado por bacterias facultativas (Géneros Proteus, Pseudomonas). El medio filtrante es un material inerte polipropileno tipo **biodek** o **biofiltrante**, la capacidad de filtración es de 120 m² por m² de empaque, este medio filtrante es en donde se forma la biopelícula de bacterias facultativas y ellas son las encargadas de remover la M.O. materia orgánica que quedo del reactor anaerobio. El lodo del filtro (sedimento), se recircula interiormente con la ayuda de una bomba sumergible y cuando se satura la parte baja del filtro con lodo, este se transfiere al Reactor Anaerobio a través de un sistema de bypass. El agua tratada sale de la parte media del filtro percolador aireado por gravedad y clarificada a través de un serpentín vertical interno ya con las características descritas anteriormente. Las bombas son controladas por un panel de control, el agua tratada pasa por derrame al siguiente sistema de tratamiento.

- Hasta este proceso se cumple con la Norma NOM-002-SEMARNAT

Cisterna de desinfección por generación de ozono: Tiene la función de desinfectar el agua de bacterias patógenas para el ser humano como son bacterias, virus y protozoarios, se emplea el sistema el Ozono por cuatro razones que son:

- a) ser un oxidante, ya que al oxidar directamente las enzimas de la vida de las bacterias, virus u otro tipo de vida se aniquila completamente.
- b) al incrementar su granaje en cuanto a la producción de ozono de 3 a 5 mg/l se empieza a efectuar el proceso de Redox (oxido reducción) y por tanto se empieza a quemar la materia orgánica, principalmente los sólidos suspendidos que son un problema en la clarificación del agua.
- c) por ser floculante, ya que el ozono disocia y tienden a precipitarse y por tanto nos da una mayor claridad en el agua tratada actuando como un clarificador.
- d) por ser deodorizante, el ozono O_3 al formarse arrastra moléculas de oxígeno O_2 y se transforma en ozono por efecto corona a través de una corriente eléctrica y este como es un gas altamente inestable, ya que su vida media es de 30 a 45 segundos vuelve a su estado natural del que fue formado que en este caso fue oxígeno y por tanto se libera oxígeno al medio y produce un ambiente agradable y puro.

- Hasta este proceso se cumple con la Norma NOM-001-SEMARNAT

Filtro de arena y grava de concreto: Se lleva el pulimento (filtración de los sólidos suspendidos volátiles y sedimentables) ya que se retiene los sólidos productos del quemado del ozono. Este filtro cuenta con tres capas que son: Arena, grava y carbón activado este último retiene color y olor que pudiera pasar por las capas superiores y se hace como medida preventiva, en el filtro se deberá efectuar un retro lavado.

Carcamo de bombeo de agua tratada: La función es de bombear agua tratada hacia la cisterna de almacenamiento y por lo que cuenta con dos bombas sumergibles que trabajan alternadas.

- Hasta este proceso se cumple con la Norma NOM-003-SEMARNAT

Es importante mencionar que los tanques y reactores utilizados son de fibra de vidrio de alta resistencia y durabilidad, los cuales dependen en tamaño de las características y caudales del agua a tratar.

2.6.9 AGUAMARKET

AGUAMARKET Plantas de Tratamiento Compacta de Aguas Residuales

Las plantas de tratamiento de Aguas Residuales domesticas de tipo paquete de AGUAMARKET se componen básicamente de:

- ° Un compartimiento con dos cámaras, una de aeración y otra de sedimentación.
- ° Un sistema electromecánico formado por motores, sopladores y panel de control eléctrico.
- ° Un sistema de impulsión de aire compuesto por tubería de hierro galvanizado o PVC.
- ° Válvulas de unión y difusores de aire.
- ° Equipamiento adicional.

EL PROCESO DE TRATAMIENTO

Las Plantas de Tratamiento Compacta de Aguas Residuales funcionan bajo el principio conocido como "Aeración Extendida", tratando las Aguas Residuales mediante el proceso biológico de "Digestión aeróbica".

Planta Paquete Tratamiento Aguas Residuales

Planta paquete de tratamiento biológico de aguas residuales, que combina los sistemas biológicos de película fija y lodos activados en uno solo, la Figura 28 muestra la forma física del sistema; en la cual se puede apreciar lo compacta que es.

El equipo cuenta con un sedimentador primario, reactor biológico, clarificador, clorador de pastillas y tanque de contacto, todo en el mismo paquete. Operación totalmente automática y silenciosa, la planta esta totalmente cubierta y puede ser instalada a nivel de piso o por debajo del nivel. Alta eficiencia de remoción de

contaminantes con lo cual cumple con cualquier las normas de descargas vigentes.

Estas plantas de tratamiento con calidad probada y certificadas por la NSF (USA) Standard 40. Estas plantas son uno de los productos más conocidos y recomendados por proyectistas de alcantarillado, porque proporcionan una solución económica y eficiente para viviendas y condominios en lagos, parcelas o localidades sin alcantarillado público.

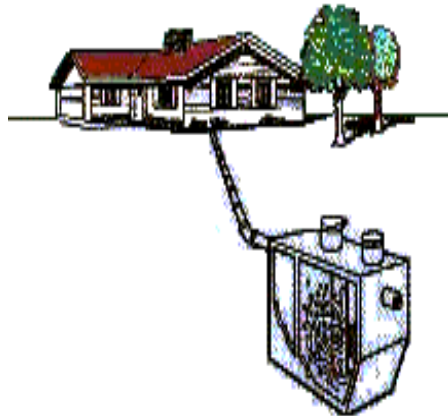


Figura 28. Ubicación de una PTAR Tipo Planta paquete

Fabricadas con tanques de poliéster con fibra de vidrio reforzada, aún cuando, también es posible construirlas en concreto armado.

2.6.10 [ASA](#) AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL (ASA), presente en el mercado Mexicano desde 1986 y con oficinas y Planta de Fabricación de módulos de concreto en la Ciudad de Guadalajara, es distribuidor con licencia de las Plantas Compactas de Tratamiento de Aguas Residuales JET desde 1992.

Planta Doméstica ASA-JET SERIE 1500

La Planta de tratamiento ASA-JET SERIE 1500, para tratamiento de aguas residuales, cuenta con 6 modelos o tamaños: 500, 600, 750, 1000, 1250 y 1500 Galones por día (GPD). Figura 29, es un sistema para control de la contaminación de cuidadosa ingeniería y excelencia en tecnología actual, aplicada a plantas domésticas para control de la contaminación.

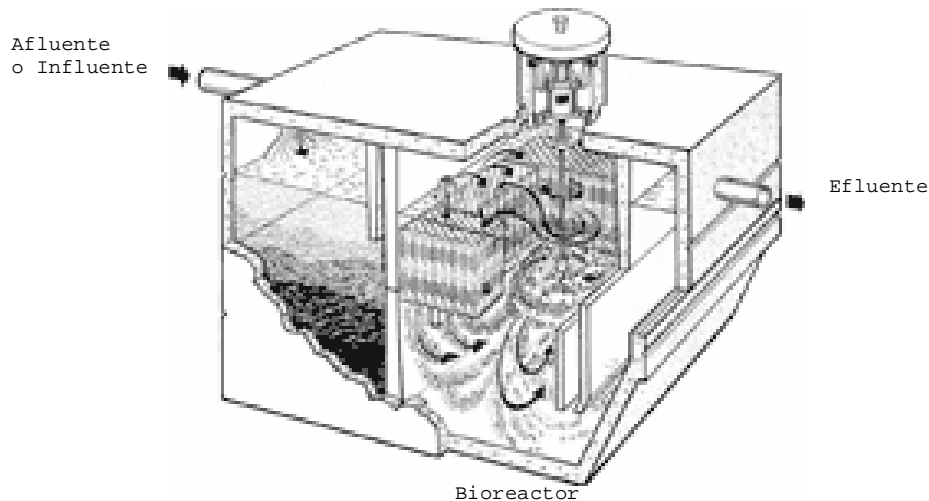


Figura 29. Planta Paquete de tratamiento de agua doméstica modelo ASA-JET SERIE 1500

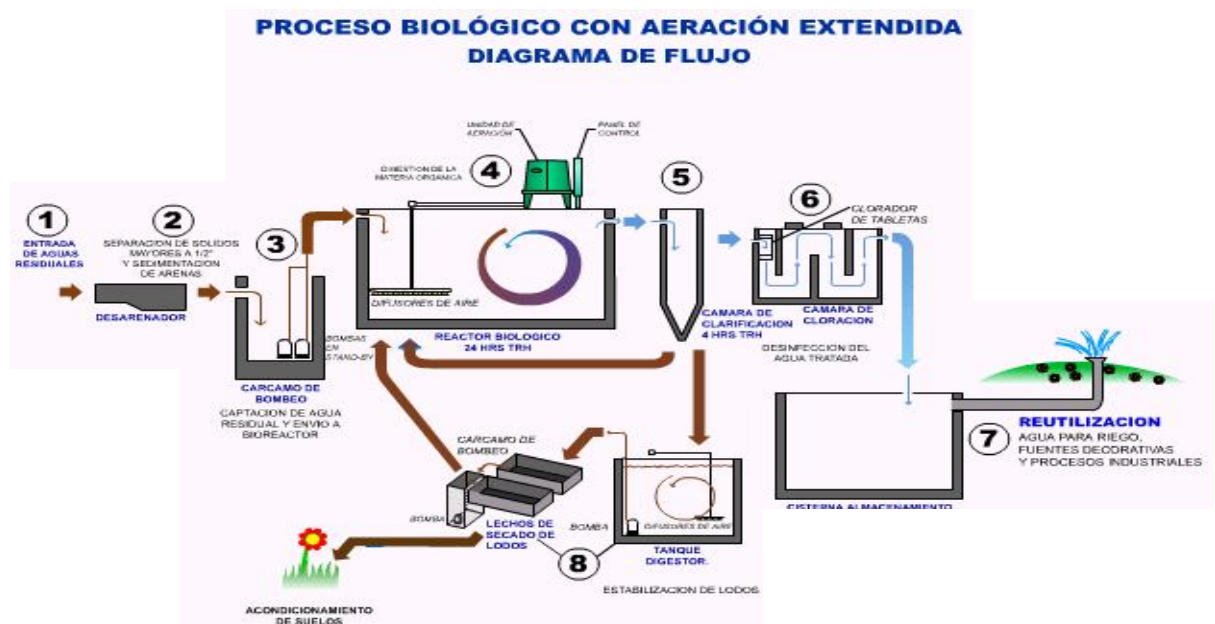
Esta Planta de tratamiento emplea básicamente el sofisticado **proceso bioquímico "Bat"** en el cual las bacterias aerobias usando oxígeno en solución, rompen y oxidan los desechos del agua residual doméstica. Este proceso llamado digestión aerobia, también es usado en grandes plantas comerciales y municipales.

El diseño básico de la planta Jet incorpora **tres compartimientos separados**:

- El compartimiento de **pretratamiento** recibe los desechos domésticos y los mantiene lo suficiente, para permitir que la materia sólida se sedimente hacia el estrato de los lodos en el fondo, aquí la acción y las bacterias anaerobias continuamente rompen los sólidos de las aguas residuales.
- El compartimiento de **aireación técnicamente llamado "Bio-reactor"** donde la materia finalmente dividida y pretratada proveniente del primer compartimiento es mezclada con lodos activados y aireada. El **aireador Jet**, recircula y mezcla todo el contenido total, mientras inyecta grandes cantidades de oxígeno para cubrir la demanda en el proceso de digestión Aerobia llamado Jet-Bat (Bat = Biologically Accelerated Treatment). En este proceso un gran número de Microorganismo (Millones) llamados **"Biomasa"** se adhieren al medio empacado (**Media Biológica**) donde proveen un alto grado de subproductos (**Lodo Residual**) convirtiendo las aguas residuales en solo Biogás y líquidos claros libres de malos olores.

- El compartimiento de **sedimentación** donde tiene lugar la fase final del tratamiento, elimina la turbulencia proveniente de la mezcla de Aireación y provoca la sedimentación de cualquier material suspendido el cual regresa, a través de la parte inclinada del tanque, al compartimiento de Aireación para su tratamiento continuo. Solamente un efluente claro y sin olores es descargado a cuerpo receptor y/o a riego de áreas verdes.

En la Figura 30 se muestra el diagrama de flujo de un sistema de tratamiento de agua residual utilizando la planta Jet.



1.- Entrada de aguas residuales, 2.- Desarenador (separador de sólidos), 3.- Carcamo de bombeo, 4.- Reactor Biológico, 5.- Cámara de clarificación, 6.- Cámara de cloración, 7.- Reutilización (riego o fuentes), 8.- Tanque Digestor y lecho de secado de lodos.

Figura 30. Diagrama de flujo del proceso biológico con aeración extendida

2.6.11 DISCUSIÓN DEL ESTADO DE ARTE

Los resultados de la revisión del mercado de plantas paquete para tratamiento de aguas residuales en México se presenta en la tabla 17. se resaltan las ventajas y desventajas de los diferentes sistemas y en las observaciones se mencionan algunos detalles sobre las patentes utilizadas.

Tabla 17. Comparación de las empresas en estudio.

EMPRESAS	VENTAJAS	DESVENTAJA	OBSERVACIONES
GRUPO SEVERN TRENT PLC	Varios modelos con excelentes resultados de remoción.	Equipos muy sistematizados y de altos costos.	Sus medios filtrates son patentados y solo ellos los usan
HUBER SOLUTIONS	Puede usarse en sistemas existentes o nuevos.	Su sistema presenta alto costo.	Sistema de tecnología a base de biomenbranas
WET & PURE TECHNOLOGY B.V.	Es modular y no es sistematizado.	Para grandes flujos, grandes espacios	Es un buen sistema, el cual se pretende igualar y mejorar
HI-TECH ENVIRONMENTAL	Muy compacta con buenos resultados de remoción.	Equipos muy sistematizados y de altos costos.	Sus medios filtrates son patentados y solo ellos los usan
HYDROXYL SYSTEMS INC	Muy compacta con buenos resultados de remoción.	Equipos muy sistematizados utilización de mucho equipo	Sus medios filtrates son patentados y solo ellos los usan
EEC GLOBAL OPERATION LLT	Muy compacta con buenos resultados de remoción.	Equipos muy sistematizados y de altos costos	Sus medios filtrates son patentados y solo ellos los usan
TECNOLOGÍA DELTA, S.A. de C.V.,	Muy compacta con buenos resultados de remoción.	Equipos muy sistematizados utilización de mucho equipo y altos costos	Sus medios filtrates son patentados y solo ellos los usan
HIDROBIOTECNOLO GIA S.A. de C.V.,	Buenos resultados y adaptable a necesidades de reuso	Muy extensa y enormes volúmenes de tanques	Sus procesos son biológicos son aceptables el cual se pretende mejorar
AGUAMARKET	Muy compacta con buenos resultados de remoción.	No es modular	Sus medios filtrates son patentados y solo ellos los usan
AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL (ASA)	Muy compacta con buenos resultados de remoción.	Muy sistematizada con altos costos de operación	Sus medios filtrates son patentados y solo ellos los usan

Con la búsqueda realizada, resulta que los equipos existentes en el mercado son complejos en su operación, además de que su sistema biológico el cual es de importancia, no puede ser utilizado, ya que estos están patentados; en su proceso, en su modelo o en sus productos del material filtrante. Algunos de los sistemas representan una simple reducción en escala pequeña de plantas de tratamiento convencionales. Otros adicionan procesos avanzados para mejorar la calidad del efluente. Todos los sistemas tienen costos elevados, sobre todo cuando se usan materiales filtrantes patentados y de importación.

La revisión realizada indica la necesidad de desarrollar sistemas de tratamiento compactos y menos complejos, de bajo costo, operación y mantenimiento.

2.7 SISTEMAS DE BIOPELÍCULA FIJA

Como se vio en la revisión, en los sistemas de biofiltración la biomasa se encuentra adherida a la superficie del soporte, como ventaja presentan: bajo mantenimiento, rápida puesta en marcha, tolerancia a operar con cargas variables y discontinuas, y reducida producción de sólidos y sus inconvenientes son: sensibilidad frente a sustancias tóxicas, desprendimiento masivo, y atascamiento del lecho.

2.8 MEDIOS DE SOPORTE

Un medio de soporte con crecimiento biológico asistido que se mantiene fijo en él y además sea sumergido, en el medio se formara una capa de biomasa el cual tiene un espesor total comprendido entre 0.1 y 0.2 mm el cual esta formado de una subcapa aerobia y de otra anaerobia, tal como se presenta en la Figura 31.

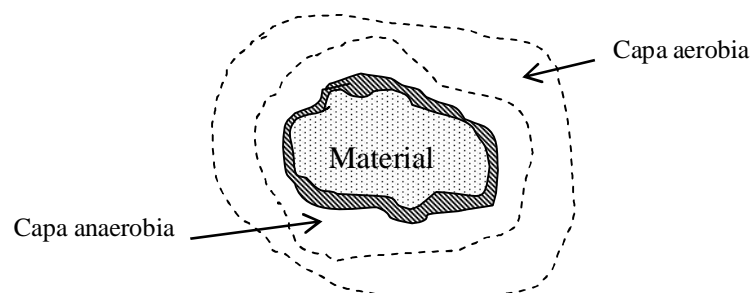


Figura 31. Esquemas de subcapas aerobias y anaerobias de un medio

Los tipos de materiales para conformar el lecho en los reactores con biopelícula, buscando principalmente que permita una rápida colonización de microorganismos degradadores. Los diferentes tipos de medio de soporte se pueden clasificar:

- *Medio granular irregular.*- arena, cuarzo, roca volcánica, (tezontle y otros); carbón, conchas de moluscos, piezas de plástico, piezas de corcho, piezas de madera, etc.
- *Medio granular uniforme.*- Anillos Rashig, tubos de plástico, anillos Pall, esferas, etc.
- Medio con forma de postes o lazos.- barras de madera, ramas de árbol, tiras, cintas, etc.
- Medio con forma de plato.- plato de madera, plástico, platos corrugado de plástico, etc.
- Medio con forma de bloque poroso.- tubos porosos de plástico, tubos de panal, cubos tipo esponja, etc.

Características considerablemente requeridas para un medio de empaque:

- Grado apropiado de fijación de la película biológica
- Alta área superficial específica y alta porosidad
- Estabilidad química y biológica
- Resistencia mecánica
- Bajo precio
- Facilidad de fabricación y transportación
- Durabilidad
- Homogeneidad

2.9.- NORMATIVIDAD REFERENTE A DESCARGAS, REUSO Y LODOS DE LAS AGUAS RESIDUALES.

La ley de aguas nacionales así como la Ley general del equilibrio ecológico y protección al ambiente, en sus textos son muy claros en cuanto a la utilización consumo u sobre todo a la protección y de su disponibilidad sustentable, la cual tiene que ver con su saneamiento y reutilización, en México el tratamiento de las aguas residuales esta normado.

El campo de aplicación y la legislación aplicable, será normado por:

AGUA RESIDUAL.

Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1997.

Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales

Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1997.

Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal

Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997.

Norma Oficial Mexicana NOM-003- SEMARNAT -1997 que establece los limites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que sé reusen en servicios al público

Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002

Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección Ambiental.- lodos y biosólidos.-especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

Las Normas Oficiales Mexicanas, anteriormente solo normarán lo correspondiente a la parte del sistema de tratamiento correspondiente a cada una de ellas.

3.- METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Con base en el análisis del estado de arte y considerando las tecnologías de tratamiento de aguas residuales domesticas en modalidad Paquete, actualmente disponibles en México, se propone analizar y determinar experimentalmente la calidad del agua obtenida mediante un sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas, tipo biofiltro de flujo descendente con empaque sumergido, usando diferentes materiales para la inmovilización de la biomasa.

3.1 SISTEMA EXPERIMENTAL

Para el desarrollo del trabajo experimental se operan cuatro biofiltros a escala laboratorio de tipo continuo. El sistema experimental se presenta en la Figura 32. Cada reactor contiene diferente tipo de medio de soporte. Donde los materiales son naturales: granos de tezontle tamizado y esferas de cerámica (barro horneado). Los otros dos materiales son sintéticos, tiras de polietileno (sessil) ajustadas a un soporte central y cubos de poliuretano.

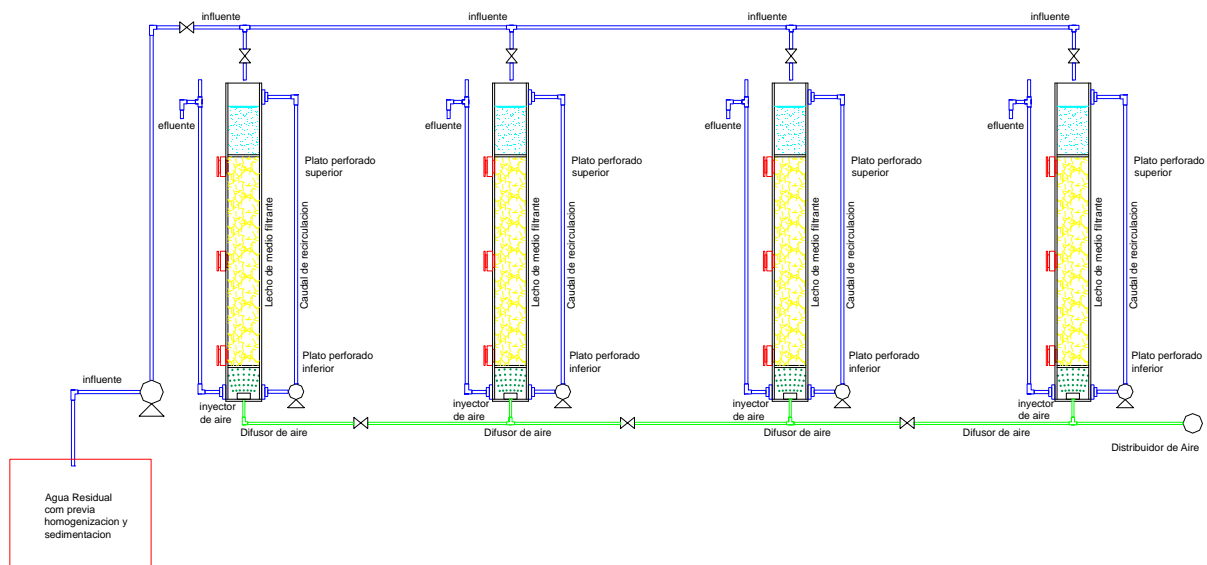


Figura 32. Esquema del sistema experimental

3.2 OBJETIVO DEL EXPERIMENTO

- Determinar la capacidad de remoción de cuatro biofiltros con diferentes medios de soporte y la posibilidad de obtener agua para reuso urbano.
- Seleccionar el mejor material de empaque.

3.3 DESCRIPCIÓN DEL REACTOR BIOLÓGICO

Para evaluar el proceso y determinar la eficiencia del mejor medio de soporte, se utilizaron reactores de acrílico transparente, cilíndricos de 1.50 m de altura y 0.15 m de diámetro, uno para cada medio de soporte, montados en una estructura fija. El volumen de cada uno de los reactores es de 20 L, con una altura de lecho de 1.00 m. por encima del lecho se encuentra un plato perforado para evitar la fuga de material, siguiendo de la zona de homogenización y de entrada de 0.25 m. en la parte superior del reactor, ahí se mezcla el efluente y de la recirculación; por debajo del lecho se encuentra el compartimiento de salida de 0.15 m. donde se instaló el difusor de aireación y las salidas del efluente y la recirculación.

El esquema del reactor se muestra en la Figura 33. La alimentación (influyente) es por la parte superior, manejada con válvulas, esto con la finalidad de variar su caudal y demás parámetros. El aire se suministra mediante un sistema con difusor de piedra porosa colocado en el fondo del reactor. Se cuenta con placas perforadas, una colocada en la parte inferior como soporte del lecho y otra en la parte superior, para retener el lecho filtrante. Por la parte inferior, la salida del efluente y a un costado sale una línea de recirculación para la cual se utiliza una bomba peristáltica de velocidad variable.

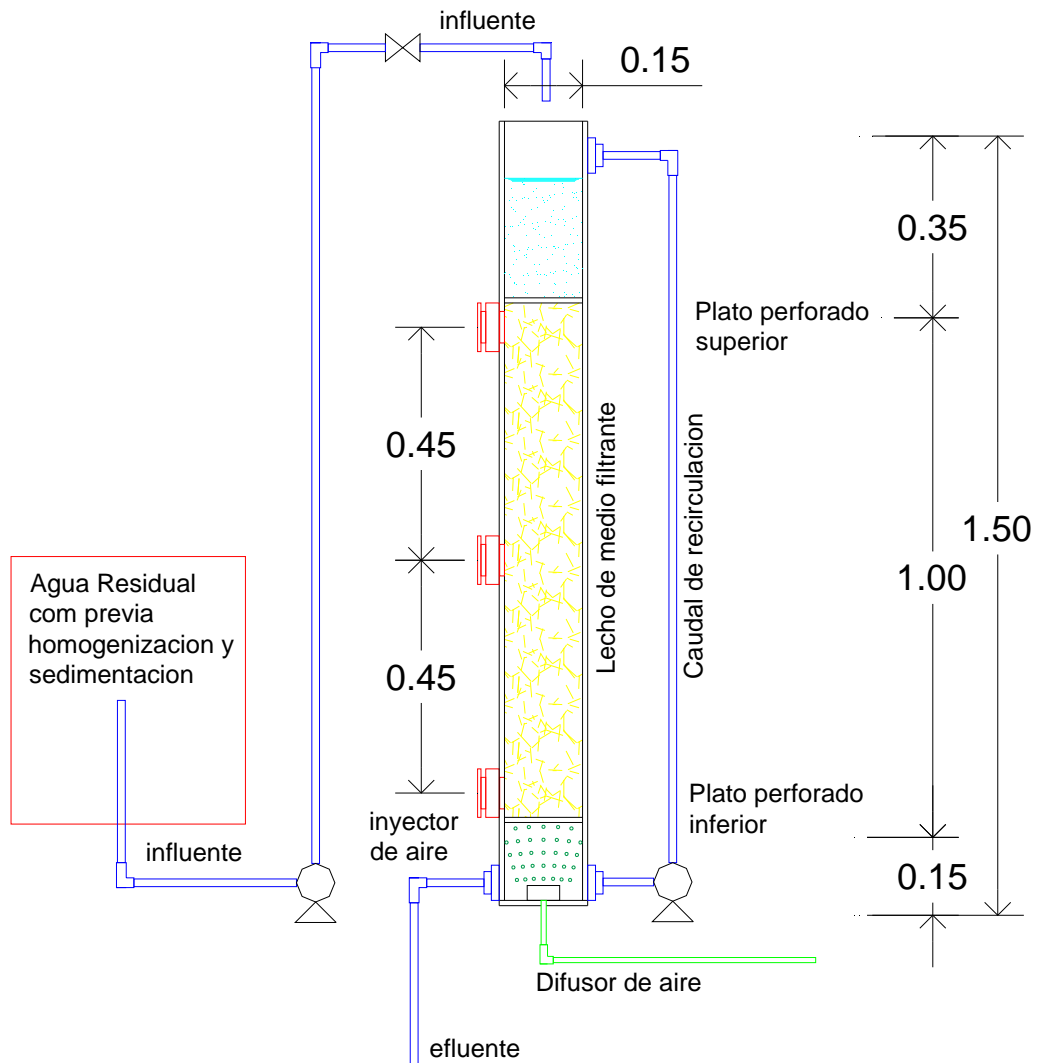


Figura 33. Reactor experimental

A lo largo del reactor se cuenta con tres válvulas de muestreo del lecho.

Para asegurar una mezcla concentración relativamente constante de los contaminantes dentro del influente al sistema, se almacena el agua residual en un tanque de homogenización del cual el agua es bombeada a los reactores. La recirculación se ha variado con respecto a los resultados que se van obteniendo en el experimento. Para esto, el equipo de bombeo se operaba de manera automática.

Equipamiento de los reactores.

1. Bombas peristálticas con ajuste de caudal para alimentar los reactores.

2. Bombas peristáltica para la recirculación del agua.

3. Dos placas perforadas por reactor para contener el lecho.

4. Difusores de cerámica de forma cilíndrica.

5. Alimentación de aire para el proceso y para retrolavar.

6. Alimentación de agua limpia para retrolavar.

7. Válvulas reguladoras de caudal de aire y válvulas reguladores de caudal de agua.

8. Medidores de Aire

9. Materiales diversos como mangueras, accesorios, válvulas, tortillería, etc.

3.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS MEDIOS DE SOPORTE DEL DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

3.4.1 Área superficial específica

El área superficial específica determina la cantidad de biopelícula que se puede adherir, es la característica directa del funcionamiento de los reactores con biopelícula. Si se tiene gran área superficial específica, se tiene la ventaja de que las partículas en suspensión colisionen con mayor facilidad con las partículas que conforman el lecho, logrando una mayor eficiencia en la remoción. Para determinar el área superficial específica se tomaron consideraciones particulares de forma, tamaño y porosidad de cada uno de los materiales utilizados. En el caso de los cubos de poliuretano se uso información proporcionada por el fabricante.

3.4.4 Tamaño efectivo

En el caso de los materiales sintéticos el tamaño ya viene estipulado por la compañía. Para los materiales naturales se determino en laboratorio; la cual consistió en colocar la muestra en el juego de mallas y agitar por 10 minutos, se efectúa el pesaje de los retenidos por las mallas y se determinan los acumulados. El tamaño efectivo se obtiene determinando el acumulado retenido correspondiente al 10% del material.

$$\text{Tamaño efectivo (Te)} = P_{10}; \quad P_{10} = \text{Percentil 10}$$

3.5 DESCRIPCIÓN DE LOS MEDIOS FILTRANTES UTILIZADOS EN EL EXPERIMENTO

Para la realización del experimento se usan 4 tipos de materiales.

3.5.1 MATERIALES NATURALES.

A) TEZONTLE

El tezontle es un material pétreo, de origen volcánico y tiene características apropiadas para medio filtrante ya que tiene una alta porosidad mayor a 50% y alta área específica alrededor de los 1000 m²/m³, la cual lo hace adecuado para la fijación de microorganismos. Al ser un material inorgánico de origen volcánico, tiene la característica de ser estable química y biológicamente, con alta resistencia y durabilidad. Al ser abundante, lo hace de bajo costo. En la Figura 34 se muestra el tipo de tezontle a utilizar en el estudio.



Figura 34. Tezontle rojo

Para el experimento se utilizó tezontle rojo en forma granular, de 4 mm de diámetro, el cual fue cribado para la obtención de su diámetro efectivo.

B) ARCILLA MANUFACTURADA

Otro medio filtrante a utilizar fueron esferas de cerámica de arcilla, las cuales tuvieron un proceso de manufacturación propio. Una vez elaborada la mezcla de arcilla y agua, (ver anexo 1) se elaboraron pequeñas esferas de 4 mm de diámetro, las cuales fueron posteriormente horneadas a 900°C, similar al proceso de cerámica, En la Figura 35 se presenta este material.



Figura 35. Esferas de Cerámica

Características de los materiales filtrantes naturales.

Material	Gránulos de tezontle	Esferas de cerámica
Superficie específica, m ² /m ³	1,210	1,032
Porosidad, %	54.1	45.2
Densidad del grano, kg/m ³	1.21	1.32
Dimensiones, mm	d = 3.25mm	d = 3.25mm
Volumen, L	14	16

3.5.2 MATERIALES PLASTICO SINTETICOS

C) CINTA SESSIL

Sessil, hecho por N.S.W., es un empaque único en forma de tiras las cuales son de 3.0 cm de ancho y hechas de polietileno estabilizado contra rayos ultravioleta y reforzado con tres cordones de polietileno de alta densidad (HDPE).

Este medio de soporte es utilizado ya en el tratamiento de aguas residuales en filtros percoladores con excelentes resultados.

Características del empaque SESSIL:

- Área superficial específica de 900, 1200, 1500 ó 1800 m²/m³
- Relación de vacío de > 95%
- Hecho de polietileno estabilizado contra rayos ultravioleta
- Fácil de instalar
- No se requiere drenaje ni rejilla
- Disponible en alturas o longitudes de hasta 9.0 m

En este estudio se decidió probar este material en la modalidad de biofiltro sumergido, para esto se agrupó y sujetó la cinta en tiras de 20 cm de longitud las cuales se trenzaron a un eje central, formando un gran escobillon, (ver anexo 2) esto para hacer más fácil su operación y retrolavado. En la Figura 36 se muestra este material. El cual es presentado tal como lo entrega el proveedor y en tiras. (antes de ser agrupado y trenzado).



Material
a granel



Figura 36. Material sintético SESSIL

D) CUBOS DE POLIURETANO

Este medio de soporte también ya es utilizado en el tratamiento de aguas residuales en filtros percoladores con excelentes resultados, la única diferencia en este es que se utiliza sumergido y ya que el producto se obtiene en bloque, se ajustó el tamaño de los cubos para el experimento.

Características del empaque de POLIURETANO:

- Material: resina sintética de poliuretano
- Superficie específica total: 1000 m²/m³
- Área biodisponible: 1,102 m²/m³
- Ancho: 2.5 cm
- Longitud: 2.5 cm
- Altura de las aletas: 2.5 cm
- Color: gris oscuro.

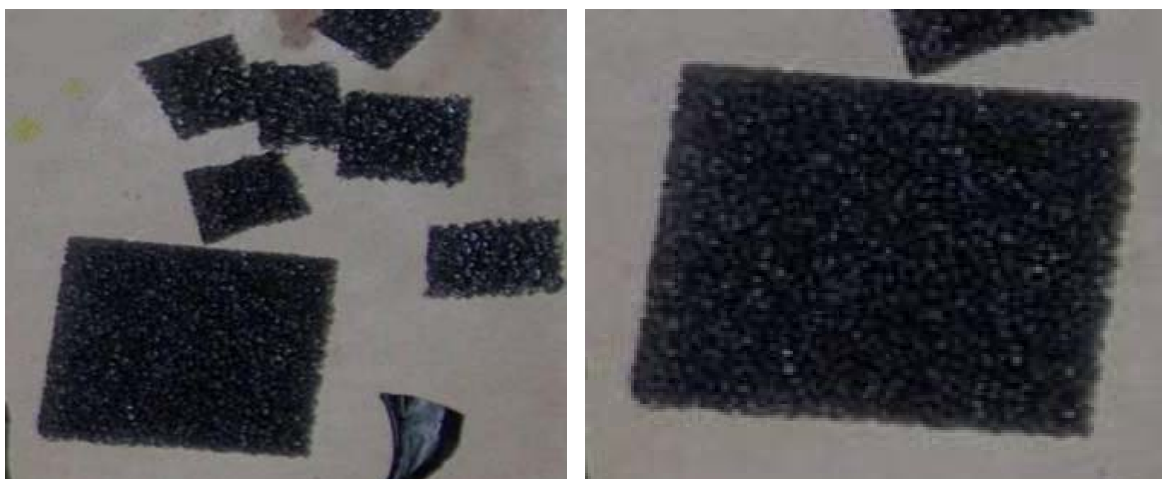


Figura 37. Cubos de poliuretano

3.6 PROGRAMA EXPERIMENTAL Y PROGRAMA DE MUESTREO

Los reactores operaran paralelamente, tratando de tener las mismas condiciones en la calidad del agua residual de influente. En la línea de recirculación se cuenta con válvulas para tomar muestras del efluente, en la línea de alimentación con válvulas para tomar muestras del influente y con válvulas en el sistema para tomar muestras internas.

Las muestras de agua se tomaron bajo las siguientes condiciones:

Por medio de las bombas peristálticas acopladas a las bombas de llenado y vaciado al igual que por gravedad fue posible tomar muestras compuestas diarias para calcular el desempeño de los sistemas con una base por día de operación. Se pudo conocer los valores de los diferentes contaminantes a la entrada y salida de los reactores para determinar su desempeño (eficiencia).

3.6.1 AGUA RESIDUAL DOMESTICA EXPERIMENTAL

El sistema se alimentara con agua residual doméstica. En la Tabla 18 se presentan las características del agua, obtenida del influente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Intitulo Mexicano de Tecnología del Agua la cual esta previamente caracterizada como un agua de baja a media carga.

Tabla 18. Características del agua residual

Parámetro	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio
DQO, mg/L	100	300	150
SST, mg/L	41	65	45
SSV, mg/L	38	56	43
NTK, mg/L	19	60	47
N-NH ₃ , mg/L	12	45	39
Ptotal, mg/L	5	18	12
Temperatura, °C	19	30	24
Ph	7.1	7.8	7.6

3.6.2 PARÁMETROS DEL PROCESO Y OPERACIÓN

Se controlaron los siguientes parámetros y variables de operación

- Caudal
- Tiempo de retención hidráulica
- Tasa de Recirculación
- Carga hidráulica. ($m^3 / m^2 d$, $m^3 / m^3 . d$)
- Carga orgánica superficial ($g DQO / m^2 d$)
- Carga Nitrógeno efluente. C.N.A. ($g N-NH_4 / m^2 d$)
- Pérdida de carga en el reactor
- Oxígeno aportado.

Con las siguientes etapas de operación, las cuales se presentan en la Tabla 19, las cuales están dadas principalmente por la carga orgánica superficial. En ella podemos observar las fases en las que se divide el estudio experimental siendo la fase 4 la que rigió el experimento, ya que se pretendía llegar a una carga orgánica volumétrica de 6.0 kg/(m³ d) y se tenía un tiempo de 6 a 8 meses para realizarlo.

Tabla 19. Fases de operación del experimento.

Parámetro	Arranque y desarrollo de las biopelículas	Variación de cargas orgánicas		
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
Carga orgánica superficial, kg/(m ² d)	0.0004-0.0008	0.002	0.004	0.006
Carga orgánica volumétrica, kg/(m³ d)	0.4-0.8	2.0	4.0	6.0
Tiempo de operación, días	75	60	60	60
Gasto, L/d	28-56	140	280	420
TRH, h	6-12	2.4	1.2	0.8
Recirculación	0.25 - 1	1 - 2	1 - 3	1 - 4

Para poder efectuar comparaciones en los resultados, se trato de igualar el área específica de cada medio filtrante teniendo como dato lo siguiente: Para el Tezontle un área superficial de 17 m² con un volumen de 14 L; para las esferas de arcilla área superficial de 16.5 m² con un volumen de 16 L; en los cubos de poliuretano un volumen de 15 L y un área superficial de 16.5 m² y para la cinta sessil una longitud de eje de 90 cm dando un volumen de aproximadamente 15 L con área superficial de 16.5 m².

3.6.3 DETERMINACIONES ANALÍTICAS

Las determinaciones analíticas que se realizan a las muestras de agua residual se basan en los Métodos Estándar Americanos y en las Normas Mexicanas.

Se efectúan parámetros de campo así como sólidos suspendidos totales (SST) y se miden con métodos fotométricos la demanda química de oxígeno (DQO) total y soluble, nitrógeno (N-NH₄), (N-NO₃) y (N-NO₂). Se utilizaron para monitorear dentro de los reactores un electrodo para el oxígeno disuelto y la temperatura y otro para medir el pH. Todo de acuerdo a las técnicas del *Standard Methods de la A.W.W.A.*

En la Tabla 20 se presenta el programa muestreo y ensayos que se consideraron durante la experimentación.

Tabla 20. Programa de monitoreo y control efectuado durante la biodegradación.

PARÁMETRO	FRECUENCIA	INFLUENTE	REACTOR	EFLUENTE	RECICLO
Conductividad y SDT	Diario	X		X	
pH, Oxígeno disuelto	Diario	X		X	
Temperatura (°C)	Diario	X	X	X	
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	2 por semana	X		X	
Sólidos Totales (mg/l)	Cada 3 días		X		X
Sólidos Suspendidos volátiles (mg/l)	Cada 3 días		X		X
Tasa de respiración (mg/L-h)	Cada 3 días		X		
Nitrógeno, Amoniacal y NTK	1 por semana	X	X	X	

3.6.4 SISTEMA DE RETROLAVADO

La operación se realiza dado ha la colmatación de medios y se realiza de manera manual adaptando el siguiente procedimiento:

1. Se suspende la alimentación de agua residual y de aireación para el proceso.
2. Durante varios minutos se conecta la línea de alta presión para introducir aire por el fondo del filtro y separar el exceso de biopelícula de las partículas del lecho.
3. Sin suspender el suministro de aire a presión se abre la válvula que conduce agua a presión por el fondo del filtro para arrastrar el material desprendido durante la fricción que se llevó a cabo en el paso 2.
4. Se desactiva el suministro de aire a presión y se reactiva el suministro de aire para el proceso para terminar de arrastrar el material en suspensión.
5. Al mismo tiempo se retira el agua con el material desprendido mediante un bombeo.
6. Se inicia nuevamente el proceso de filtración.

3.7 ANÁLISIS DE LAS BIOPELÍCULAS

Para el análisis de las biopelículas desarrolladas sobre los diferentes medios de soporte se tomaron periódicamente muestras de dicho material. Para la toma de muestras las unidades experimentales tienen la factibilidad de reclinarse en forma horizontal. Una vez que los reactores acomodados y previo al retrolavado, se afloja la válvula de muestra requerida para liberar el lecho. Los reactores cambian su posición de vertical a horizontal para facilitar la toma de muestra.

3.7.1 Descripción de Biopelículas

Las biopelículas son conglomerados de microorganismos donde predominan las bacterias heterótrofas, impartiendo el conjunto adhesivo gracias a la producción de polímeros extracelulares llamados, de una forma genérica, poli-B-hidroxibutiratos (PHB). Las bacterias se agrupan en "colonias" con el objeto de buscar protección ante las posibles condiciones adversas del medio. Gracias al desarrollo compacto de las bacterias, otros organismos oportunistas utilizan la estructura gelatinosa de la biopelícula para vivir y encontrar alimento dentro de ella y para protegerse del medio o, en caso de los protozoarios siliados y otros metazoarios para depredar sobre ella. (González-Martínez, 1998). Los polímeros extra celulares, conocidos como "extracellular polymeric substances" (EPS), están compuestas de polisacáridos (40-95%, proteínas (1-60%), en algunos casos lípidos (1-40%), con menor contenido de ácidos nucleicos (1-10%) y otros biopolímeros (Flemming y Wingeder, 2001).

3.7.2 Estimación de biomasa adherida

La cantidad total de biomasa se puede medir en términos de sólidos totales (ST). La principal desventaja del empleo de estos parámetros para caracterizar la biopelícula es que dicha estimación incluye no solo los microorganismos activos, sino también la biomasa inerte, exopolímeros y materia orgánica adsorbida sobre la superficie de la misma biopelícula. Sin embargo, por cuestiones prácticas y poder tener una idea de la cantidad de biomasa desarrollada sobre los medios de soporte, se realizará la estimación de la biopelícula con éste método. Calculando un error aproximado del 6% (Lazarova y Manem, 1995).

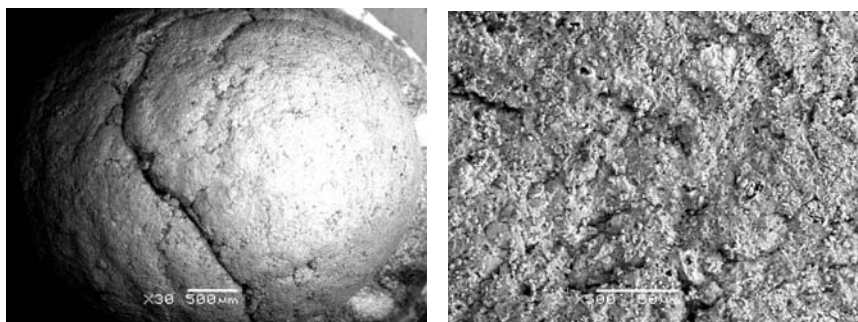
Cada uno de los materiales de soporte utilizados durante el estudio muestra ciertas particularidades por lo que la forma de determinar los SST varía en cada caso. La concentración de biomasa se reporta en unidades de g/m^2 . A continuación se resume el procedimiento que se realizara para cada tipo de material:

a) Se colecta material de soporte con biomasa. En un frasco con tapa se deposita el material con solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 0.01 por ciento. Se somete el material a una agitación manual para desprender la biomasa adherida a las partículas. Se filtra el material y se determina ST de acuerdo a los métodos estandarizados.

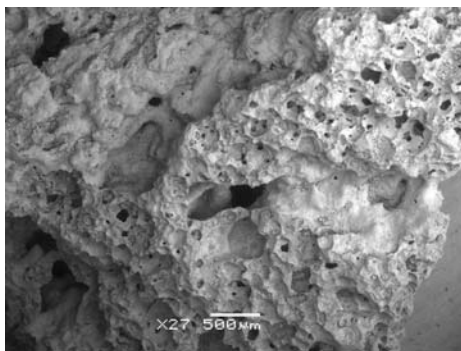
b) Se colectan tres piezas o partículas del medio de soporte con biomasa. Con ayuda de la solución NaOH 0.01 % se desprende la biomasa adherida al material de soporte raspando las paredes con aguja de disección. El material se filtra para la determinación de ST.

3.8 OBSERVACIONES EN MICROSCOPIO DE LA SUPERFICIE DE LOS MATERIALES

En las siguientes Figuras 38 y 39 se muestran las observaciones en microscopio de los materiales utilizados en el experimento antes de ser empacados y por consiguiente sin biopelícula.



a) Fotografía microscópica de arcilla manufacturada

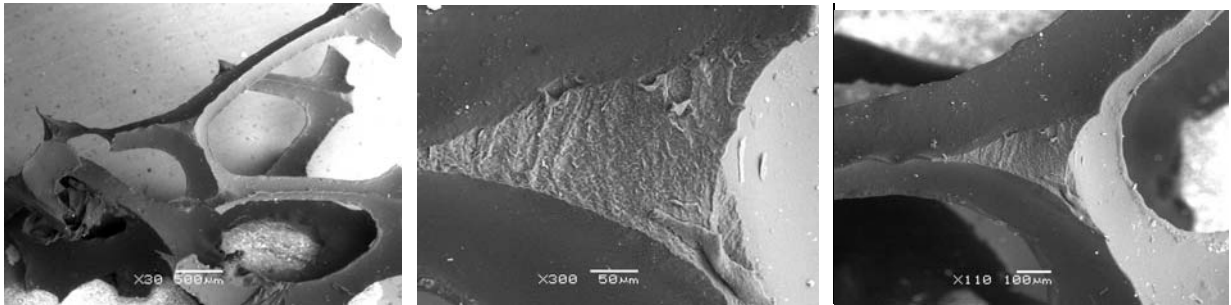


a) Tezontle rojo

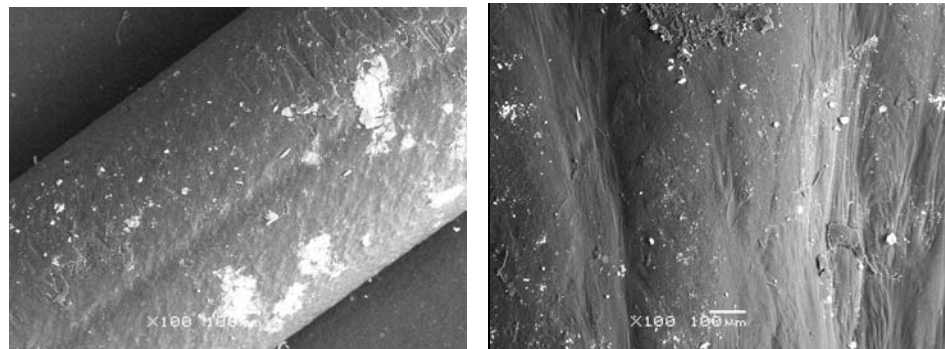
Figura 38. Vistas microscópicas de los materiales naturales a evaluar

Como se puede observar los materiales naturales como las esferas de cerámica y de tezontle, tienen superficie adecuada para la colonización de microorganismos ya que es rugosa e irregular, con porosidad y área superficial específica por naturaleza.

En cuanto a los materiales sintéticos se observa que por si solos son menos rugosos y mas regulares, teniendo su mayor virtud en la porosidad de lecho, en su durabilidad, resistencia mecánica y homogeneidad.



c) Cubos de poliuretano



d) cinta SESSIL

Figura 39. Vistas microscópicas de los materiales sintéticos a evaluar

Por estas diferencias de textura, tamaño, porosidad, rugosidad y uniformidad, entre los materiales naturales y sintéticos será de importancia su comparación.

4. RESULTADOS

4.1. ARRANQUE Y DESARROLLO DE LA BIOPELICULA

El desarrollo de biopelículas en el sistema se dio por medio natural al suministrar directamente agua residual, con las características presentadas en la Tabla 21, correspondiente a un agua de carga relativamente baja. El crecimiento de una población de microorganismos sobre la superficie de los materiales fue prácticamente rápida ya que se empezó a tener resultados en la segunda semana de aclimatización.

Tabla 21. Características de agua residual del IMTA

Componentes	Concentración		
	Max.	Min.	Promedio
SST, mg/L	60	20	40
DQO, mg/L	280	185	220
NTK , mg/L	60	20	35
Ptotal , mg/L	8	2	4
pH	7.95	7.40	7.76
Conductividad, mS/cm	0.75	0.62	0.69
Turbiedad, UNT	320	29	40
Temperatura, °C	26	23	24.5
GyA, mg/L	110	10	40

La operación de los reactores una vez empacados empezó sin una inoculación especial, dejando que la biopelícula se forme a partir de los microorganismos presentes en el agua residual. La formación más rápida de biopelícula se observó sobre la superficie del material de cubos de polipropileno, seguida por el tezontle, cerámica y finalmente por la cinta de polietileno de alta densidad. Después de dos semanas empezó la caracterización de los efluentes.

Al poner en contacto a la biomasa con el agua residual en condiciones controladas ocurre la degradación y remoción de contaminantes. En la Tabla 22 se presentan las características de operación de los reactores.

Tabla 22. Parámetros de operación de los reactores

Parámetro	Resultado
Área específica	1,200 m ² /m ³
Área superficial	R-1 = 16 m ² (cubos de poliuretano) R-2 = 17 m ² (granos de tezontle) R-3 = 16 m ² (cinta sessil) R-4 = 16.5 m ² (esfera de cerámica)
Volumen total del reactor	21 L
Volumen útil	17.5 L
Volumen del lecho	R-1 = 14 L (cubos de poliuretano) R-2 = 12 L (granos de tezontle) R-3 = 14 L (cinta sessil) R-4 = 13 L (esfera de cerámica)
Volumen de zona de aireación	2.4 L
Altura del lecho	95 cm
Altura de aireación	15 cm
Caudal de recirculación	50 mL/min
Temperatura dentro del reactor	21±2 °C

El desarrollo de las biopelículas tuvo una duración de 30 días. Después se paso a la primera de tres fases de experimentación teniendo como parámetro de variación la carga orgánica volumétrica.

La remoción de DQO aumentaba paulatinamente en el tiempo y en un mes de operación se determinaron remociones mayores de 90% en el reactor con SESSIL (R-3). Las remociones en el reactor con tezontle (R-2) y en el con cubos de poliuretano (R-1) fueron alrededor de 90%, mientras que las remociones alcanzadas con esferas de cerámica (R-4) fueron de 78-80%. A partir de este momento la carga orgánica se mantuvo en 0.8 g.m-2 .d-1 y se procedió a la evaluación del proceso. Durante esta fase no hubo necesidad de retrolavar a ninguno de los biofiltros.

4.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS MATERIALES FILTRANTES DE SOPORTE

Las características determinadas de los materiales se presentan en la Tabla 23. Como se puede observar las superficies específicas de los materiales utilizados en los cuatro biofiltros son similares, lo cual permite comparar mejor el desempeño de los reactores.

Tabla 23. Características de los materiales filtrantes.

Material	Gránulos de tezontle	Esferas de cerámica	Cinta Sessil	Cubos de poliuretano
Tipo	Natural	Natural	Sintético	Sintético
Superficie específica, m ² /m ³	1,210	1,032	1,098	1,102*
Porosidad, %	54.1	45.2	>95	>95
Densidad del grano, kg/m ³	1.21	1.32	-	-
Dimensiones, mm	d = 3.25mm	d = 3.25mm	L = 110 mm	L = 25 mm

*Área biodisponible proporcionada por el fabricante.

4.3. REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

Las concentraciones de la materia orgánica fueron medidas con la DQO en el influente y efluente de los reactores. Durante la primera fase del experimento la DQO en los efluentes de los reactores tuvo un promedio de 47 mg/L para carga orgánica volumétrica (COV) de 0.8 kg DQO/m³-d. Para la segunda fase se mantuvo un promedio de 46 mg/L para COV de 2.0 kg DQO/m³-d y un TRH de 2.40 h. La remoción de la DQO en la primera fase fue del 85% operando con TRH de 6.0 h, mientras que para la siguiente fase la remoción de la DQO promedio fue del 80%. Se puede apreciar que no hubo problemas con el cambio de la carga orgánica volumétrica, al empezar la fase 3, se presentaron variaciones en las concentraciones de la DQO, teniendo los reactores un promedio de 75 mg/L para la COV de 4.0 kg DQO/m³.d, y una remoción del 60%, operando con TRH de 1.2 h.

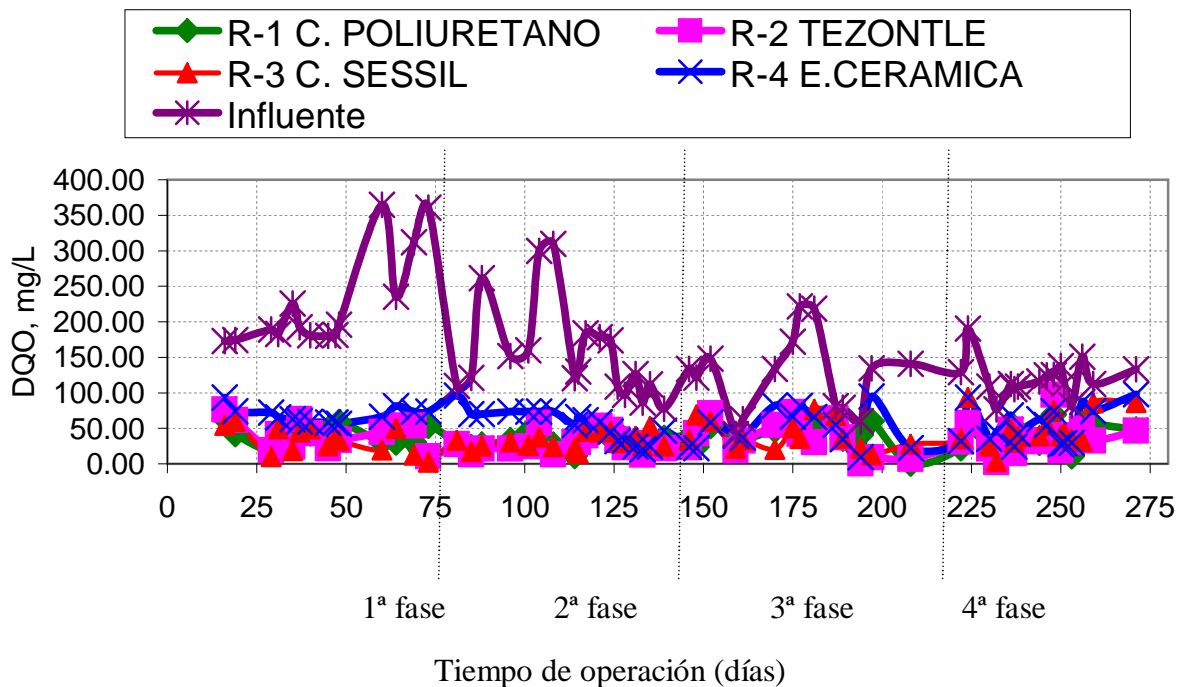


Figura 40. Comportamiento de la DQO.

La remoción de DQO promedio alcanzada por el reactor R-1 de cubos de poliuretano durante las dos primeras fases del periodo experimental fue del 82%. El reactor R-2 de tezontle alcanzó una remoción del 81%, el reactor R-3 de cinta SESSIL alcanzó una remoción del 85%, mientras que el R-4 de esferas de cerámica llegó a una remoción de 61%; esto para un agua residual con una DQO de 207 mg/L. En la Figura 40 se observa que la DQO del influente entre los días 50 y 75 aumentó consistentemente de 200 a 350 mg/L debido al modo de operación de la planta de tratamiento del IMTA, y sin embargo, la remoción en los reactores no cambió, indicando que el sistema sí soporta cambios bruscos en el influente. A partir del día 75 la DQO del influente varió sin afectar el sistema.

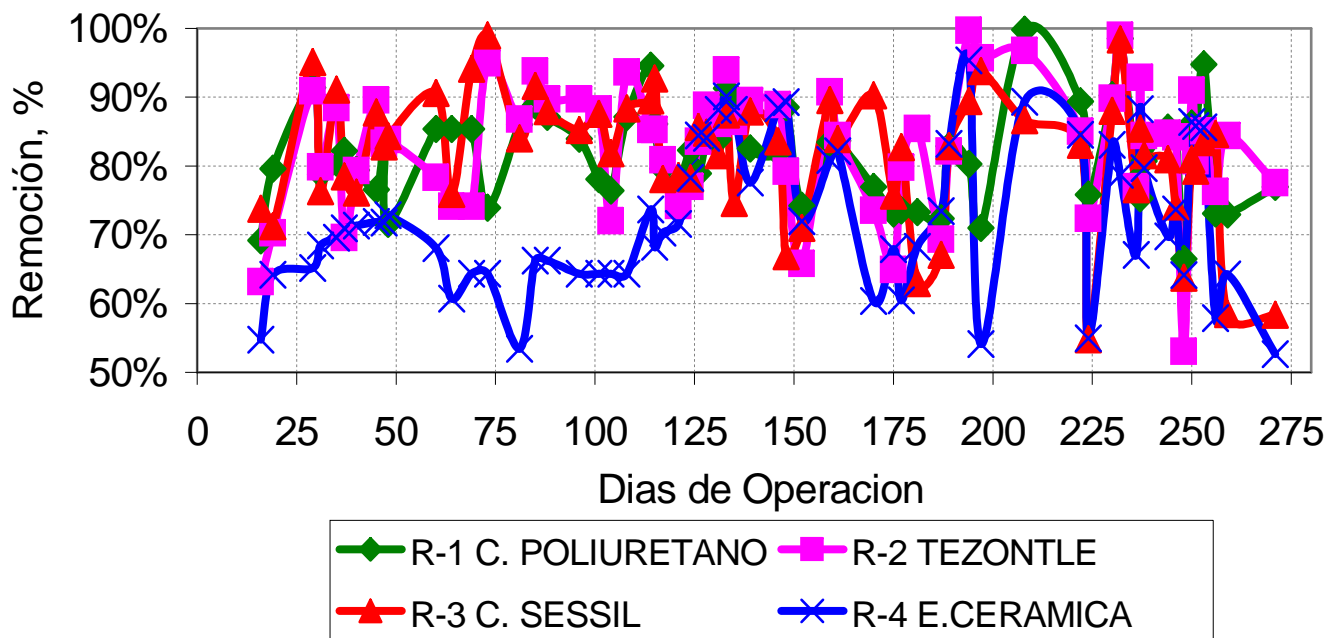


Figura 41. Porcentaje de remoción de la DQO

De la Figura 41 se puede concluir que para la carga orgánica volumétrica de las dos primeras fase los reactores R-1, R-2 y R-3 tienen una remoción promedio del 85%, mientras que el R-4 alcanzo 70% de remoción. Al hacer el cambio en la carga orgánica volumétrica de la tercera fase se presenta una disminución en la remoción. Se continuó la operación para observar su comportamiento, los reactores R-1, R-2 y R-3 tuvieron una remoción de 70%, en cuanto al reactor de esferas de cerámica R-4 cayo considerablemente, pudiendo ser porque las esferas estén soltado sustancias que las hace hostiles a las biopelículas.

El reactor R-3 de cinta SESSIL presentó remociones por arriba del 95%, similarmente el R-2, solo que este ha tenido que retrolavarse por presentar ya colmatación en la parte superior del reactor. Por otra parte, el reactor R-1 de cubos de poliuretano presentó remociones de hasta 90% siendo éste el reactor más estable del sistema. En cuanto al reactor R-4 de esferas de cerámica, su máxima remoción presentada fue de 72% y fue con la carga orgánica volumétrica de la primer fase, siendo por lo tanto el reactor con menor eficiencia y el que ha presentado mayor problemática en su operación ya que sufre de colmatación y taponamiento, consecuencia por la cual en las siguientes fases cae considerablemente, esto pudo ser ocasionado por la disgregación del material o bien que el material allá empezado a disolverse.

4.4 REMOCIÓN DE NITROGENO

El monitoreo de Nitrógeno empezó a partir de la segunda fase de experimentación, la remoción del sistema de reactores tiene un promedio de 41%. Para el reactor R-1 de cubos de poliuretano se tiene un promedio de NTK de 25 mg/L, para el reactor R-2 de tezontle se tiene un promedio de NTK de 21 mg/L, el reactor R-3 de cinta Sessil se tiene un promedio de NTK de 27 mg/L, mientras que en el R-4 de esferas de cerámica se obtuvo un promedio de NTK de 38 mg/L; para un agua residual con un NTK de 47 a 59 mg/L.

Se han obtenido porcentajes de remoción del 65% correspondiente al R-2, seguido del R-1 y R-3 con 45%, muy por debajo el R-4 con un porcentaje de remoción de 12%, esto se muestra en la Figura 42. Sin embargo, la remoción de los tres primeros reactores se empieza a mantener estable, esperando no verse afectada al cambio de carga orgánica volumétrica.

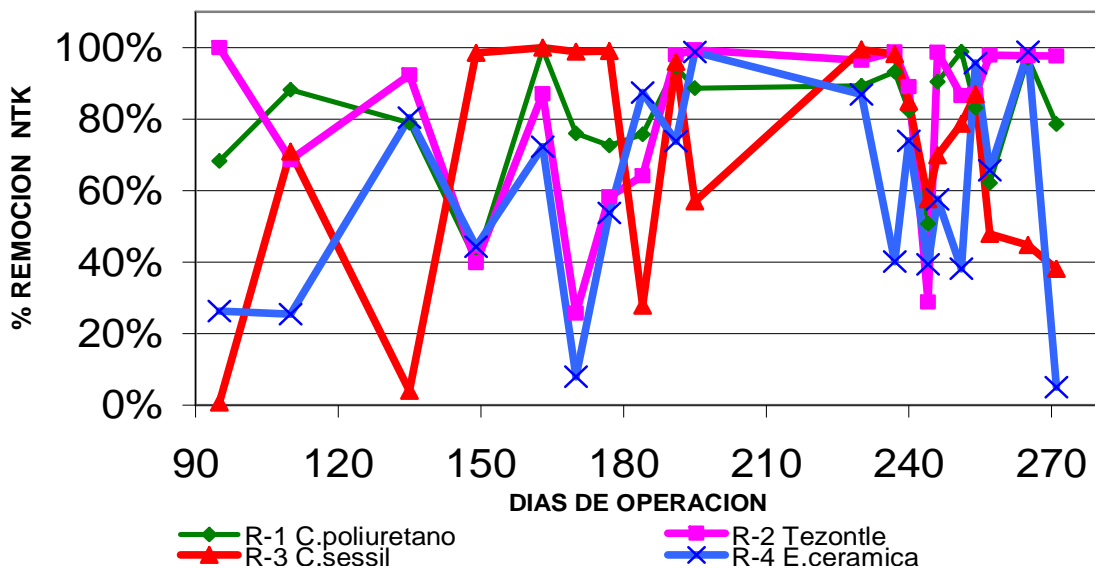


Figura 42. Porcentaje de remoción de la NTK

4.5 COMPORTAMIENTO DE LOS PARÁMETROS DE CAMPO

4.5.1 pH

En la Figura 43 se presenta el comportamiento del pH. Los influentes de los reactores se mantuvieron en un valor de pH de 7.3 (± 1.5) óptimo para el tratamiento biológico de aguas residuales. Observamos que el sistema de reactores estuvo trabajando dentro del rango neutro del agua, estabilizándose en 7.0 a 7.25 después de la primera fase de operación, todo esto sin considerar el reactor R-4 de esferas de cerámica que se mantuvo en rangos por arriba del agua neutra llegando a la alcalinidad, esto podría deberse a la composición de la materia prima de la arcilla, haciendo hostil el medio para el desarrollo de biopelículas.

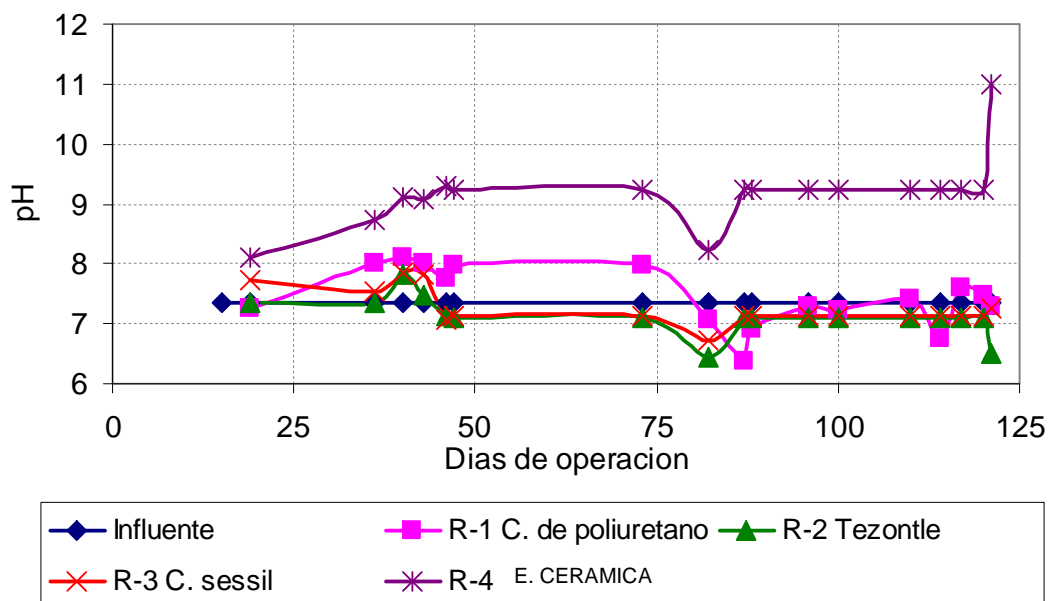


Figura 43. Comportamiento del pH

4.5.2 Conductividad y sólidos disueltos totales

En la Figura 44 y 45 se muestra el comportamiento de la conductividad y de los SDT, en ella podemos observar que durante las dos primeras fases experimentales el influente de los cuatro reactores se mantiene en valores menores a 0.8 mS/cm y 0.37 g/L para conductividad y SDT respectivamente. Los primeros días de operación la conductividad estuvo en el rango con valores de 0.45 y 0.70 mS/cm; mientras que los SDT en el rango de 0.25 a 0.35 g/L, esto para los cuatro reactores del sistema, a partir del día de operación 80 correspondiente a la segunda fase de operación con carga orgánica volumétrica de 2.0 kg DQO/m³-d; la conductividad y los SDT disminuyeron por de bajo de 0.45 mS/cm y 0.20 g/L en los reactores R-1, R-2 y R-3, mientras que el R-4 aumento su conductividad y los SDT entre los días de operación 80 y 100 con 0.8 mS/cm y 0.41 g/L respectivamente, debido a que podría haberse disuelto la materia prima como anteriormente se ha mencionado. Es importante considerar que tanto la conductividad y los SDT presentados esta en un rango muy bajo lo que podría no influir en los resultados finales.

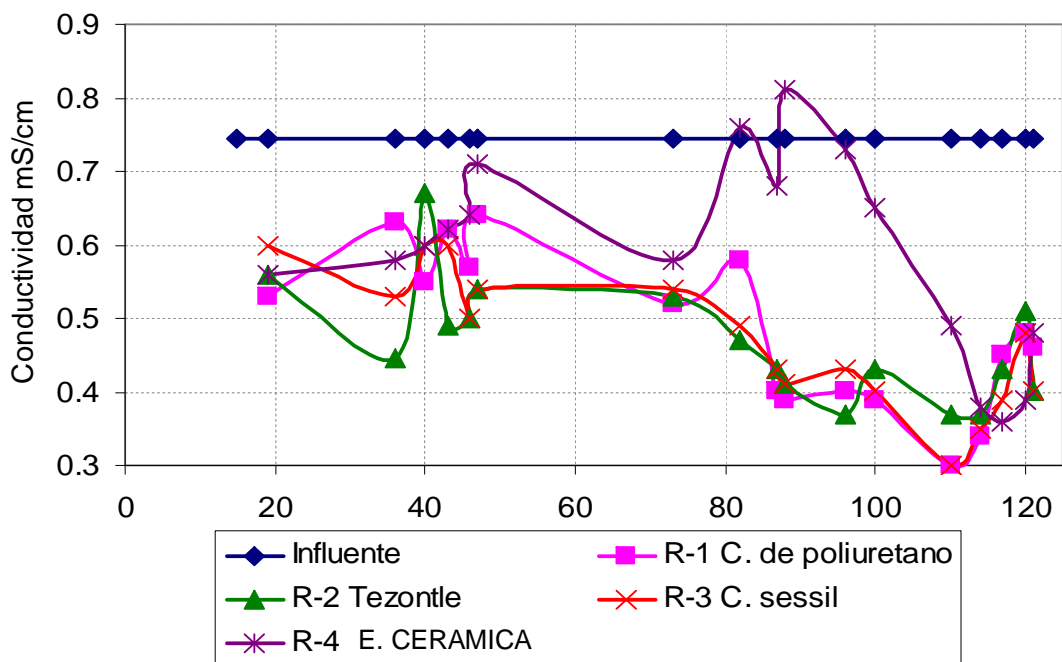


Figura 44. Comportamiento de la conductividad

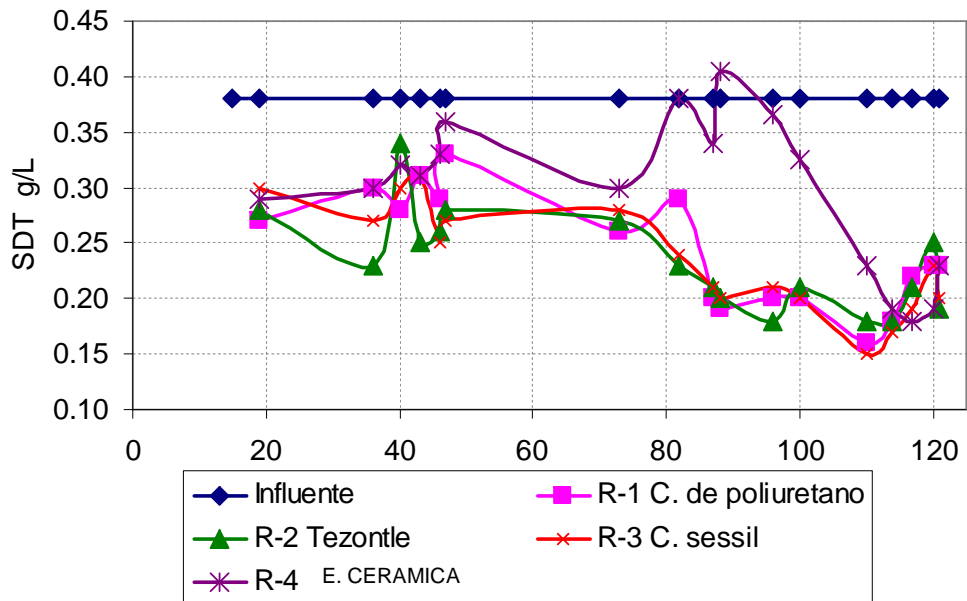


Figura 45. Comportamiento de los Sólidos Disueltos Totales

4.5.3 Temperatura

La Figura 46 muestra el comportamiento de la temperatura, se observa que tanto los influentes como los efluentes de los cuatro reactores se comportan de manera similar, presentando temperaturas entre 19 y 26 °C que corresponden a las variaciones climatológicas dadas por la temperatura ambiente del lugar donde se lleva a cabo la experimentación, dichas temperaturas no afectaron el funcionamiento de los sistemas, ya que son optimas para tratamiento biológico.

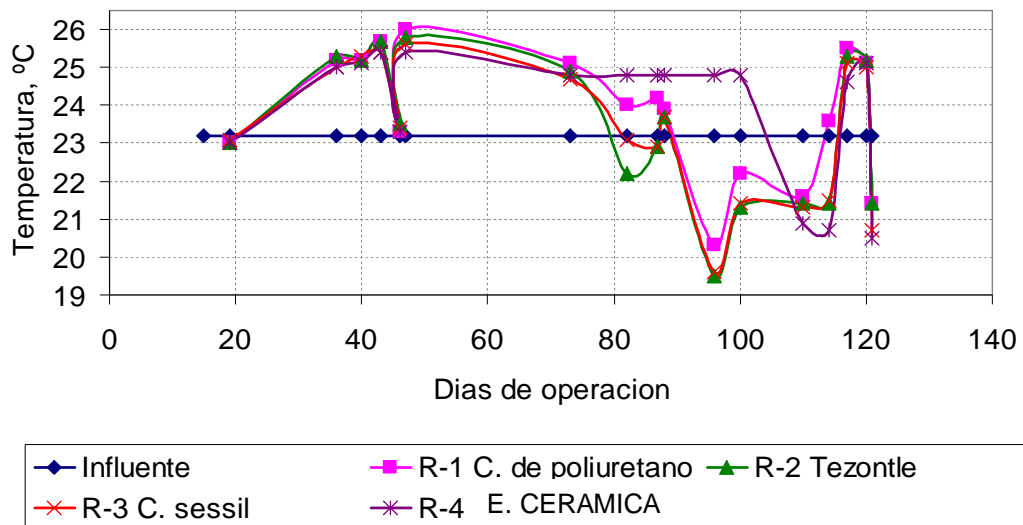


Figura 46. Comportamiento de los Sólidos Disueltos Totales

4.5.4 Turbiedad

En la Figura 47 se muestra el comportamiento de la turbiedad, se observa un influente el los reactores por encima de 50 NTU, para los reactores R-1, R-2 y R-3 se tienen turbiedades por debajo de 5 NTU pasando estándares normativos, mientras que el reactor R-4 presenta una turbiedad de 40 NTU, debido esto a la que el medio de soporte libera pequeñas particular de su composición; esto influye en los resultados finales.

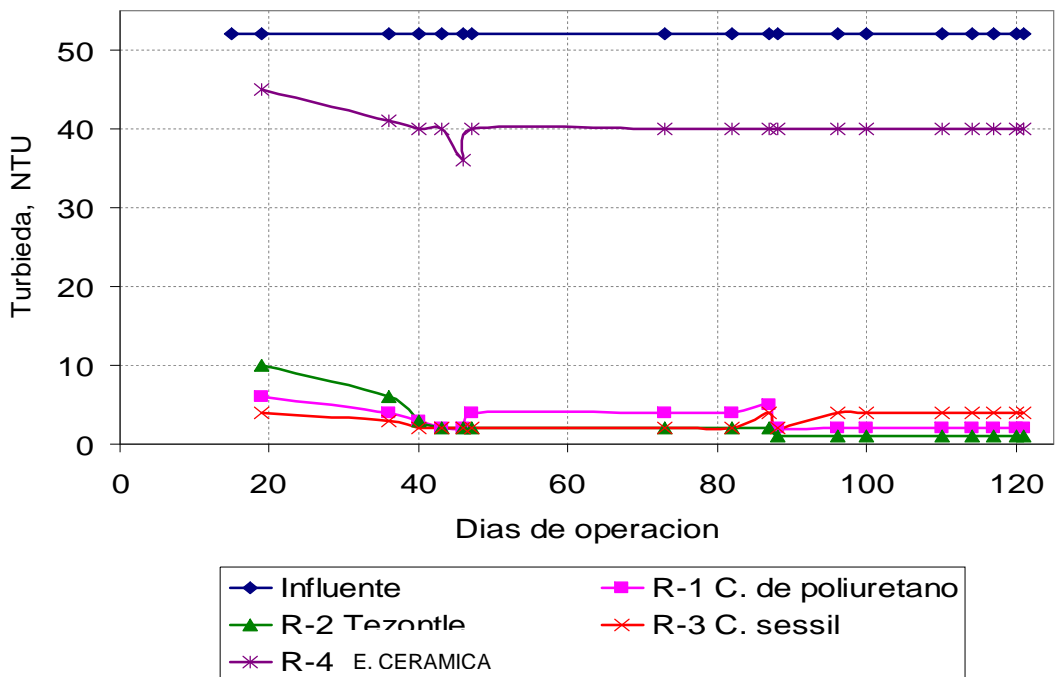


Figura 47. Comportamiento de la turbiedad

4.6 Análisis del desempeño de los biofiltros en las diferentes condiciones de operación

En la Figura 48 se presentan los promedios de las concentraciones de la DQO en el agua residual y en los efluentes de los biofiltros determinados para los períodos de operación con las diferentes cargas orgánicas. Durante todo el período experimental los promedios fueron menores de 60 mg/L en los efluentes de todos los biofiltros excepto en el de reactor de esferas de cerámica; **R-4**, donde se presentó una inhibición del proceso por altos valores de pH resultado de desprendimiento de alcalinidad del material utilizado. Las concentraciones promedio de la DQO fueron entre 23 y 45 mg/L durante las primeras dos fases cuando se aplicaron cargas orgánicas de 0.8 y 2.0 gDQO.m⁻².d⁻¹. Con la carga de 4.0 gDQO.m⁻².d⁻¹ las concentraciones promedio fueron entre 37 y 48 mg/L, y con la mayor carga entre 49 y 58 mg/L. Durante la evaluación de las primeras dos cargas orgánicas la concentración de la DQO en el efluente fue en un 17-34% mayor que en las siguientes fases experimentales. En la Figura 49 se presentan los promedios de las remociones de DQO obtenidas en los reactores con las diferentes cargas orgánicas. Remociones alrededor de 80% se obtuvieron con las cargas orgánicas de 0.8 y 2.0 gDQO.m⁻².d⁻¹. Con la menor carga orgánica se obtuvieron remociones de 83% en el reactor de cubos de poliuretano; **R-1** y en el reactor de cinta de polietileno de alta densidad (sessil); **R-3**, 81%. El reactor de tezontle; **R-2**, permitió remover el 79% de la DQO. Con la carga de 2.0 gDQO.m⁻².d⁻¹ las remociones en el reactor R-3 de cinta sessil se mantuvieron altas, pero la remoción en el R-1 bajó a 78%. Mejoró en un 1% la remoción en el R-2. Con la carga de 4.0 gDQO.m⁻².d⁻¹ las remociones de la DQO disminuyeron en un 10-15%. Los mayores promedios de las remociones (69-71%) se obtuvieron en R-3, R-2 y R-1. Menores fueron las remociones en R-4, de 63-65%. Los promedios fueron en los otros 10% menores durante la aplicación de la mayor carga de 6.0 gDQO.m⁻².d⁻¹. En estas condiciones los más altos promedios se obtuvieron en el R-3, pero también fueron altas las remociones R-1 de cubos de poliuretano. En R-2 el promedio disminuyó en un 14%, igual bajó la remoción en R-4.

En la Figura 50 se presentan las tasas de degradación obtenidas en los diferentes reactores. Se puede observar que con cargas orgánicas bajas la tasa de degradación en los diferentes filtros fue similar independientemente del material que se utilizaba como soporte para el desarrollo de los microorganismos. Con la carga de 2.0 gDQO.m⁻².d⁻¹ la tasa específica de remoción de DQO fue de

1.60 $\text{gDQO}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ como promedio para todos los biofiltros, con una desviación estándar de solo 0.04 $\text{gDQO}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. La tasa de remoción de la DQO aumenta con el aumento de la carga orgánica a pesar de que la remoción disminuya. El aumento a la carga a 4.0 $\text{gDQO}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ dio como resultado una tasa promedio de 2.70 $\text{gDQO}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, la desviación estándar fue de 0.12 $\text{gDQO}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, 3 veces mayor que en el caso anterior, lo cual indica que a esta carga ya se manifiestan las diferencias entre las características de los materiales de empaque. Los mejores resultados se obtuvieron en los reactores R-3, R-2 y R-1 con un promedio de tasa de 2.79 $\text{gDQO}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. El reactor R-4 tuvo un menor desempeño, con un promedio de 2.57 $\text{gDQO}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Fue mayor la diferencia entre las tasas de remoción con la mayor carga aplicada, de 6.0 $\text{gDQO}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. El promedio para todos los reactores fue de 3.51 $\text{gDQO}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ con una desviación estándar de 0.16 $\text{gDQO}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Los mejores resultados se obtuvieron otra vez en los R-3 y R-1, con un promedio de tasa de 3.63 $\text{gDQO}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Con esta carga el R-2 entró ya en el grupo de reactores con menor desempeño, junto con el R-4, con un promedio de 3.35 $\text{gDQO}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

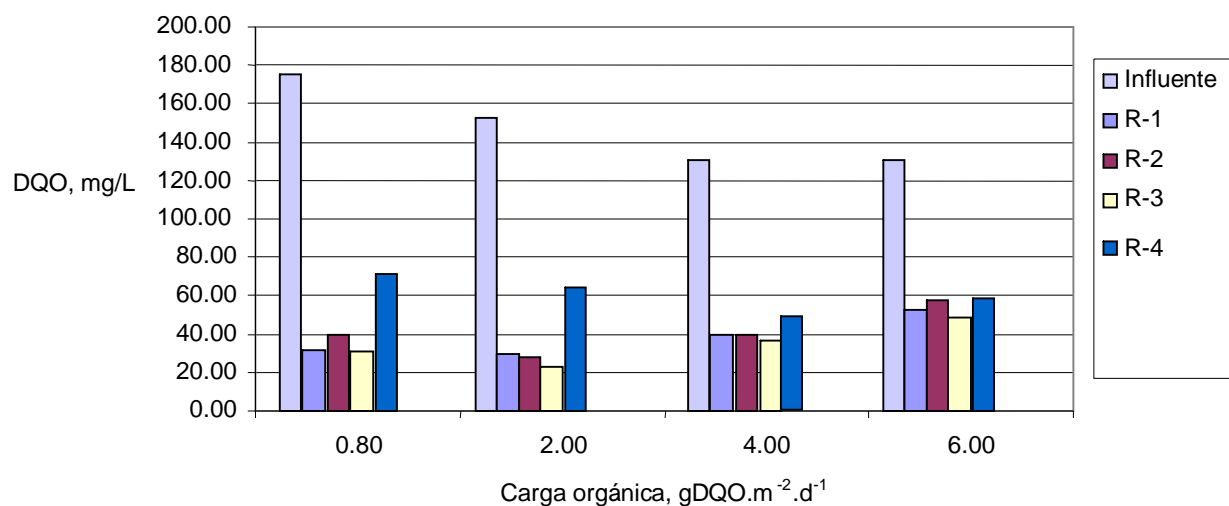


Figura 48. Concentraciones promedio de la DQO en el influente y en los efluentes de los biofiltros, calculadas para las fases experimentales con diferentes cargas orgánicas.

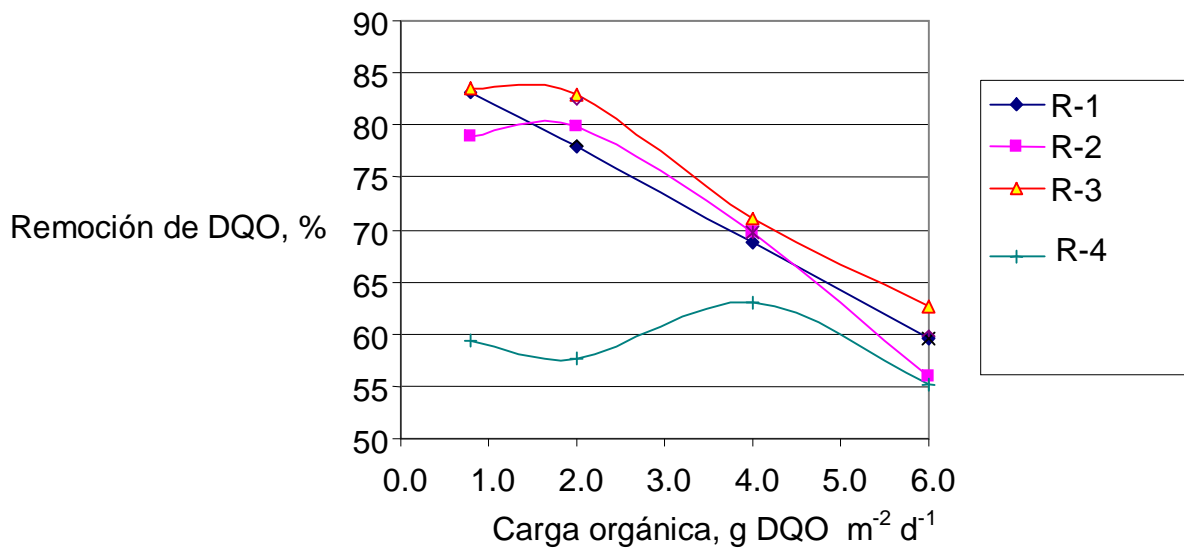


Figura 49. Remociones de DQO promedio obtenidas en los biofiltros aplicando diferentes cargas orgánicas.

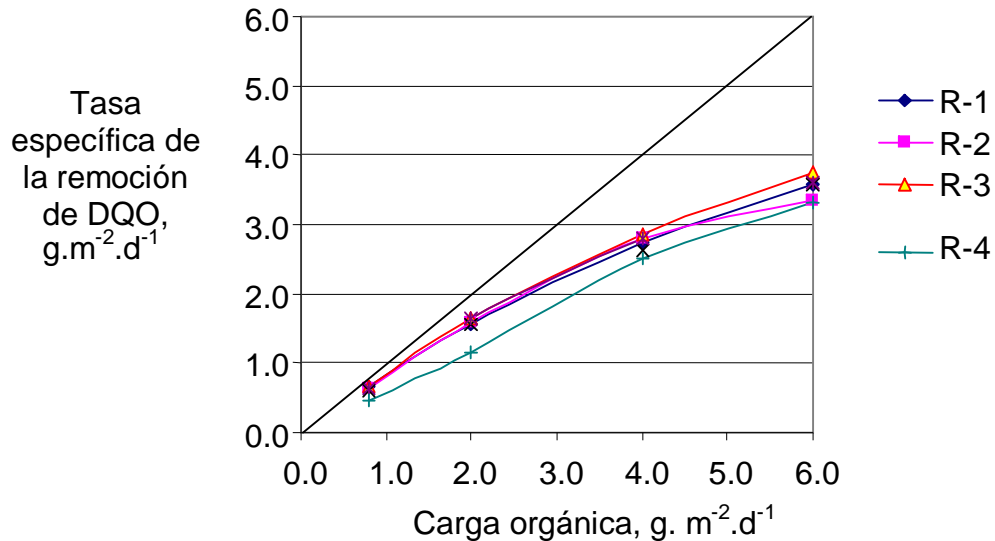


Figura 50. Tasas específicas promedio de remoción de DQO obtenidas en los biofiltros aplicando diferentes cargas orgánicas.

En la Tabla 24 se presentan los promedios de los parámetros pH y Temperatura determinados con base en las mediciones diarias durante todo el estudio. Se observa que hay una ligera tendencia

de disminución de los valores de pH con el aumento de la carga orgánica en los reactores. En el reactor R-4 durante más de 6 meses hubo emisiones de sustancias alcalinas que después disminuyeron paulatinamente. Esto perjudicó el funcionamiento del reactor sobre todo durante las primeras dos fases. El OD se mantenía entre 2 y 3 mg/L durante todo el período experimental.

Tabla 24. Promedios de pH y temperatura durante las diferentes fases experimentales en el influente y en los efluentes de los reactores

Reactor	pH durante los períodos de aplicación de las diferentes cargas orgánicas				Temperatura (°C) durante los períodos de aplicación de las diferentes cargas orgánicas			
	0.8	2	4	6	0.8	2	4	6
Influente	7.69	7.46	7.58	7.45	25.17	22.89	24.26	26.72
R-1	7.64	7.25	7.03	6.97	25.37	23.23	24.22	26.51
R-2	7.55	6.98	6.89	6.86	25.40	22.54	24.83	26.44
R-3	7.75	6.91	6.95	6.89	25.23	22.50	24.46	26.48
R-4	9.78	9.70	8.60	7.59	25.22	22.52	24.22	16.45

* Carga orgánica en g.DQO.m⁻².d⁻¹.

La evaluación de la concentración de SST en los efluentes de los biofiltros indicó que en todos los efluentes se obtienen valores menores de 10mg /L. Para esta calidad del efluente un parámetro más sensible que indica la cantidad de partículas finas en el agua es la Turbiedad. La Turbiedad promedio del agua residual modelo fue de 33.6 UNT. La evaluación de este parámetro en los efluentes indicó valores promedio de 7UNT en R-1 y R-2; valores promedio de 8UNT en R-3 y 22 UNT en R-4.

Las remociones promedio del N-NH₃ durante la aplicación de las diferentes cargas orgánicas se presentan en la Figura 51. Con cargas hasta 2 gDQO.m⁻².d⁻¹ se obtuvieron altos porcentajes de remoción en todos los reactores excepto en el R-4 donde la inhibición por alto pH afectó y la remoción del amoníaco. La remoción del N-NH₃ fue alrededor de 88% cuando las concentraciones de OD se mantenían de 2 mg/L y aumentaba hasta 99.5% cuando se incrementaba el flujo de aire y las concentraciones de OD llegaban a 5 mg/L. Durante la evaluación de la carga 4 gDQO.m⁻².d⁻¹ el OD en los reactores se controlaba a 2 mg/L y como se puede observar en la Figura 5, las remociones promedio determinadas eran menores, entre 40 y 82%. Mejores remociones de N-NH₃ se presentaron en el R-1, intermedias en el R-3 y R-2 (de 69, 62% y 60% respectivamente), y bajas en el R-4. La evaluación de la mayor carga orgánica se realizó manteniendo el OD en los reactores a una concentración de 5 mg/L, mayor que

durante la fase experimental anterior. Como resultado se obtuvieron remociones mayores del N-NH₃ (entre 78 y 91%), la mayor se determinó en el R-3 y R-1. Las menores remociones se presentaron en R-4 y R-2.

El reactor con la cinta Sessil R-3 permitió la acumulación de mayores cantidades de biomasa, seguido por el reactor con cubos de poliuretano R-1. Los reactores con tezontle R-2 y esferas de cerámica R-4 requirieron de retrolavados cada 48h. La frecuencia de retrolavados de los reactores con materiales granulares sintéticos fue menor, una vez por semana. Los tiempos de retención celular determinados en los reactores fueron entre 10 y 39 d, el mayor en los biofiltros con Sessil y con cubos de poliuretano. La cantidad de biomasa en estos reactores fue de 35-48 kg/m³, casi cuatro veces mayor que el promedio del resto de los reactores. Los empaques que proveen un mayor porcentaje de espacios vacíos en el lecho favorecieron la acumulación de mayores cantidades de biomasa en los reactores, permitieron tener mayores tiempos de retención celular y menor frecuencia de retrolavados sin problemas de colmatación del lecho.

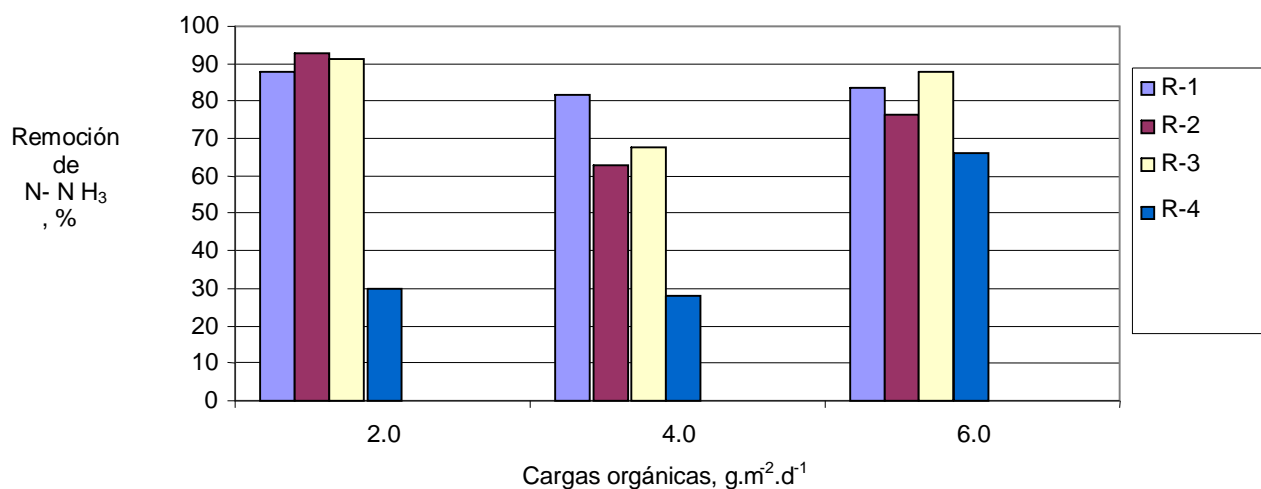


Figura 51. Concentraciones promedio del N-NH₃ en el influente y en los efluentes de los biofiltros, calculadas para las fases experimentales con diferentes cargas orgánicas.

4.7 OBSERVACIONES DE LAS BIOPELICULAS MEDIANTE MICROSCOPIO ELECTRONICO

Se utilizó el Servicio Académico de Microscopía Electrónica de Barrido (SAMEB), mediante el uso del equipo JEOL JSM6360LV; microscopio electrónico del Instituto de Limnología U.N.A.M. como una herramienta para la investigación de la estructura de biopelículas adheridas al medio de soporte de manera tridimensional, sin destruirlas, ya que no siempre presentan estructuras homogéneas, con poblaciones mixtas de microorganismos. Con ayuda de este instrumento se observó los medios de soporte utilizados en el experimento, con las vistas del consorcio microbiológico que integra la biopelícula.

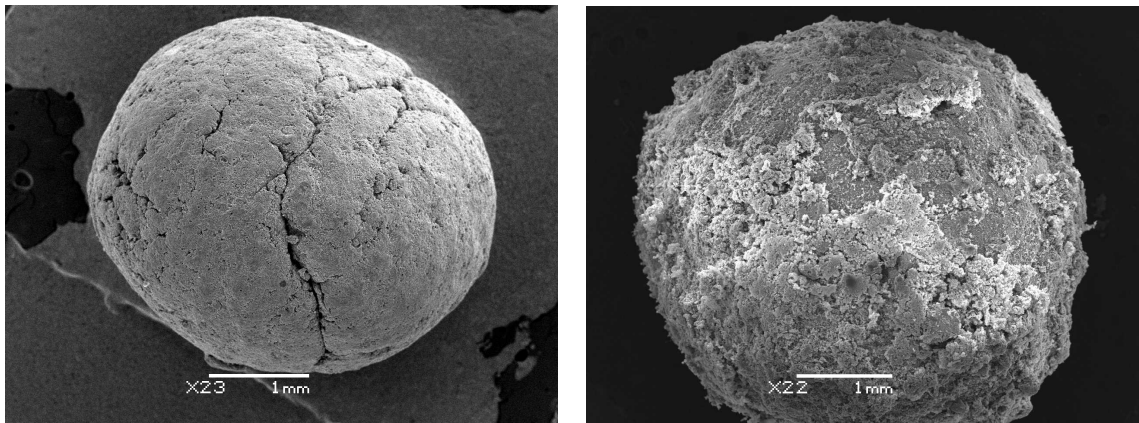
La Figura 52 presenta las fotografías del material natural de esferas de cerámica, en forma natural antes de la experimentación y después del estudio, con las biopelículas a escalas adecuadas para su apreciación.

La Figura 53 muestra las imágenes fotográficas hechas del tezontle, el otro material natural, después de la experimentación donde se aprecia la diversidad de la biopelícula.

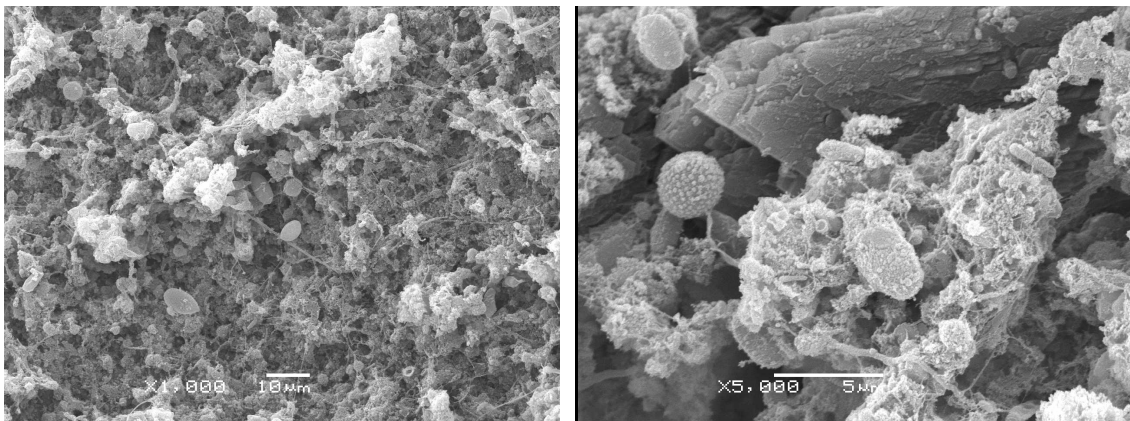
En la Figura 54 se muestran las imágenes fotográficas de los materiales plástico sintéticos, la cinta sessil y los cubos de poliuretano.

Las imágenes presentadas en las figuras anteriores fueron hechas con un microscopio electrónico, con capacidad de zoom de hasta X100,000. La biomasa adherida a los materiales corresponde a la última fase de la operación experimental, los microorganismos encontrados en ellas se pueden considerar como representativos de las fases anteriores.

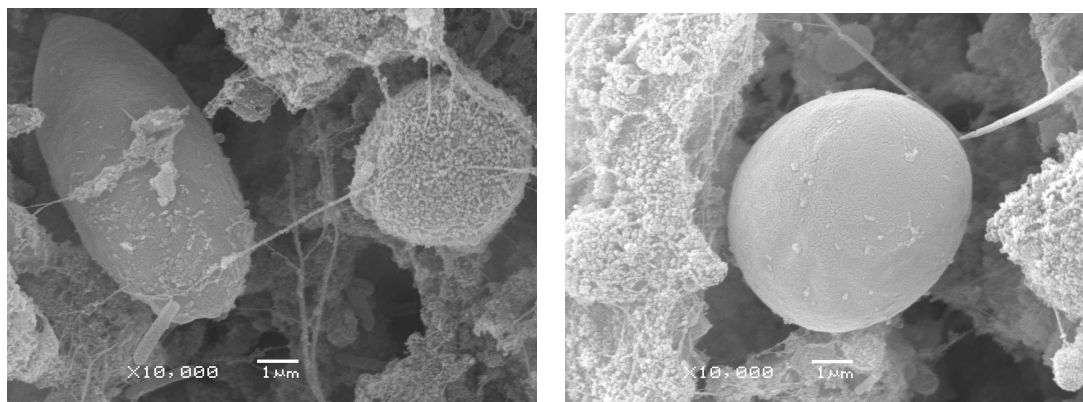
Como se pudo ver en las fotografías, los materiales utilizados en el estudio alojaron adecuadamente los microorganismos, los cuales colonizaron la superficie para formar la gran diversidad de las biopelículas. Es importante destacar que los microorganismos encontrados, no son similares entre si. Se observaron bacterias de diferentes tipos, cocos y bacilos, filamentosas, así como hongos y algunos protozoarios. Fue mayor el grosor y la densidad de las biopelículas desarrolladas sobre los materiales naturales.



a) Esfera de cerámica natural (izq.) y cubierta de biopelícula (der.)

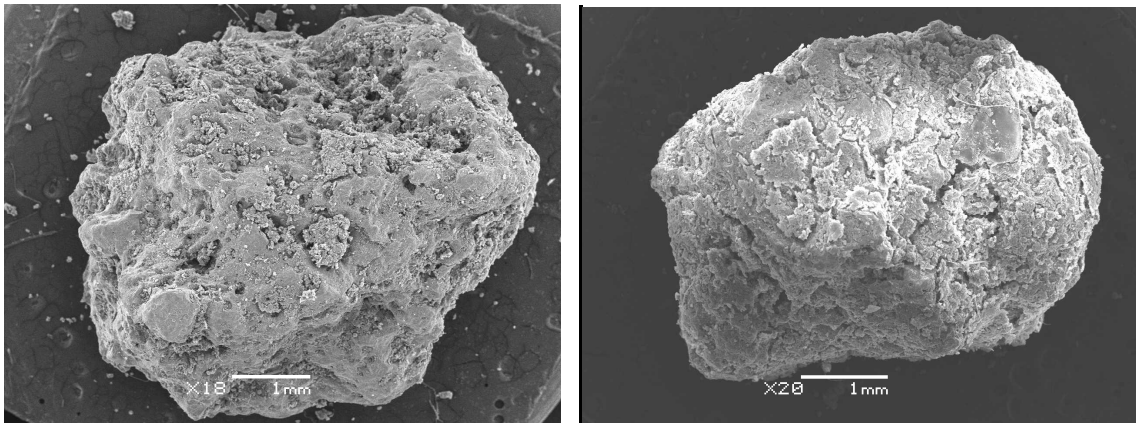


b) Vista de las microcolonias mixtas.

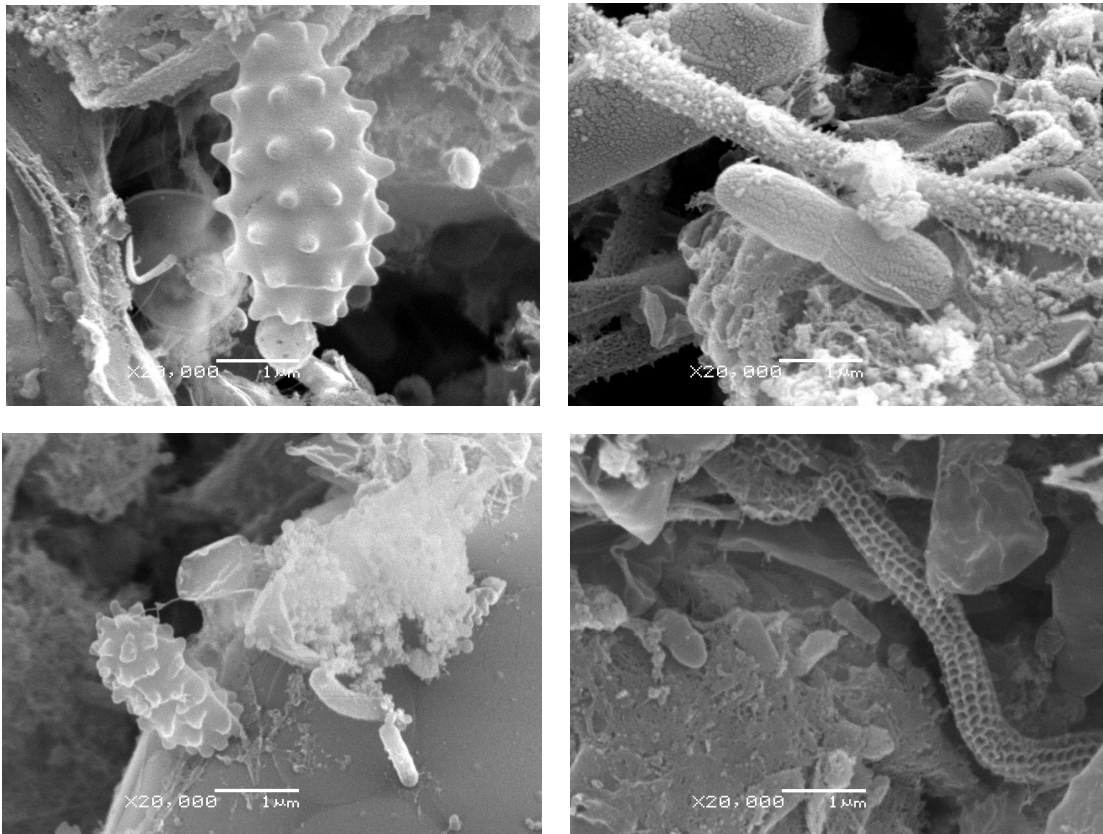


c) Presencia de microorganismos.

Figura 52. Observación en microscopio del material de empaque del reactor de esferas de cerámica.

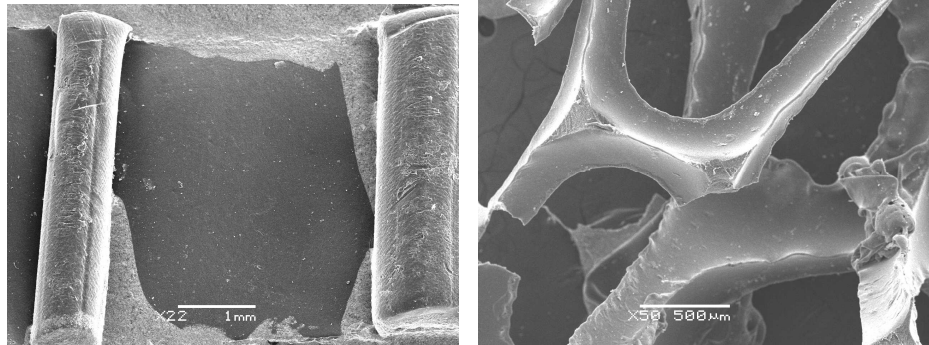


a) Granos de tezontle con biopelícula adherida

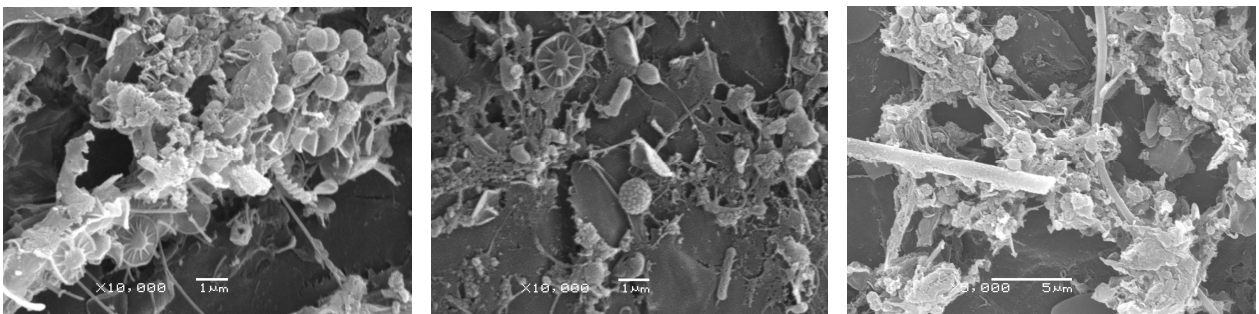


b) Diversidad de microorganismos vistos en la biopelícula

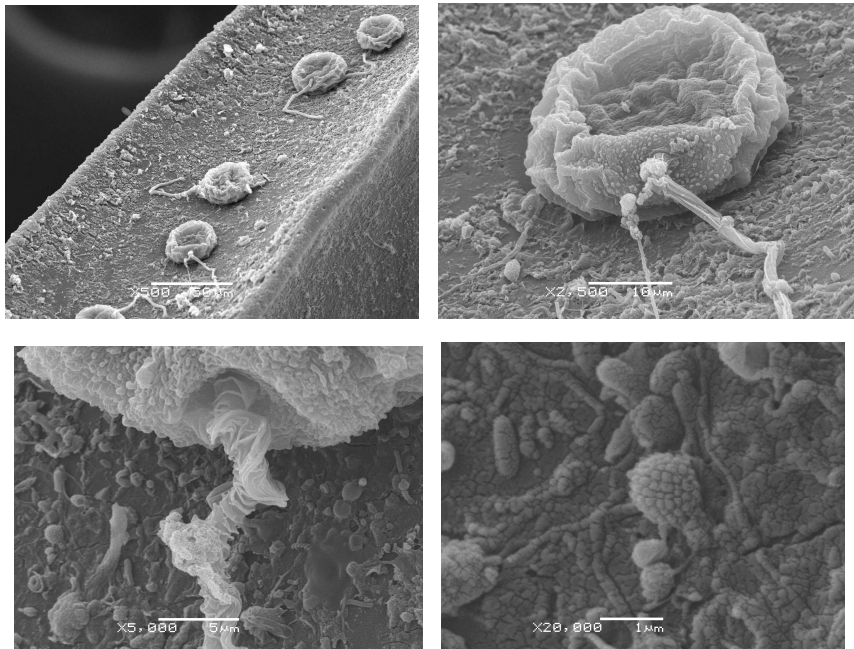
Figura 53. Material de empaque del reactor de tezontle visto en el microscopio.



a) Materiales plástico sintéticos, Cinta SESSIL (izq.) y cubos de poliuretano (der.)



b) Población microbiana similar en toda la biopelícula adherida a la cinta SESSIL



c) población microbiana de la biopelícula adherida a los cubos de poliuretano.

Figura 54. Materiales plástico sintéticos de empaque de los reactores de cinta SESSIL y cubos de poliuretano visto con el microscopio.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sistema de tratamiento de aguas residuales municipales mediante biofiltros aerobios de lecho sumergido, con un área específica de $1030-1,210 \text{ m}^2/\text{m}^3$, operados en continuo, con un flujo descendente, presenta altas tasas de degradación de la materia orgánica, es compacto y permite obtener un agua de alta calidad, adecuada para su uso en servicios al público.

Los biofiltros aerobios de lecho sumergido, operados con cargas orgánicas, hasta $2 \text{ gDQO}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ presentaron tasas específicas de remoción de DQO muy similares; a mayores cargas orgánicas (hasta $6 \text{ gDQO}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) se presentaron diferencias y los mejores resultados se obtuvieron en los reactores con los materiales sintéticos cinta SESSIL y cubos de poliuretano. La concentración de la DQO en los efluentes de los reactores fue entre 30 y 70 mg/L durante toda la fase experimental.

El reactor con tezontle tuvo un buen desempeño con cargas orgánicas de hasta $4 \text{ gDQO}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, después de lo cual se observó una disminución en su capacidad de remoción.

La remoción del N-NH_3 depende más de la concentración de oxígeno disuelto en el reactor que de la carga orgánica. El efecto de la carga orgánica es mayor a menores concentraciones del oxígeno disuelto.

Con una concentración del oxígeno disuelto de 5 mg/L se pueden obtener remociones del amoníaco de hasta 99% con cargas orgánicas menores a $2 \text{ gDQO}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ y hasta 91% con cargas orgánicas de hasta $6 \text{ gDQO}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Mejores remociones de N-NH_3 se presentaron en el reactor con cubos de poliuretano. Fueron también altas las remociones en los reactores con cinta SESSIL y con granos de tezontle.

Conclusión de la operación de los biofiltros aerobios de lecho sumergido:

El reactor con la cinta sessil no generó problemas de operación ya que no se colmataba con el crecimiento de la biopelícula, ni por los sólidos retenidos, por lo que no se retrolavaba, no hubo problemas de inestabilidad en ningún momento de su operación continua.

Para el reactor de cubos de poliuretano tampoco requirió retrolavados. Se realizaban aumentos en el flujo de aire para asegurar las condiciones hidráulicas en el reactor.

Los reactores de tezontle y esferas de cerámica si necesitaron retrolavados, ya que si presentaron problemas de colmatación.

La estructura de reactor con cinta sessil permite la acumulación de mayores concentraciones de microorganismos, tanto por su forma y por su colocación, seguida por el medio filtrante del reactor con de cubos de poliuretano, finalmente el tezontle y las esferas de arcilla.

Teniendo como principal ventaja la de los materiales naturales utilizados en el estudio de experimentación, que son fáciles de conseguir y bastante económicos con respecto a los materiales plástico sintéticos existentes en el mercado, se puede ajustar y generar un sistema de tratamiento, el cual de cómo resultado agua de alta calidad.

RECOMENDACIONES

Considerando que los materiales naturales tezontle y esferas de cerámica son de fácil adquisición y bajo costo, además de que su uso en los biofiltros de lecho sumergido permitió obtener un efluente de alta calidad, se recomienda su aplicación en plantas paquete para pequeñas poblaciones, aplicando cargas orgánicas $\leq 2 \text{ gDQO.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ y considerando que las áreas específicas de ambos materiales se pueden ajustar a las necesidades requeridas, variando el tamaño de las partículas.

ANEXO 1

ELABORACION DE ESFERAS DE ARCILLA

FABRICACIÓN DE LAS ESFERAS DE CERÁMICA

Las fases principales en la fabricación son:

- 1 Obtención de la materia prima
- 2 Preparación de la materia prima
- 3 Modelado de esferas
- 4 Cocción

MATERIAS PRIMAS PARA FABRICAR LAS ESFERAS DE CERÁMICA

Las materias primas esenciales son la arcilla y el agua.

ARCILLA

Es un material complejo, pero sus dos características principales son el pequeño tamaño de sus partículas y la elevada proporción de "minerales de arcilla" en la mezcla. El componente mineral de la arcilla deriva de la erosión de las rocas. El tamaño de sus partículas y las características de estos minerales proporcionan a la arcilla las propiedades físicas y químicas que permiten modelarla y cocerla, creando la cerámica. Las arcillas pueden ser de dos clases: *estáticas* y *sedimentarias*. Las primeras se forman por la descomposición de rocas en el mismo lugar de su formación y suelen ser más puras, pero menos plásticas; las segundas, se forman mediante procesos sedimentarios por la acción del viento, del agua o de fenómenos periglaciares y suelen ser más finas y plásticas.

AGUA

La mezcla de arcilla y agua da lugar a un medio plástico moldeable, que se puede tornearse y cocer.

PREPARACIÓN DE LA ARCILLA

Al ser obtenida la arcilla de un banco seleccionado, en cual se encuentra en la localidad de San José, en el municipio de Tlayacapan, Morelos. El cual es utilizado por los artesanos alfareros del lugar.

En primer lugar debemos mencionar la purificación: la extracción de materiales no deseados, como las raíces y otras sustancias orgánicas, o de granos grande; se criba y se muele para obtener un producto regular y uniforme. En segundo lugar, se toma una porción de arcilla se adiciona muy poca agua hasta formar una mezcla la cual sea fácil de moldear quedando una masa de consistencia plástica.

MODELADO

El moldeado fue hecho a mano, dando solo el tamaño de esfera necesario. Tomando solo lo necesario para tener una esfera de aproximadamente 5 mm de diámetro, se presionaban las palmas de la mano se giraban y se formaba la esfera.

COCCIÓN EN HORNO CERRADO

El propósito de la cocción es transformar los minerales de arcilla en un material nuevo, la cerámica. En algunas arcillas los cambios se producen al alcanzar los 550-600°C. La cerámica que no alcanza esta temperatura durante la cocción suele desintegrarse cuando se le sumerge en agua.

Se utilizó un horno con capacidad de calentar los 1200°C para cocer cerámica. Para nuestro caso se depositan los recipientes a cocer con las esferas previamente secas para evita fracturas por cambios fuertes de temperatura. Esta cocción se efectuó a altas temperatura a 900°C lo cual las hace más regulares en sus propiedades.

ANEXO 2

FORMA DE UTILIZACION CINTA SESSIL

FABRICACIÓN DEL ESCOBILLON DE CINTA SESSIL

Las fases principales en la fabricación son:

- 1 Obtención de la cinta sessil
- 2 Limpieza y preparación de la cinta
- 3 Corte y acomodo
- 4 Trenzado

La fabricación del escotillón con cinta sessil comienza con la obtención de está, la cual es material de importación de origen Alemán hecho por la empresa N.S.W., el cual puede ser conseguido por distribuidores en México.

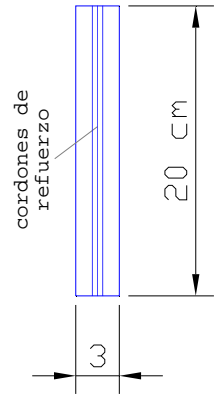
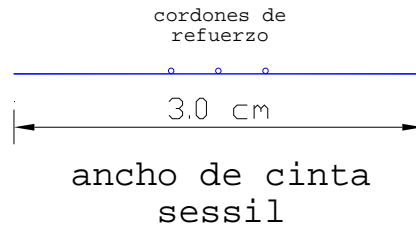
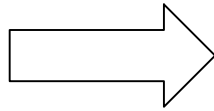
Obtenido el material, ya que es entregado en un montón a granel, es separado para efectuar su lavado y limpieza, teniendo cintas individuales de aprox. 9.0 m. de longitud posteriormente se corta en tramos de 15 cm. (quedando los tramos de 15 cm. de largo por 3.0 cm de ancho) y se acomodan en grupo de ocho tramos.

Agrupados los tramos de cinta se trenzan con alambre para posteriormente unirlos a un eje central de 90 cm de altura.

Ver diagrama para comprensión de la elaboración de escobillón.

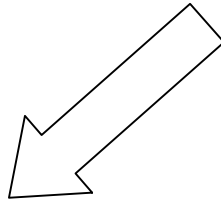
DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA ELABORACION DEL ESCOBILLON

tramos de cinta sessil

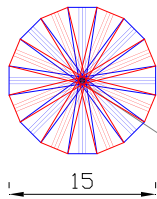
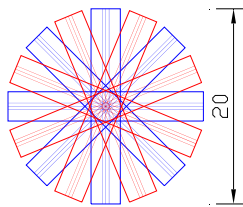


Obtención del material y Limpieza.

corte de la cinta en tramos

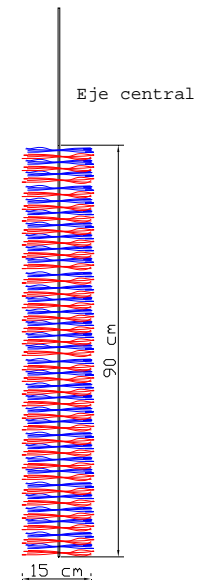
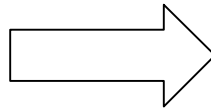


Acomodo de tramos de cinta sessil



trenzado con alambre

Ajuste por trenzado



Escobillón de cinta sessil

Acomodo y trenzado

Producto final Escobillón

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- METCALF & EDDY, **"Wastewater Engineering, treatment, disposal reuse"**, Third Edition, McGraw-Hill International Editions, Civil Engineering Series, USA, 1991.
- CRITES & TCHOBANOGLOUS, **"Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Comunidades"** Primera Edición, McGraw-Hill Interamericana S. A., Colombia, 2000.
- FREDERICK S. MERRITT **"Manual del Ingeniero Civil"** Tercera edición, Tomo IV, McGraw-Hill. México, 1996.
- R. S. RAMALHO, **"Tratamiento de Aguas Residuales"** Segunda edición, Editorial Reverte S. A., España, 2003.
- HAROLD E. BABBITT Y ROBERT BAUMANN, **"Alcantarillado y tratamiento de aguas negras"** Primera edición, C. E. C. S. A., México. 1980
- LARRY W. CANTER & ROBERT G. KNOX, **"Septic tank system effects on ground water quality"**, Lewis Publishers, Inc., USA, 1985.
- M. A. WINKLER **"Tratamiento biológico de aguas de desecho"** Tercera edición, Editorial LIMUSA S.A. de C.V. México, 1994.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, Cahiers Techniques de la Direction de la prevention des pollutions, **"Assainissement individuel"**, France, 1981.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos, Jefatura de agua potable y alcantarillado Fosas Sépticas, **"Métodos de tratamiento para pequeños volúmenes de aguas negras domésticas"**, México, D. F., 1960.
- R. LOPEZ RUIZ, **"AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES Y BIODISCOS Elementos básicos, caracterización, tratamiento y reusos"** Primera edición, U.N.A.M. Facultad de Ingeniería, División de Ingeniería Civil Topografía y Geodésica, México, D.F. 2003.

M. A. GAMRASNI, **"Aprovechamiento Agrícola de las aguas negras urbanas"**, Primera Edición, Editorial LIMUSA S.A. de C.V. México, 1985.

DEPARTMENT OF HEALTH, Education and Welfare, **"Manual of septic - tank practice"**, USA, 1959.

AS 1546-1990, Australia Standards, **"Australian Standard for Small Septic Tanks"**, Fourth Edition, Australia, 1990.

Normas de proyecto para obras de aprovisionamiento de agua potable en localidades urbanas de la Republica Mexicana, U.N.A.M. Facultad de Ingeniería, D. I. C. T. G., Departamento de Hidráulica, México, D.F. 1979.

U.N.A.M. Facultad de Ingeniería, División de Ingeniería Civil Topografía y Geodésica, Departamento de Hidráulica **Normas de proyecto para obras de alcantarillado sanitario en localidades urbanas de la Republica Mexicana**, México, D.F.

Chinesse National Standard, **"Construction Parts of Glassfiber Reinforced Plastic Septic Tank"**, Classified No. k3086, No. General 11658, China, 1986.

Canadian Standards Association, **"Prefabricated Septic Tanks and Sewage Holding Tanks"**, CAN/CSA-B66-M90, Canada, 1990

Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales

Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal

Norma Oficial Mexicana NOM-003- SEMARNAT -1997 que establece los limites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que sé reusen en servicios al público

Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, protección ambiental.- lodos y biosólidos.-especificaciones y límites máximos permisibles de Contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-1993 **"Sistema general de unidades de medida"**, México, 1993.

Norma Oficial Mexicana NOM-050-SCFI-1994 **"Información comercial. Disposiciones generales para productos"**, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, México, 1994.

WATER & WASTE TREATMENT; 1. Aguas residuales 2. Tratamiento de aguas residuales 3. Tecnologías de rehabilitación de aguas negras 4. Plantas de tratamiento de aguas residuales.

WATER SCIENCE & TECHNOLOGY; 1. Tratamiento de aguas residuales 2. Calidad del agua 3. Plantas industriales 4. Plantas de tratamiento de aguas residuales

Plantas de tratamiento.- En: WATER ENVIRONMENT AND TECHNOLOGY, 12(12) Dic.: p 80. (2000).

Plantas municipales de tratamiento.- En: WATER ENGINEERING AND MANAGEMENT, 147(11) Nov. : p 32. (2000).

Mejía Maravilla, Enrique. **Principales aspectos que hay que considerar en los proyectos de plantas para el tratamiento de aguas residuales municipales.-** En: TLALOC, 7(18) Abril-Junio.: p 13. (2000).

Murillo Fernández, Rodrigo. **Obra civil de plantas de tratamiento: factores que afectan el funcionamiento.-** en: artículos UNAM, Panorama: 6-19. p 1294.

Morgan Sagastume, Juan Manuel. **Malos olores en plantas de tratamiento de aguas residuales. Su control a través de procesos biotecnológicos.-** En: INGENIERIA Y CIENCIAS AMBIENTALES, 10(41) Marzo-Abril.: p 22. (1999).

Aravinthan V., Takizawa S. and Fujita K. **Nitrogen removal from domestic wastewater using immobilized bacteria.** *Proceedings of the 18th IAWQ International Conference, Singapur*, p 367-374. (1996).

Canler J.P. and Perret J.M. **Biological aerated filters: Assessment of the process based on 12 sewage treatment plants.** *Wat. Sci. Tech.* 29 (10-11), p 13-22. (1994).

Farabegoli G., Carucci A., Gandolfo G., Rolle E. and Vipotty P. **Experimental study on carbon removal in biological aerated filters.** *Wat. Sci. Tech.* 48 (11-12), p 235-242. (2003).

Gonçalves R.F., Le Grand L. and Rogalla F. **Biological phosphorus uptake in submerged biofilters with nitrogen removal.** *Proceedings of the 17th IAWQ International Conference*, Budapest, Hungria, p 257-265. (1994).

Hamoda M. F. **Kinetic analysis of aerated submerged fixed-film (ASFF) bioreactors.** *Wat Res.* 23(9), p 1147-1154. (1989)

Meaney B.J. and Strickland E.T. **Operating experiences with submerged filters for nitrification and denitrification.** *Wat. Sci. Tech.*, 29 (10-11), p 119-125. (1994).

Mendoza-Espinoza L. and Stephenson T. **A review of biological aerated filters (BAFs) for wastewater treatment.** *Env. Eng. Sci.* 16(3), p 201-216. (1999).

Moore R., Quarmby J. and Stephenson T. **The effects of media size the performance of biological aerated filters.** *Water Research* 35 (10), p 2514-2522. (2001).

Peladan J.G., Lamel, H. and Pujol R. **High nitrification rate with upflow biofiltration.** *Proceedings of 18th IAWQ Biennial International Conference*. Singapur, p 344-350. (1996).

Robinson A.B., Brignal W. J. and Smith A.J. **Construction and operation of a submerged aerated filter sewage treatment works.** *J. IWEM.* 8, p 215-227. (1994).

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th edition, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA. (1998).

Wuertz S., Bishop P. and Wilderer P. **Biofilms in Wastewater Treatment. An Interdisciplinary Approach.** IWA Publishing, UK. (2003).