



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**DIAGNOSTICO FISICOQUÍMICO DEL AGUA PARA
REÚSO EN CIUDAD UNIVERSITARIA, UNAM.**

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

QUÍMICA

PRESENTA

CLAUDIA SILVA SANDOVAL



MÉXICO, D.F.

2009.



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.

GRACIAS

A mis padres

María Guillermina Sandoval Ugaldé †, mami te agradezco todo lo que viví a tu lado, tu apoyo fue decisivo para llegar al final, te adelantaste pero sé que estas con migo hasta el final.

Manuel Silva Abarea †, empezamos juntos mi carrera y sé que me sigues hasta el final, tu apoyo fue muy importante durante la carrera, tu compañía en mis trayectos, en mis noches y madrugadas fueron 1000. Gracias pa'.

A mis Hermanas

Guille, por estudiar química, sin ti yo creo no le hubiera encontrado el chiste y mis hijos no tendrían su juguete favorito.

Horté, por siempre acompañarme, hasta en la escuela, por estar con migo y con mi familia.

A mi Paty

Por siempre estar conmigo tanto en las malas como en las más malas, por apoyarme en mis locuras, por nunca dejarme sola, por quererme como me quiero, gracias Mami'.

A mis Hijos

Cicel, mi niña hermosa, gracias por aguantar el ritmo de trabajo mientras estudiaba, sin tu nobleza no hubiera seguido, eras la personita que me acompañó hasta en clases y tu fuerza me alentaba a seguir adelante.

Luis (transformer) mi niño precioso, gracias por donar tu tiempo para que yo terminara este proyecto, y por todos los momentos de interrupción, te amo bebé.

A mi Esposo

Cosa, te amo, por darme todos los días una razón para no detenerme y seguir adelante, por tu cariño y apoyo, por nunca dejarme caer.

A mi sobrina

Yesi, gracias por acompañar a tu hermana cuando yo no podía estar con ella.

A Mirzga Téllez

Mirzquita compañeras en la escuela y grandes amigas en la vida, te quiero mucho.

Ana Cedeño

Somos de ideas opuestas pero con un enlace muy sincero... nuestra amistad.

A Eréndira Castillo

Tanto tiempo juntas, tantas cosas entre nosotras, tantos exámenes tanto que recordar y tanto que nos falta por vivir, mi gran amiga.

A Edgar Mixcoac

Ojo, pocas clases pero mucho cariño muy sincero.

A Fabián Urbina †

Le doy las gracias al destino de haberte puesto en mis clases y junto a mi banca así pude ser tu amiga y no solo tú compañera de clases No sabes cómo te extraño, no muy loco haga arriba he i

A Todos mis amigos de la Facultad, Joel Magallón (el primer amigo que tuve en la Fac.), Belen (que linda, sobre todo a la hora de inscribirme), a Miryam, a Flavio, a Marco, a mi querida Adela Lemus, a Lupita Urquiza por tu orientación en el servicio social, no solo te preocupabas por lo académico si no por lo personal, a mis compañeros y amigos del instituto de Ingeniería por este tiempo juntos; Julio Ramírez gracias por acompañarme en esas consultas de media noche.

Las palabras sobran, cuando sabes cuánto te debo, gracias a ti.

A la Dra. Orta Ledesma por dejarme ser parte de su equipo de trabajo y hacer posible mi titulación, aprendí mucho haciendo este trabajo.

A la Dra. Nefelí Rojas por su apoyo, dirección y amistad, por haberme dado la oportunidad de trabajar con ella, y poderla conocer como persona, he impulsarme a seguir adelante.

Gracias a la Dra. Orta y a la Dra. Nefthalí por ser de las pocas personas que se preocupan por el ambiente.

Al Dr. Gracia Fadrique y al Dr. Duran Moreno, por su ayuda en la revisión de este trabajo.

Al instituto de ingeniería de la UNAM, por darnos a los estudiantes todo lo necesario para llevar a cabo los proyectos de investigación donde podemos participar libremente y aprender gracias al apoyo académico y económico que nos proporcionan.

Gracias a mi casa de estudios, Universidad Nacional Autónoma de México, al recibirme en el Colegio de Ciencias y Humanidades plantel Vallejo, donde inicié mi vida como "PUMÁ" para seguir en la Facultad de Química de Ciudad Universitaria y poder decir hoy

“ORGULLOSAMENTE HECHO EN CU”.



El camino es complicado y a veces muy pesado, depende de nosotros hacerlos más fácil o más difícil de lo que ya es. No todas las profesiones son difíciles o para gente muy estudiosa, todo depende del lo que uno quiera hacer, todos podemos estudiar si de verdad lo queremos.

En la facultad no solo aprendí a contar electrones o hacer una solución o saber que si junto x con y no siempre resulta una bomba de humo, aprendí también que muchas veces en el laboratorio no nada más se obtienen resultados siguiendo las indicaciones, también cuenta mucho nuestra intuición y nuestra habilidad con los reactivos y equipos, que cuatro horas son pocas cuando te metes en la práctica y te falta tiempo para aprender más.

Aprendí que una familia es muy compatible con una carrera; difícil sí; pero compatible, que te tienes que pararte antes y dormirte después, que todos dependemos de todos para que el equipo funcione, para que el resultado sea posible y bueno. Aprendí junto con mis niños que la escuela es lo mejor que tenemos y que no importa lo difícil que parezca, si lo quieres se puede.

Aprendí que puedo ser grande porque vengo de una familia grande para educar a niños grandes.

A Cielo, Luis y Yessi no se conformen con lo que les demos siempre vayan por más, recuerden que tiene que pasar esta licenciatura; si yo pude imagínense ustedes.

Claudia Silva Sandoval



GRACIAS



A



COMO



Í N D I C E

CONTENIDO	PÁGINAS
Índice	I
Lista de figuras	III
Lista de tablas	VI
Resumen	VIII
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.	1
CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES: Manejo de Aguas residuales en Ciudad Universitaria.	3
2.1 Datos de Ciudad Universitaria	3
2.2 Una breve descripción de las plantas de tratamiento de aguas residuales en Ciudad Universitaria	5
2.2.1 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ciudad Universitaria (PTARCU)	5
2.2.2 Fosas sépticas con post-tratamiento para aguas residuales en Ciudad Universitaria, Plantas tipo BRAIN.	8
2.2.3 Planta de tratamiento de aguas negras Facultad de Ciencias Políticas y Sociales	12
2.2.4 Planta de tratamiento de aguas residuales Edificio 12 del Instituto de Ingeniería.	13
2.3 Cronología del manejo de las aguas residuales en C.U.	15
2.4 Sistema de riego en Ciudad Universitaria.	23
CAPÍTULO 3.	24
3.1 Justificación	24
3.2 Objetivo	25
3.3 Hipótesis	26
CAPÍTULO 4. MARCO TEÓRICO.	27
4.1 El agua en México	27
4.1.1 Recursos hidrológicos de México	27

4.1.2 Calidad del agua en México	30
4.2 Aguas residuales	31
4.2.1 Definición y clasificación de aguas residuales	31
4.2.2 Contaminantes de las aguas residuales	32
4.2.3 Sistemas de tratamiento de aguas residuales en México	33
4.2.4 Usos de las aguas residuales	35
4.2.5 Sistema de riego con aguas residuales	39
4.2.6 Recarga de acuíferos	42
4.2.7 Aspectos sanitarios en el uso de aguas residuales para riego	45
4.2.8 Normatividad en materia de aguas residuales en México	46
 CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA.	 48
5.1 Materiales y equipos.	51
5.1.1 Recolección de muestras	51
5.2 Parámetros de control	52
 CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	 55
6.1 Análisis de resultados primera parte "Plantas tipo BRAIN"	55
6.1.1 Parte 1A - Determinación de calidad del efluente de las plantas tipo BRAIN	55
6.2 Análisis de resultados segunda parte	65
6.2.1 Parte 2A y 2B.- Determinación de calidad del agua de reuso para riego de áreas verdes en la cisterna central y aspersores.	65
 CAPÍTULO 7.	 74
7.1 Conclusiones	74
7.2 Recomendaciones	76
 BIBLIOGRAFÍA	 77
 INFORMACIÓN ELECTRÓNICA	 79
 ANEXO 1 Estado físico de las plantas de tratamiento tipo BRAIN	 82
 ANEXO 2 Normas Oficiales Mexicanas	 101

LISTA DE FIGURAS

No. DE FIGURAS	CONTENIDO	PÁGINA
Figura 1	Vista de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ciudad Universitaria “Cerro del Agua”	6
Figura 2	Diagrama de flujo de la PTARCU	7
Figura 3	Diagrama de flujo de procesos para instalaciones de 5 m ³ /d	9
Figura 4	Diagrama de flujo de procesos para instalaciones de 10 y 15 m ³ /d	10
Figura 5	Bio-reactor Anaerobio Integrado	10
Figura 6	Diagrama de flujo del Bioreactor Anaerobio Integrado	11
Figura 7	Planta de tratamiento de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales.	12
Figura 8	Diagrama de flujo planta de Ciencias Sociales	13
Figura 9	Planta de tratamiento edificio 12 de la Facultad de Ingeniería.	14
Figura 10	Diagrama de flujo PTR A edificio 12 del Instituto de Ingeniería.	14
Figura 11	Riego con aspersores en la zona central	23
Figura 12	Regiones faunística y ecosistemas principales.	28
Figura 13	Usos del agua.	29
Figura 14	Regiones con conflictos de cantidad, calidad y usos por sobreexplotación de acuíferos.	30

Figura 15	Distrito de riego #03 y #100	38
Figura 16	Técnicas de regadío	39
Figura 17	Disponibilidad relativa de aguas subterráneas	43
Figura 18	Filtración por superficie	44
Figura 19	Filtración por perforación	45
Figura 20	FS - 01 Registro de Aspirantes (oficinas)	56
Figura 21	FS - 07 Caseta de vigilancia circuito Mario de la cueva	56
Figura 22	FS - 08 Vivero alto (Cabaña1)	57
Figura 23	FS - 25 UDUAL	57
Figura 24	Comportamiento de la temperatura, conductividad y pH del efluente en agua residual tratada para infiltración.	59
Figura 25	Comportamiento de la DBO ₅ del efluente en agua residual tratada para infiltración.	60
Figura 26	Comportamiento de los SDT y DQO del efluente en agua residual tratada para infiltración.	60
Figura 27	Comportamiento de los SST del efluente en agua residual tratada para infiltración.	61
Figura 28	Comportamiento de los Surfactantes del efluente en agua residual tratada para infiltración	62
Figura 29a y 29b	Comportamiento de la temperatura, conductividad y pH, en agua residual tratada para riego en la zona central	68

Figura 30a y 30b	Comportamiento de la DBO ₅ en agua residual tratada para riego en la zona central	69
Figura 31a y 31b	Comportamiento de los SST en agua residual tratada para riego en la zona central	70
Figura 32a y 32b	Comportamiento de los Surfactantes en agua residual tratada para riego en la zona central	70
Figura 33a y 33b	Comportamiento de los SDT y DQO en agua residual tratada para riego en la zona central	71

LISTA DE TABLAS

No. DE TABLAS	CONTENIDO	PÁGINA
Tabla 1	Cisternas de almacenamiento de Aguas Residuales en C.U.	6
Tabla 2	Parámetros analizados desde 1969 al 2000	22
Tabla 3	Composición típica de aguas residuales domésticas no tratadas	32
Tabla 4	Estados de la república donde más se práctica el reuso	33
Tabla 5	Plantas de tratamiento de aguas residuales en operación en el Distrito Federal	34
Tabla 6	Sectores que usan agua residual doméstica en México	36
Tabla 7	Ubicación y estado actual de las plantas tipo BRIAN	49
Tabla 8	Parámetros fisicoquímicos utilizados en la determinación de la calidad del agua residual de las plantas tipo BRAIN	52
Tabla 9	Parámetros fisicoquímicos utilizados en la determinación de la calidad del agua residual utilizada en riego de áreas verdes "Cisterna central"	53
Tabla 10	Promedio total de parámetros fisicoquímico de las plantas tipo BRAIN.	63
Tabla 11	Plantas que cumplen con la NOM-001-SEMARNAT-1996 Uso público urbano	64
Tabla 12	Promedio total de parámetros fisicoquímico de la Cisterna central.	66
Tabla 13	Resultados de parámetros fisicoquímico "Aspersores zona central".	67

Tabla 14	Resultados para grasas y aceites en agua de riego de la cisterna central.	72
Tabla 15	Resultado de los parámetros establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT1997	72

RESUMEN

La UNAM cuenta con un programa de tratamiento de aguas residuales que consta de dos plantas de tratamiento de aguas negras, una en Cerro del Agua, con un tratamiento de tipo biológico secundario. El agua tratada es utilizada en el riego de las áreas verdes de C.U. y otra instalada en la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, que ocupa un proceso de tratamiento aerobio de biomasa fija sumergida.

También se cuenta con una serie de 26 plantas de tratamiento anaerobio *in situ*, (plantas tipo BRAIN), distribuidas en C.U. para el tratamiento de aguas residuales, esto con la finalidad de darle un tratamiento total a las aguas generadas en C.U. La disposición final del efluente tratado de estas plantas es para infiltración al acuífero.

El presente trabajo evalúa la calidad del agua tratada en C.U. mediante parámetros fisicoquímicos establecidos por las normas mexicanas vigentes en materia de agua, relacionadas con aguas residuales tratadas para infiltración al acuífero y aguas tratadas para riego de áreas verdes.

Para las plantas tipo BRAIN se hizo una relación para verificar cuantas y cuáles de las 26 plantas instaladas se encuentran en operación y cuál es su estado actual. Se encontró que sólo 19 plantas se encuentran en operación, de las cuales 15 se estudiaron y 7 están fuera de servicio. El análisis indica que el 60% de las plantas no cumplen con ninguno de los parámetros medidos, el 13% de las plantas cumplen con todos los parámetros medidos y el 26% restante de las plantas no cumplen con alguno de los parámetros medidos y establecidos por las normas mexicanas vigentes para disposición al subsuelo

Para el agua proveniente de la PTARCU (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de C.U) utilizada en riego de la zona denominada como las ISLAS, se evaluó la calidad del agua mediante parámetros fisicoquímicos, se realizaron

muestreos tanto del agua almacenada en la cisterna central como de los aspersores utilizados en esa zona.

Los resultados obtenidos muestran que la calidad del agua utilizada para riego no es apta para su reúso, y que no cumplen con los límites máximos permisibles establecidos por las normas mexicanas vigentes para riego de áreas verde con contacto directo al público, para SST y DBO₅ establecidos en 20 mg/L, obteniéndose resultados de 28 a 50 mg/L, para la cisterna central y de 14 a 74 mg/L para aspersores en SST. Para DBO₅ se obtuvieron valores de 25 a 47 mg/L para la cisterna central y de 27 a 55 mg/L para aspersores.

También se efectuó recopilación de los estudios realizados desde 1969 a la fecha sobre el tratamiento de aguas residuales en C.U., creando así un archivo de información para siguientes estudios.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN.

México enfrenta problemas de disponibilidad no sólo por la falta de agua sino también por la calidad deficiente de varias de sus fuentes. La calidad se ve afectada por problema de contaminación que son tanto característicos de países en vías de desarrollo (organismos patógenos) como por la presencia de tóxicos sintéticos frecuentes en países industrializados.

Dichos problemas se generan tanto a partir de las descargas municipales como industriales, ya que el cumplimiento de la normatividad de las mismas es muy bajo.

El reúso planeado de las aguas residuales en Estado Unidos inició a principios de los años 20 en la agricultura en los estado de Arizona y California, en Colorado y Florida se desarrollaron sistemas para el reúso urbano. La normatividad para el reúso también inició en California en la misma época. A partir de 1965, esta normatividad impulsa de manera decisiva el reciclamiento y el reúso de las aguas residuales (Escalante, et al 2008). Actualmente son muchos los países, tanto industrializados como en desarrollo, que utilizan las aguas residuales domésticas para regar terrenos agrícolas. La Organización Mundial de la Salud (OMS) asesora desde hace tiempo a los países en cuestiones sanitarias, ambientales y técnicas para ayudarles a establecer y mejorar los sistemas de utilización de las aguas residuales, especialmente en la región del Mediterráneo Oriental (Hespanhol, 1992).

México no es la excepción a estos problemas de escasez de agua, de su contaminación y de los impactos ambientales generados por su uso inadecuado, debido a la creciente demanda de aguas subterráneas y a su lenta renovación, en los últimos 40 años la reserva de cerca de 100 acuíferos fue minada por sobreexplotación y se sigue mermando al ritmo actual de unos 5,400 millones de metros cúbicos por año ($Mm^3/año$). Un grave impacto ecológico fue generado en las primeras décadas de sobreexplotación (1960-1980), mediante: agotamiento de manantiales, desaparición de lagos y humedales, merma del gasto base de ríos, eliminación de vegetación nativa y pérdida de ecosistemas. Otros efectos de la sobreexplotación fueron: disminución del rendimiento de los pozos, incremento de los costos de extracción, asentamiento y agrietamiento del terreno, contaminación del agua subterránea, intrusión salina en acuíferos costeros. (NOM-014-CNA-2003).

Por esta razón se han generado programas para la conservación control y uso más eficiente del agua. El 30 de Octubre de 1996 se aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. En 2003 se realiza el Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-014-CNA-2003 "Requisitos para la recarga artificial de Acuíferos"; en el 2005 se realiza la Norma Oficial Mexicana NOM-000-CNA-2005 "Requisitos para la Disposición de Aguas al Suelo y Subsuelo"

La normatividad en materia de calidad del agua es fundamental para realizar el reúso en forma ordenada a la vez que promoverlo y desarrollar un programa de saneamiento de aguas residuales como parte de una estrategia de reúso de agua.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

Manejo de Aguas residuales en Ciudad Universitaria.

2.1 DATOS DE CIUDAD UNIVERSITARIA.

Ciudad Universitaria inició actividades académicas en Marzo de 1954 con cerca de 24,000 habitantes en un área aproximada de 176.5 ha. De las 740 ha que en total conforman CU. Actualmente CU cuenta con una población de 150,000 personas, conformada básicamente por estudiantes, académicos, investigadores, trabajadores y administrativos. El campus cuenta con 240 ha que conforman una reserva ecológica, donde se protege el ecosistema del sur del valle de México, en la zona conocida como el Pedregal, cubierta por lava volcánica, cerca de 270 hectáreas en construcción junto con estacionamientos y 220 hectáreas para riego (Anuario estadístico de la UNAM,2008).

Geológicamente está formada por lavas y piroclásticos basálticos de alta permeabilidad con algunos sedimentos aluviales y lacustres de la edad cuaternaria. El tipo de formaciones geológicas que conforman la zona donde se encuentra ubicada C.U., al suroeste de la Zona Metropolitana del Valle de México, dentro de la zona de Lomas, permite un alto nivel de infiltración a través del suelo, por lo que la zona del Pedregal es considerada como zona de recarga de los mantos acuíferos muy importante dentro de la Ciudad de México junto con la sierra del Ajusco y Magdalena Contreras (Villa, 2000).

Tal magnitud de población demanda 160 litros por segundo (L/s) de agua potable proveniente de tres pozos localizados uno en Facultad de Química (pozo I, 1952) con un gasto de 31 L/s, otro en la zona de Vivero alto (pozo II, reubicado en 1983) con un gasto de 48 L/s, y un tercero en la zona conocida como Multifamiliar (pozo III, 1960) con un gasto 91 L/s. Dando un total de 170 L/s. Para la distribución del agua potable se cuenta con tres tanques de almacenamiento: tanque bajo, tanque alto y tanque del vivero alto con una capacidad total de almacenamiento de 12,000 m³. (DGOCCU, 2008). De este caudal, 70 litros por segundo son captados por la red de drenaje original, la cual abastece la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ciudad Universitaria (PTARCU), que cuenta con una capacidad para tratar 40 litros por segundo; el resto del caudal captado es descargado en la red de drenaje municipal de la ciudad (Noyola, 2004)

La UNAM tiene como política disminuir el impacto en el medio ambiente que provoca su operación como son la generación de residuos sólidos, residuos líquidos y consumo de recursos de energía eléctrica y agua a través de una serie de programas que pretenden reducir el uso de los mismos, reutilizarlos y disponer de manera adecuada los desechos generados, además de utilizar de manera más eficiente los recursos. En el caso del agua, define como su objetivo fundamental lograr el principio de descarga cero, el cual implica que toda el agua que se extrae del subsuelo de CU sea devuelta por medio de infiltración después de utilizarla y tratarla (Villa, 2000).

2.2 UNA BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN CIUDAD UNIVERSITARIA.

Las autoridades de la UNAM consientes del problema de escasez y de los altos costos de extracción de agua potable construyen en 1982 una planta de tratamiento de aguas negras con el fin de ahorrar este recurso mediante la sustitución de agua potable por agua residual tratada para el riego de áreas verdes.

2.2.1 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ciudad Universitaria (PTARCU).

La UNAM observando que, en la época de estiaje la mayor parte del agua que se consume en la Ciudad Universitaria es utilizada para el riego de las áreas verdes, propone varios proyectos para un planta de tratamiento de aguas residuales en C.U. pero no es hasta 1978 cuando, al agudizarse los problemas de agua de la Ciudad de México, las autoridades de la U.N.A.M. y del Departamento del Distrito Federal tomaron un nuevo interés en desarrollar un proyecto definitivo y construir la planta. En 1981 se empezó su construcción para empezar a operar en Septiembre de 1982.

La planta está ubicada en uno de los puntos de menor elevación de C.U., (por lo que la llegada del influente es por gravedad), donde la avenida Cerro del Agua desemboca en el circuito escolar, al noreste de la Facultad de Medicina. Cabe mencionar que antes de la construcción de la planta, ahí existía un tanque para amortiguar los escurrimientos pluviales (Soto, 1983). En esta planta se captan las aguas residuales de diversas zonas de C.U. mediante dos colectores denominados por su procedencia como de zona antigua y zona de institutos, además se tratan las aguas residuales de la colonia Copilco el Alto, con la finalidad de asegurar un caudal constante de agua a tratar en las noches y en los días que disminuye considerablemente la generación de agua residual en el campus, tanto en fines de semana, días feriados y períodos vacacionales (Godínez, 1994). Esta planta cuenta con una capacidad para tratar 40 litros por segundo; el resto del caudal captado es descargado en la red de drenaje municipal de la ciudad. La PTARCU (Figura 1) lleva a cabo un tratamiento de tipo biológico secundario, cuenta con tres procesos de tratamiento en paralelo: lodos activados (20 L/s), discos biológicos (10 L/s) y filtro percolador (10 L/s). El diagrama de flujo se muestra en la Figura 2. El agua tratada, previa filtración y desinfección con cloro, es

utilizada en el riego de las áreas verdes de CU, para lo cual se cuenta con una red de distribución de agua tratada (Noyola, 2004). Actualmente con esta planta se sustituyen aproximadamente 3600 m³/d de agua potable con agua tratada. La planta abastece de agua tratada a doce cisternas que están distribuidas en el campus de la siguiente manera (Tabla 1).

Tabla 1 Cisternas de almacenamiento de Aguas Residuales en C.U.

CISTERNA DE ALMACENADO	UBICACIÓN	VOLUMEN (m ³)
1	Camellón de Facultad de Química	950
2	Campus central	901
3	Consejos académicos	687
4	Estadio olímpico	85
5	Campos de calentamiento	326
6	Campo de beisbol	140
7	Nueva zona deportiva	898
8	Jardín botánico exterior	268
9	Unidad de seminarios	45
10	Tepozán	19
11	Estanque de peces	377
12	Camellón Facultad de Veterinaria	950
Volumen total de almacenamiento		5646

Dirección General de Obras y Conservación UNAM., 2008.



Figura 1 Vista de la **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ciudad Universitaria “Cerro del Agua”**

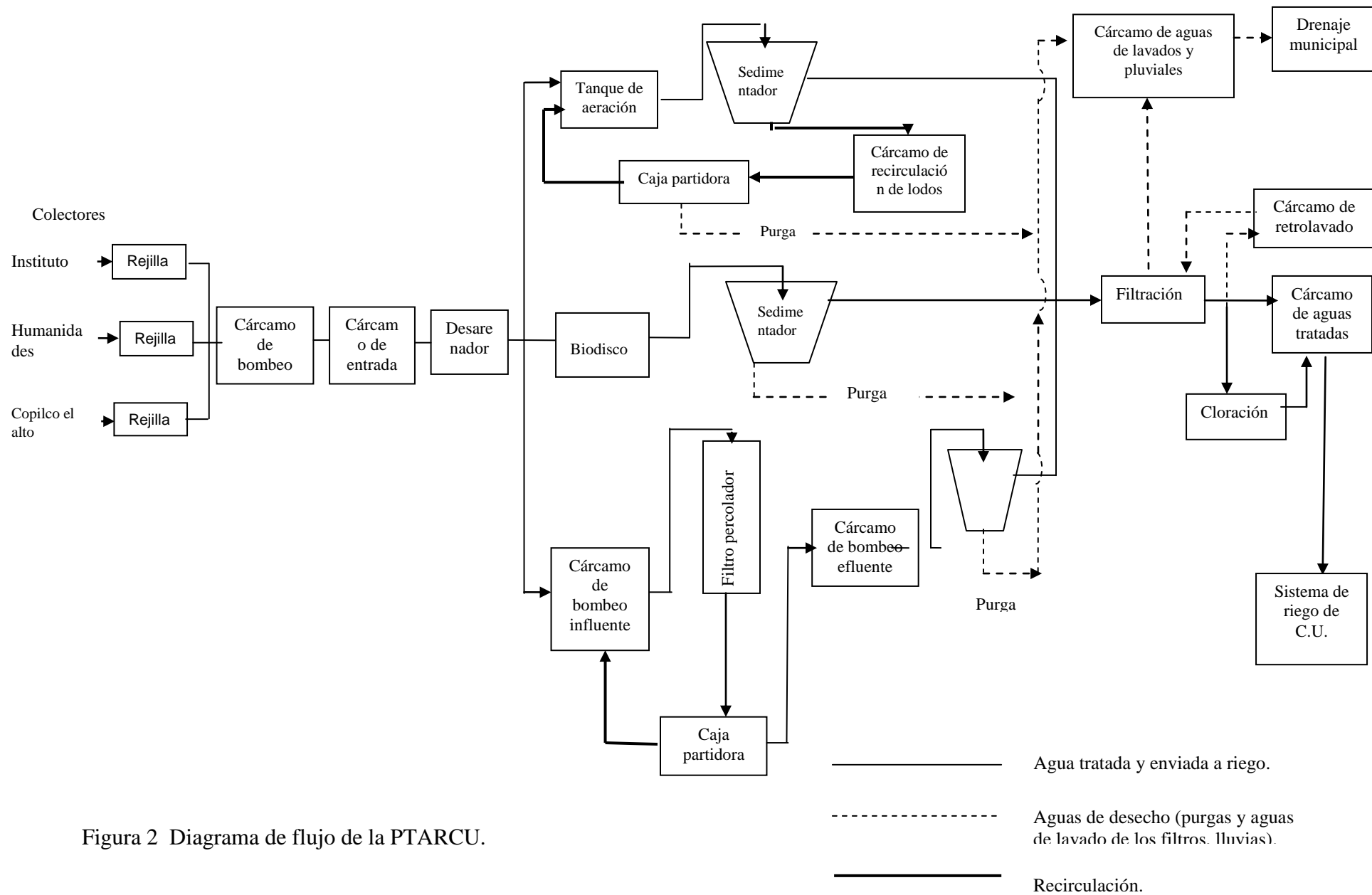


Figura 2 Diagrama de flujo de la PTARCU.

Posteriormente la UNAM viendo los problemas ocasionados por el agua desechada sin tratamiento a través de la Dirección General de Obras y Servicios Generales de la UNAM y del Instituto de Ingeniería y con fondos Proporcionados por el Banco latinoamericano de Desarrollo y fondos del Quinto Centenario del Gobierno Español, diseñó el proyecto de infraestructura de tratamiento de Aguas Residuales; Programa UNAM BID. En este proyecto se contempla el tratamiento de todas las descargas de aguas residuales generadas en CU, con el fin de ahorrar agua mediante la sustitución de agua potable por agua residual tratada para el riego de áreas verdes, la protección del ambiente y la salud pública, así como para efectuar la recarga del manto acuífero por la infiltración de agua residual tratada.

2.2.2 Fosas sépticas con post-tratamiento para aguas residuales en Ciudad Universitaria, Plantas tipo BRAIN.

El 14 de marzo de 1996 la UNAM instrumentó el proyecto de “Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el Campus Universitario”, con el fin de dar tratamiento a la totalidad de las aguas residuales generadas en C.U., mediante la construcción y/o adecuación de 26 fosas sépticas con pos-tratamiento y una capacidad global de tratamiento de 2 L/s para descargar agua residual tratada para infiltración al terreno, finalizando en el primer semestre de 1997.

El número y distribución de las plantas de tratamiento propuestas, como resultado de los estudios realizados, obedecen a reducir los costos globales de conducción y tratamiento, dada la dispersión y distancia de las dependencias, así como la conformación y relieve del terreno rocoso que encarece la instalación de líneas de drenaje formales.

Se definieron dos tipos de disposición final del efluente tratado: riego de áreas verdes e infiltración al acuífero. Los criterios para seleccionar el tipo de disposición del efluente fueron: en las zonas donde se riega con agua potable, se pretende que la calidad del efluente de las plantas de tratamiento sea apta para el reúso en riego, y de esta manera se elimine el consumo de agua potable destinada a esta actividad. En las zonas donde no existe red de agua tratada, o en zonas aisladas sin áreas verdes, la calidad del efluente de las plantas de tratamiento seleccionadas debe prevenir la contaminación del acuífero.

El proceso en la Planta de tratamiento de aguas residuales mediante tratamiento in situ (planta tipo BRAIN). incluye:

Tratamiento primario

1. Rejillas para la separación de sólidos gruesos,
2. Mampara de separación de grasas y aceites

Tratamiento secundario

1. Fosa séptica,
2. Registro de distribución
3. Bio-reactor anaerobio (flujo ascendente), (Figura 5 y 6)
4. Cárcamo de agua tratada
5. Disposición de ésta a grieta, en el caso de instalaciones con flujo de diseño de $5 \text{ m}^3/\text{d}$ (Figura 3)
6. Pos-tratamiento consistente en una cámara de contacto de cloro y un filtro de arena, ambos posteriores al bio-reactor anaerobio, para las instalaciones de 10 y $15 \text{ m}^3/\text{d}$ (Figura 4).

Hidráulico sobreexplotado

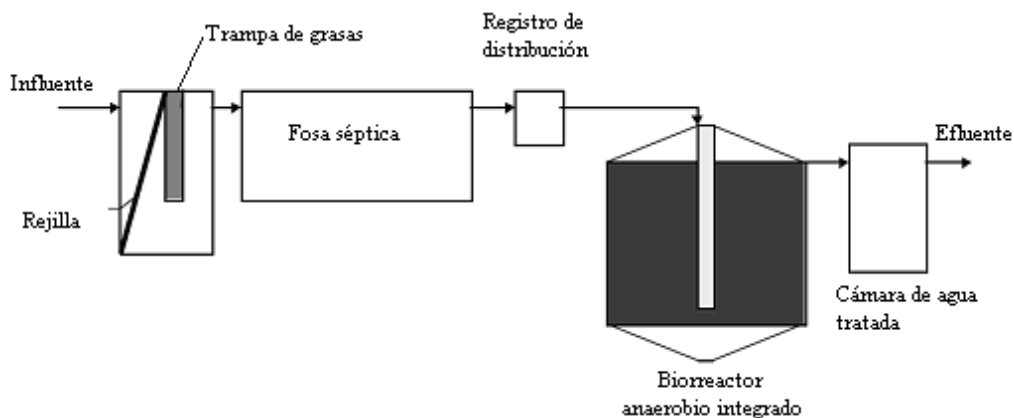


Figura 3 Diagrama de flujo de proceso para instalaciones de $5 \text{ m}^3/\text{d}$

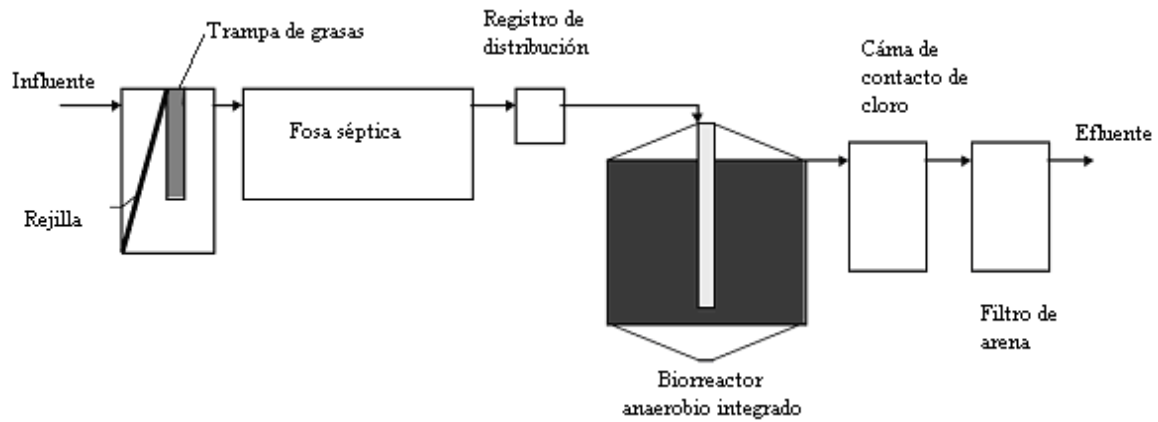


Figura 4 Diagrama de flujo de proceso para instalaciones de 10 y 15 m³/d

Figura 5 Bio-Reactor Anaerobio Integrado



Esta planta es idónea para regenerar las aguas residuales de los núcleos habitacionales localizados en sectores urbanos y zonas rurales que carecen de la infraestructura de drenaje. Su instalación es expedita, no emplea equipo y funciona con microorganismos que se desarrollan en forma natural dentro del reactor, de tal suerte que no requiere de insumos, lo cual simplifica su operación y reduce su mantenimiento a la extracción temporal de los lodos, mismos que se digieren plenamente y que son fácilmente acondicionables para su disposición final, acorde con lo que establecen las normas ecológicas (concepto ambiental, 2008).

Esta unidad de tratamiento biológico, consta de dos cámaras superpuestas, de digestión anaerobia la inferior y la superior de sedimentación. La alimentación se realiza por el centro

del reactor, específicamente en la zona de reacción biológica y la descarga del efluente se hace a través de las placas paralelas de la segunda. Dentro de la cámara de digestión (C.D.), se forma un manto de lodos que se mantiene parcialmente mezclado por la acción combinada de la evacuación de gases y la difusión radial que propicia el flujo ascendente del agua, en contracorriente con los sólidos separados por el sedimentador; de esta manera la tracción de lodos es gravitacional y el reactor anaerobio no requiere de agitación mecánica adicional. Ver diagrama Figura 6.

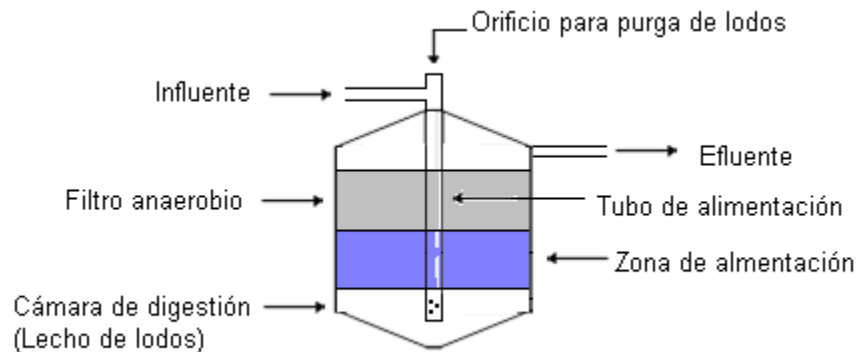


Figura 6 Diagrama de flujo del Bioreactor Anaerobio Integrado.

El sedimentador (S.A.T.) se incluye con el fin de remover los sólidos sedimentables que trae consigo el agua y retener los lodos biológicos que se encuentran en fase de digestión; este compartimiento se implementa con placas paralelas de polietileno que conforman un panel tubificado cuya sección es trapecial, para acelerar y mejorar la decantación (López y Rodríguez, 2008).

Las configuraciones anteriores permitieron proporcionar tratamiento con menor complejidad y a menores costos, ya que no requiere operación especializada, el mantenimiento es mínimo (limpieza de la rejilla quincenalmente, retiro de los lodos acumulados de la fosa séptica y del bio-reactor anaerobio cada seis meses) y para el caso de las instalaciones de 10 y 15 m³/d, el único insumo requerido es hipoclorito de sodio al 13 % (para proporcionar una dosificación de 15 ppm a la cámara de contacto de cloro) cada 28 días.

2.2.3 Planta de tratamiento de aguas negras Facultad de Ciencias Políticas y Sociales.

Siguiendo con el programa UNAM-BID el 17 de Octubre de 1996 se emite la convocatoria para la construcción de la planta de tratamiento de aguas negras en el área de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, (Figura 7). Se terminó de construir en 1999 y se encarga de tratar las descargas de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, tienda UNAM, TV UNAM, Filmoteca e Instituto de Investigaciones Antropológicas. Esta planta emplea un proceso de tratamiento aerobio de biomasa fija sumergida denominada Bio-Torres empacadas. La planta se diseñó para tratar un influente con un flujo de 7.5L/s y está construida en un área de 300m². El agua obtenida de esta planta será empleada para riego de áreas verdes en las zonas ya mencionadas. Actualmente está operando entre 1 -1.9 L/s. En la Figura 8 se muestra el diagrama de flujo de la planta.



Figura 7 Planta de tratamiento de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales.

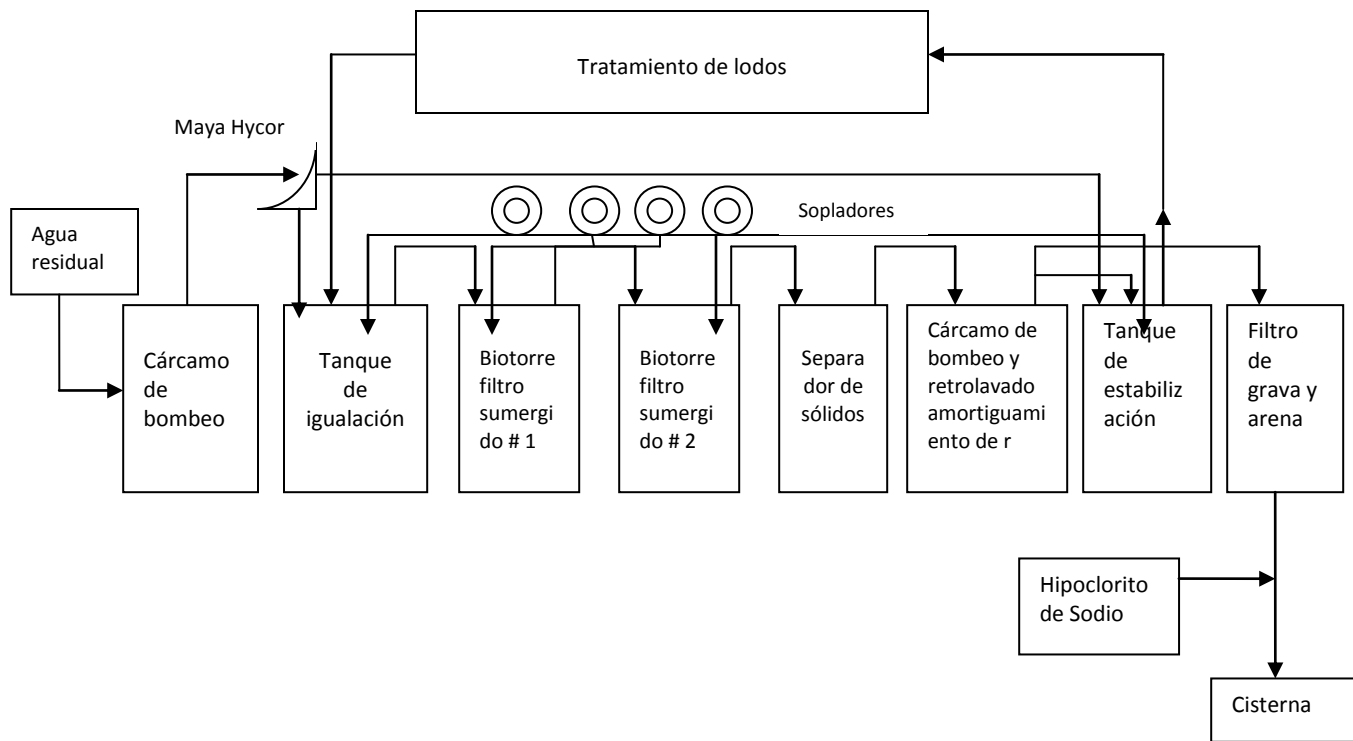


Figura 8 Diagrama de flujo planta Ciencias Sociales

2.2.4 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Edificio 12 del instituto de Ingeniería.

Esta planta se terminó de construir en 2007 y fue diseñada para tratar 0.05L/s ($3\text{m}^3/\text{d}$), provenientes de los edificios 12 y 18 del Instituto de ingeniería (Figura 9), su operación actual es de 0.025 L/s, el 50% de su capacidad. El sistema de tratamiento es biológico de lodos activados. (Figura 10). El agua residual tratada es almacenada en dos tanques de plástico con una capacidad de 5000L y posteriormente es bombeada a los tanques de almacenamiento del edificio 12, los cuales abastecen la demanda de agua en sanitarios, (inodoros y mingitorios).

Figura 9 PTAR Edificio 12 del Instituto de Ingeniería.

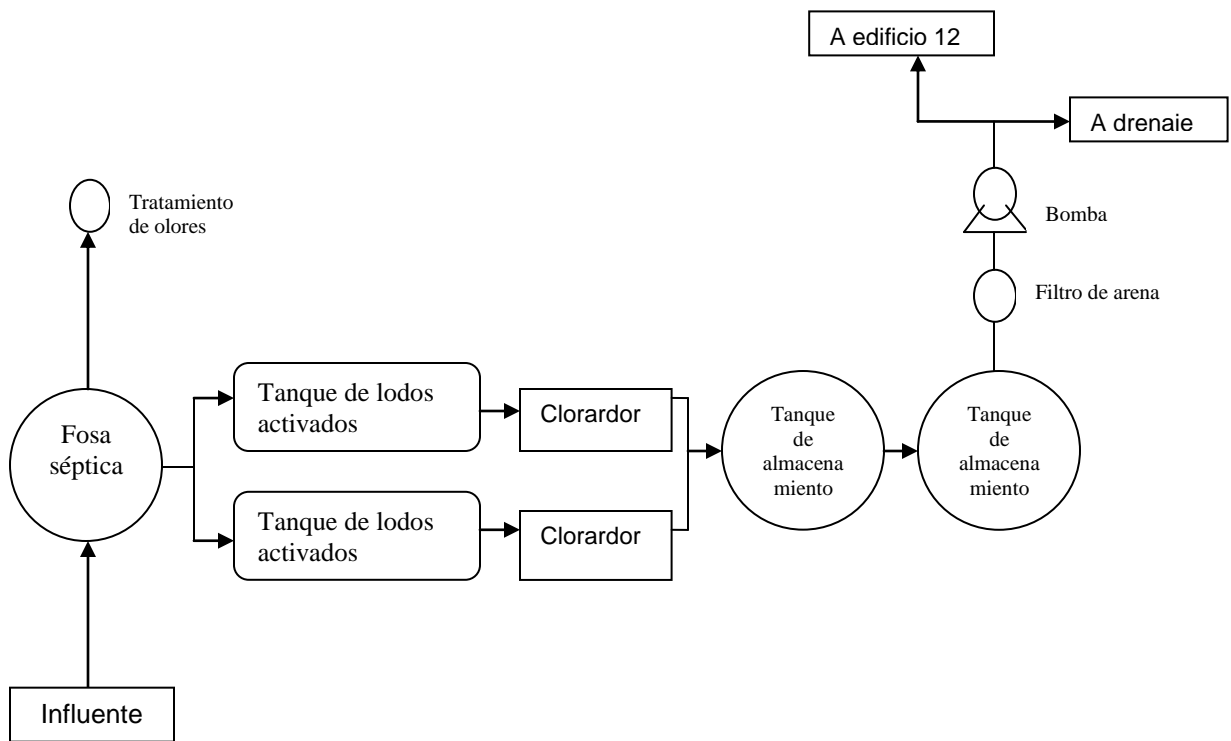


Figura 10 Diagrama de flujo PTAR edificio 12 del Instituto de Ingeniería.

2.3 CRONOLOGÍA DEL MANEJO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN C.U.

Se realizó una búsqueda bibliográfica de los trabajos realizados referente al manejo de las aguas residuales originadas en Ciudad Universitaria, en estos trabajos encontramos datos de la Planta de Tratamiento de Ciudad Universitaria (PTARCU), la Planta de Tratamiento de aguas residuales de Ciencias Sociales y de las 26 Plantas tipo BRAIN ubicadas en el campus.

Solano en 1969 realizó el diseño de una planta de tratamiento de las aguas negras de la Ciudad Universitaria. En dicho trabajo se consideró proyectar una planta de tratamiento de aguas con una capacidad tal para regar la mitad de las áreas verdes, (445.000m³ de áreas verdes); con un gasto de diseño de 30 L/s., para la otra mitad del área Universitaria se considera un caudal medio semejante mediante otra planta localizada en la zona alta de C.U. Se dispusieron de los siguientes datos, el caudal del día es un máximo de 50 L/s., durante las épocas de clases, durante la noche se alcanza un mínimo de 10 L/s., y este mismo gasto se tiene en períodos de vacaciones y días festivos. El gasto medio obtenido es de 30 L/s.

Debido a que el proyecto tiene como fin obtener agua para regar las áreas verdes de C.U. se requirió de una eficiencia elevada, la cual se fijó en 90 % de DBO. Con la información anterior se seleccionó el proceso de "LODOS ACTIVADOS". La obra de instalación se proyectó con un costo de \$11, 005,993. de pesos. Concluyendo que era aconsejable su realización.

También en 1969, Constantino realizó un proyecto sobre la planta de tratamiento de aguas negras para Ciudad Universitaria. Basado en el hecho de que la mayor demanda de agua potable en C.U. es la destinada al riego de área verde, que absorbía en ese entonces más del 50% de la dotación de agua potable sugiriéndose sustituir este caudal de agua limpia por uno generado en una planta de tratamiento de aguas negras".

Para el cuidado de las áreas verdes se recomendó una lámina de agua de 8mm, dando un volumen necesario por día de 3,560 m³, lo que equivale a un caudal constante de 41.2 L/s. Previniendo un aumento de áreas de riego, este proyecto se hizo para un caudal de 60 L/s., con una eficiencia total requerida de 90% en remoción de DBO₅ La fuente de abastecimiento

quedó establecida por el colector Río Magdalena. Se realizaron análisis de las 2 lumbreras más cercanas a C.U. y se determinó que el punto más adecuado para fijar la obra es el ubicado en el cruce de la Avenida Río Magdalena y la Calle Iglesia. Las Unidades de tratamiento quedaron determinadas por: carcomo de bombeo y conducción, sedimentación primaria, sistema de lodos activados, sedimentación secundaria, desinfección y digestión de lodos.

Los resultados promedio de los análisis fisicoquímicos hechos a las aguas del colector Río Magdalena en la Lumbrera No. 2. Fueron un pH de 7.7, Temperatura de 14.2, Demanda de Oxígeno de 2.85, DBO de 113.5 mg/L, DQO de 167 mg/L, Sólidos Totales de 422 mg/L, Sólidos suspendidos de 90 mg/L, Sólidos disueltos de 331 mg/L y para Sólidos sedimentables de 23.62 mg/L.

A partir del año 1976 los trabajos revisados son referentes a lo realizado en la PTARCU; excepto dos trabajos realizados, uno de la Planta de tratamiento de aguas residuales en la Facultad de Ciencias Políticas y otro de las plantas tipo BRAIN.

Gómez, en 1976 realizó el estudio y análisis de las aguas negras de Ciudad Universitaria. Este estudio reportó un gasto de agua potable de 40 L /s., de 7am a 20pm, y un gasto de 20 L/s. de 20 pm a 7 am. El incremento de agua potable usada originalmente desde su construcción hasta 1976 se incrementó en un 300% en relación directa al aumento de población. El alcantarillado en la red del drenaje se construyó tipo mixto, pues en ésta se descargan las aguas negras producidas en los baños de servicio, en las instalaciones deportivas y laboratorios de investigación, las aguas de lluvias y aguas superficiales. El flujo de las aguas negras se efectúa de poniente a oriente por la razón de que C.U. está ubicada en una superficie de terreno que tiene declive, por lo tanto el flujo se efectúa por gravedad. Las muestras de agua analizadas fueron tomadas de lugares representativos de C.U., Facultad de Medicina (estacionamiento), Facultad de Derecho (estacionamiento), Facultad de Química (patio principal), deposito auxiliar de descargas (centro). Se determinó Olor, Color, Sabor, Temperatura, pH, Residuos totales por evaporación, fijos y volátiles, Materia total suspendida, fija y volátil, Materia disuelta, Sólidos sedimentables, Alcalinidad, Aceites y grasas, Cloruros, Sulfatos, fosfatos totales, Nitrógeno totales, oxígeno disuelto, DBO y DQO.

De los resultados se observa que las muestras de agua analizadas presentan características propias e independientes, que los valores obtenidos, están sujetos a cambios y modificaciones, ya que éstos van en función directa al incremento de la población y de las condiciones climatológicas del medio ambiente según la época del año. No se realizó análisis de materiales tóxicos.

Soto en 1983 analizó los procesos de tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la planta de C.U. Planteó los procesos de tratamiento efectuados dentro de la planta de tratamiento, haciendo énfasis en que el propósito de la construcción de esta planta, aparte de tratar las aguas residuales de C.U., para ser empleadas en el riego de las áreas verdes también sirviera a la docencia y la investigación.

Se hace la recomendación de controlar los procesos de tratamiento, mediante análisis químicos y mediciones, en forma constante, a fin de que la calidad del agua tratada se mantenga más o menos uniforme y acorde a las normas. Es importante señalar que se menciona la falta de tratamiento para los lodos efluentes de los procesos, siendo de gran importancia tratar estos lodos antes de su eliminación. Se llegó a la conclusión de que la eficiencia de la planta es bastante buena y a pesar de tener un alto costo de construcción, de operación y mantenimiento, el sistema cumple con los objetivos del diseño.

Aguirre en 1986 desarrolló el tema Tratamiento y reúso de las aguas residuales de Ciudad Universitaria. Los parámetros que se midieron fueron; temperatura, pH (que indicó aguas residuales ligeramente básicas), sólidos totales, sólidos suspendidos totales, DBO₅, DQO, cloruros, Alcalinidad total, Nitrógeno total, fosfatos, dureza total nitratos y oxígeno disuelto. Tomando en consideración los resultados obtenidos de las pruebas fisicoquímicas realizadas se concluyó que las aguas residuales generadas en C.U. son de baja carga orgánica, alto contenido de nitrógeno total y amoniacal. La relación entre los valores promedio de DBO₅/DQO resultó de 0.39, lo que indicó la presencia de sustancias refractarias en un porcentaje mayor que en las aguas residuales domésticas típicas.

Se realizaron análisis de DBO₅ total, sólidos suspendidos totales, y sólidos suspendidos volátiles para lodos activados, biodiscos, biofiltros y filtros, durante los primeros nueve meses de operación de la planta (Noviembre – Julio), los valores de eficiencia en esta etapa fueron

en aumento con el tiempo hasta su estabilización y esto se atribuyó a la deficiente población de microorganismos en los sistemas biológicos en los primeros meses. Con los datos obtenidos se llegó a la conclusión de que el proceso con mayor eficiencia en la remoción de DBO_T y SST es el de lodos activados, le sigue el de biodiscos y por último el de biofiltros. Se determina que la eficiencia de remoción de DBO_T lograda por el sistema de filtración es del 41%.

Mantilla (1987), realiza el análisis de diseño y operación de cada uno de los procesos de tratamiento Biológico de la PTARCU, con el fin de saber si es posible satisfacer la demanda de agua para riego. La revisión se efectuó tomando en cuenta el gasto de operación de 23 L/s, siendo el gasto de diseño de 40 L/s y un gasto superior de 60 L/s. Se encontraron que los principales problemas radican en el funcionamiento y operación del sistema de filtración terciaria, en el sedimentador secundario 1 y en el sistema de filtro percolador. La remoción de DBO_5 promedio se estimó en 86%, la remoción de DQO en 69%, mientras que el efluente final presentó una concentración de SST de 5mg/L. La producción de agua residual tratada fue de 39% del total del influente ($787m^3$ de agua tratada/día). Determinando que el sistema de tratamiento más eficiente es el de lodos activados. Se concluyó que la operación y la eficiencia de la PTARCU están por debajo de los niveles recomendables para que sea rentable. Se indicó la necesidad de atender en forma prioritaria el sistema de filtración y el sistema percolador ya que estos son los causantes del bajo rendimiento de la planta. Por otra parte se vio que los lodos de desechos se envían sin ninguna clase de tratamiento al drenaje municipal, resolviendo el problema de aguas residuales de la UNAM, pero agravando los problemas de la Ciudad de México.

Ávila y Huerta (1988) analizaron la filtración de los efluentes secundarios de la planta de tratamiento de aguas residuales de C.U. El objetivo de este análisis fue obtener parámetros experimentales de diseño y operación para la filtración terciaria de los sistemas con que cuenta la PTARCU, construyéndose 2 filtros pilotos para simular el proceso de cielo abierto y con un medio simple de arena. En esta época la planta trataba sólo 23 L/s, ($1987 m^3/día$). Los parámetros fisicoquímicos analizados tanto para el influente como para el efluente fueron turbiedad y sólidos sedimentables totales en los sistemas de lodos activados, biodiscos y filtro percolador a 1, 2 y 3m c.a., (caída de agua) para cada proceso. Concluyendo que los 3

efluentes se comportan de manera muy diferente, siendo lodos activados el que presentó los mejores rendimientos para el tipo de arena empleada.

En 1996 la Universidad Nacional Autónoma de México, contaba ya con una planta de tratamiento de aguas residuales de 3456 m³/d de capacidad, esto no era suficiente ya que cerca de 4000 m³/d de agua residual sin tratamiento adecuado era canalizado a grietas creando un riesgo potencial de contaminación de los mantos subterráneos, siendo ésta una zona de contribución a la recarga del acuífero del Valle de México. Con el propósito de extender el tratamiento de las aguas residuales a la totalidad de sus descargas, la U.N.A.M. firma un contrato, mediante licitación pública, con “Tecnoadecuación Ambiental S.A. de C.V.”, para la realización del proyecto integral de “Construcción y/o adecuación de 26 fosas sépticas con post-tratamiento para aguas residuales en el Campus Universitario”.

El tratamiento que proporcionan es a nivel secundario con pulimiento del efluente y de acuerdo con lo que establece la Normatividad en materia de control de la contaminación del agua, es apto para saneamiento y reúso. Las unidades de tratamiento con las que cuenta la planta son: Rejillas y desarenador, separador de grasas, fosas sépticas, reactor anaerobio de flujo ascendente (que funciona con microorganismos que se desarrollan en forma natural dentro del reactor), filtro anaerobio, cámara de contacto de cloro, filtro de arena de flujo ascendente y descarga final. De acuerdo a la legislación mexicana vigente en 1996, no existía alguna norma oficial para regular la calidad del agua tratada con fines de infiltración al terreno, por tal motivo los parámetros y límites máximos permisibles que deberían cumplir los efluentes fueron establecidos por la propia Universidad.

Mancebo del Castillo en 1998 realizó una evaluación del funcionamiento de un sistema de tratamiento anaerobio in situ para aguas residuales generadas en el Campus Universitario. Este trabajo analizó la instalación de 26 plantas paquete para el tratamiento *in situ*, la descripción del sistema de tratamiento seleccionado, la construcción para su instalación, hasta la evaluación de su funcionamiento a partir de la caracterización obtenida por medio de análisis de los influentes y efluentes. A la fecha de la construcción de estas planta no se contaba con ninguna Norma Oficial Mexicana que regulara la calidad del agua tratada con fines de infiltración al terreno cuando el caudal de descarga fuera menor o igual a 15 m³/d. se aplicó los valores correspondientes a los establecidos en la NOM-CCA-026-ECOL-1993 y

CE-CCA-001/89, publicadas en el Diario Oficial el 18 de Octubre de 1993 y el 13 de Diciembre de 1989 respectivamente.

Los parámetros analizados fueron pH, Temperatura, DQO y Sólidos Sedimentables Totales, para 7 de las 26 plantas instaladas. Este análisis se realizó al principio del funcionamiento de las plantas. En términos generales, el funcionamiento del sistema de tratamiento instalado, mostró un comportamiento satisfactorio en la calidad del efluente con notorias ventajas en su operación, ya que su funcionamiento no requiere de energía eléctrica y su mantenimiento se limita a la limpieza periódica.

List en 1999 presentó las consideraciones teóricas sobre los principios que rigen la sedimentación y el tratamiento biológico aerobio por medio de lodos activados y filtros aspersores de la planta de tratamiento de aguas negras de CU.

Pérez en 2000 presentó el trabajo, "Puesta en operación de una planta de tratamiento de aguas residuales en Ciudad Universitaria", este trabajo evaluó el funcionamiento de la planta de tratamiento ubicada en el área de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales de la UNAM. Esta planta emplea un proceso de tratamiento aerobio de biomasa fija sumergida denominada Bio-Torres empacadas, para tratar un influente con un flujo de 7.5 Lps. El agua obtenida de esta planta se emplea para el riego de áreas verdes en la zona de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Tienda UNAM, TV UNAM, Filmoteca e Instituto de Investigaciones Antropológicas. El exceso puede ser empleado para regar otras zonas o ser infiltrado a través de una grieta para recarga del acuífero de la Zona Metropolitana del Valle de México.

El flujo medio medido fue de 1.3 L/s, (menor a flujo diseñado de 7.5 L/s), dando con esto un funcionamiento discontinuo, se obtuvo 1.58 kg. DQO/m³d., este valor se mantiene dentro de los parámetros establecidos para este sistema con una eficiencia de remoción del 79% para cargas orgánicas, aunque es una eliminación considerable la instalación nunca cumplió por 15 días consecutivos. El porcentaje de remoción de sólidos fue del 86%. Los parámetros analizados fueron pH, temperatura, sólidos sedimentables, DQO, sólidos sedimentables totales, materia flotante, arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio níquel, plomo, zinc, grasas y aceites y nitrógeno total Kjeldahl. Los resultados de los primeros análisis estaban afuera de

lo solicitado, después de varias adecuaciones a la planta los parámetros quedaron dentro de los parámetros solicitados. Para Nitrógeno total Kjeldahl el resultado no cumplían con lo solicitado, pues el diseño de la planta no permite la eliminación del nitrógeno, se propone que la segunda Bi-Torre opere como un tanque de desnitrificación para tener una reducción neta de nitrógeno. Con los resultados obtenidos se concluye que la calidad del efluente cumple parcialmente con las especificaciones de las bases técnicas de licitación y de la NOM-001-SEMARNAT-1996, Límites máximos permisibles para Embalses Naturales y Artificiales (uso público urbano), aún cuando la planta se encuentra operando dentro de las condiciones normales para un sistema de biomasa fija sumergida.

En esta revisión bibliográfica que comprende desde 1969 hasta el año 2000, se observa que la mayoría de los trabajos revisados son sobre la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cerro del Agua PTARCU, un trabajo sobre las Plantas tipo BRAIN, así como un trabajo de la Planta de tratamiento ubicada en el área de la facultad de Ciencias Políticas y Sociales de la UNAM.

Los parámetros fisicoquímicos analizados durante estos años fueron muy variados ya que en un principio no se contaba con ninguna normatividad para disposición de aguas residuales tanto para riego como para disposición a suelos y se tomaban los parámetros establecidos para esa época. De los parámetros analizados desde 1969 hasta el 2000, (Tabla 2) pH, Temperatura, DBO, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Totales, Oxígeno Disuelto y Nitrógeno Total, fueron los más realizados en todas las plantas.

En 1976, 1986 y el 2000 fueron las evaluaciones más completas de los parámetros fisicoquímicos; en 1986 fue la única ocasión que se realizó análisis de metales, pero sólo para la planta de Ciencias Sociales. De 1969 hasta 1987 los datos de DBO han sido variados, pero se muestra un aumento en el porcentaje, ya que en 1986 se tenía un 41% de DBO y en 1987 se obtuvo un 86%. En años anteriores sólo se menciona que la eficiencia de la planta es bastante buena. Para las 26 plantas tipo BRAIN construidas en C.U. se tienen datos de DBO sólo al inicio de su operación por lo tanto los resultados son los requeridos en el contrato de Obra pública No. 96-B2-DGO-L0100-0500 "Construcción y/o adecuación de 26 fosas sépticas con post-tratamiento para aguas residuales en ciudad universitaria", 1996.

Tabla 2 Parámetros analizados desde 1969 al 2000.

AÑO	Solano 1969	Constantino 1969	Gómez 1976	Aguirre 1986	Mantilla 1987	Ávila 1988	Proyecto ejecutivo 1996	Uriel 1998	Pérez 2000
PARAMETROS	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de C.U. (Cerro del agua) PTARCU						Construcción de 26 fosas sépticas con post-tratamiento	Plantas tipo BRAIN	Planta de Ciencias Sociales
	DBO	pH	Determinación de olor	pH	DBO	SST	pH	pH	pH
		Temperatura	Determinación de color	Temperatura	DQO	Turbiedad	DBO	Temperatura	Temperatura
		Oxígeno disuelto	pH	Sólidos totales	SST		DQO	DQO	Sólidos Sedimentables
		DBO	Residuos Totales por evaporación	SST			Grasas y aceites	SST	DQO
		DQO	Residuos totales fijos	DBO			SST		SST
		Sólidos Totales	Residuos totales volátiles	DQO			Sustancias activas al azul de metileno		Materia Flotante
		Sólidos Suspendidos	Materia total suspendida	Cloruros					Arsénico
		Sólidos Disueltos	Materia total suspendida fija	Alcalinidad					Cadmio
		Sólidos Sedimentables	Materia total suspendida volátil	Nitrógeno total					Cobre
			Materia disuelta	Fosfato					Cromo
			Sólidos sedimentables	Dureza total					Mercurio
			Alcalinidad	Nitratos					Níquel
			Aceites y grasas	Oxígeno disuelto					Plomo
			Cloruros						Zinc
			Sulfatos						Grasas y aceites
			Fosfatos totales						Nitrógeno total
			Nitrógeno total						
			Oxígeno disuelto						
			DBO						
		DQO							

2.4 Sistema de riego en Ciudad Universitaria.

Se estima que son alrededor de 200 hectáreas las áreas verdes de C.U. extensión importante dentro del campus. El agua destinada para el mantenimiento de estas áreas verdes depende tanto del tipo de vegetación, el sistema de riego implementado así como en la forma en que se riegan los jardines de C.U. El riego con agua residual abarca cerca de 50 hectáreas. La Dirección General de Obras y Conservación a través de la Coordinación de Áreas Verdes es la encargada del riego y mantenimiento de las mismas en Ciudad Universitaria. En el sistema de riego en C.U., se encuentran diversos sistemas de riego y métodos de riego, existe desde el riego manual, donde los jardineros riegan con manguera y no aplican una lámina de riego uniforme, hasta el sistema de aspersión. Las áreas verdes se riegan aproximadamente durante 9 meses al año, de enero a mayo, se interrumpe al inicio de la época de lluvias, aproximadamente del mes de junio a septiembre y se reanuda a finales del mes de septiembre a diciembre. Para el riego de áreas verdes se cuenta con 12 cisternas distribuidas por el campus, la cisterna de almacenamiento para riego del áreas verdes en el campo central denominada como “Las Islas” cuenta con una capacidad de 901 m³ de capacidad y cuenta con 64 aspersores (Figura 11). La limpieza de esta cisterna se programa anualmente, según información de los operadores.



Figura 11 Riego con aspersores en el campo central.

CAPÍTULO 3

3.1 JUSTIFICACIÓN

La Universidad Nacional Autónoma de México, consciente del incremento de la contaminación y la escasez del agua, ha visto la necesidad de evaluar la calidad y la distribución de aguas residuales tratadas, usadas dentro de sus instalaciones. Por eso el Consejo Universitario junto con el Instituto de Ingeniería pusieron en marcha el “*PROGRAMA DE MANEJO, USO Y REÚSO DEL AGUA EN LA UNAM*”. Este programa tiene como objetivo el uso y manejo eficiente del agua residual tratada en las 200 hectáreas de riego de Ciudad Universitaria, centrándose este trabajo en el uso de aguas residuales tratadas, para ser usadas en las 50 hectáreas de riego de áreas verdes y en la recarga de acuíferos dentro del mismo campus. Asegurando la calidad de las aguas residuales que se generan, para su reúso en forma segura y así evitar dañar tanto los ecosistemas dentro de la Universidad como de sus entornos y sobre todo del subsuelo, ya que pondríamos en riesgo la calidad del agua de los mantos acuíferos. Al mismo tiempo se verificará el cumplimiento con la normatividad vigente en materia de aguas residuales y bienes nacionales así como en la disposición de aguas al suelo y subsuelo.

3.2 OBJETIVO.

Determinar la calidad del agua residual tratada procedente de las plantas de tratamiento de CU mediante parámetros fisicoquímicos, así con los resultados obtenidos mejorar la calidad del agua destinada para riego de áreas verdes y recarga de acuíferos en Ciudad Universitaria.

OBJETIVOS PARTICULARES:

- ≈ Recopilación de datos sobre parámetros fisicoquímico realizados a las plantas de tratamiento de aguas dentro de C.U.
- ≈ Determinar la calidad fisicoquímica del efluente para recarga de acuíferos de las plantas tipo BRAIN, instaladas en CU.
- ≈ Determinar la calidad fisicoquímica del agua residual tratada para reúso en riego de áreas verdes, proveniente de la PTARCU y almacenada en la cisterna central.
- ≈ Verificar que los parámetros a estudiar en el presente proyecto cumplan con los límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-1996 para el efluente de las plantas tipo BRAIN.
- ≈ Verificar que los parámetros a estudiar en el presente proyecto cumplan con los límites máximos permisibles de la NOM-003-SEMARNAT-1997 para el agua residual tratada de reúso en riego de áreas verdes.
- ≈ Plantear recomendaciones para los parámetros fisicoquímicos a corregir así como para el óptimo funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales provenientes de los edificios de CU y obtener agua residual tratada de calidad.

3.3 HIPÓTESIS.

La calidad del agua residual generada en la planta de tratamiento de Ciudad Universitaria destinada para el riego áreas verdes así como el agua residual tratada en las plantas tipo BRAIN para recarga de acuíferos, no representa ningún riesgo para la salud de la población así como para el entorno del campus universitario, por ser agua residual tratada que cumple con las normas mexicanas en materia de aguas tratadas utilizadas en descargas al subsuelo y para uso en servicio al público.

CAPÍTULO 4

MARCO TEÓRICO.

4.1 El agua en México.

4.1.1 RECURSOS HIDROLÓGICOS DE MÉXICO.

Los recursos hidrológicos son de vital importancia para el desarrollo socioeconómico de México. Sin embargo, la gran diversidad fisiográfica y climática del país hace que el agua no esté distribuida regularmente en el país. En México hay un promedio anual de 780 mm de precipitación pluvial, que corresponde a un volumen de 1 532 millones de m³; en la zona norte y en el altiplano (52% del territorio) la media anual es inferior a los 500 mm, y en sólo una porción del sureste (7% del territorio), la precipitación alcanza valores superiores a los 2,000 mm anuales. La precipitación ocurre en dos ciclos anuales, el más importante tiene lugar de mayo a noviembre y concentra el 80% de las lluvias, debido a que en ésta temporada aparece el mayor número de huracanes y tormentas tropicales; el segundo ciclo ocurre de noviembre a abril y obedece a invasión de masas de aire polar (“nortes”) que afectan gran parte del territorio nacional.

En gran medida, la distribución orográfica y climática origina que la mayor parte del territorio sea de zonas semiáridas y tenga una gran variedad de ecosistemas (Figura 12). Se considera que el 50% del escurrimiento anual total se concentra en los ríos más caudalosos ubicados en el sureste del país, y cuya región hidrológica comprende sólo el 20 % de la superficie total del territorio.



Figura 12 Regiones faunística y ecosistemas principales.

Fuente: Instituto nacional de Estadística Geografía e Informática. Dirección General de Geografía. Cartas de Usos de suelo y vegetación, escala 1:1000.000. México.

Es un problema grave la distribución del agua debido a que el 80% de los recursos hídricos se encuentran por debajo de los 500 m sobre el nivel del mar y a un nivel mayor se encuentra asentada más del 70% de la población total y se desarrolla el 80% de la actividad industrial. El 55% de la actividad industrial se encuentra en el Valle de México a más de 2000 m de altitud lo que genera graves problemas de abastecimiento de agua.

El agua subterránea es otra fuente importante de este recurso, sobre todo en aquellas regiones donde no existen escurrimientos superficiales considerables. Se ha estimado en 17,406 millones de m³ el promedio de la recarga anual y en 16,395 millones de m³ de extracción, así como en 110,350 millones de m³ el volumen total de almacenamiento. El sector agropecuario en México usa el 80% del total del agua disponible en el país, España el 62% y EU, 42%. (Figura 13),

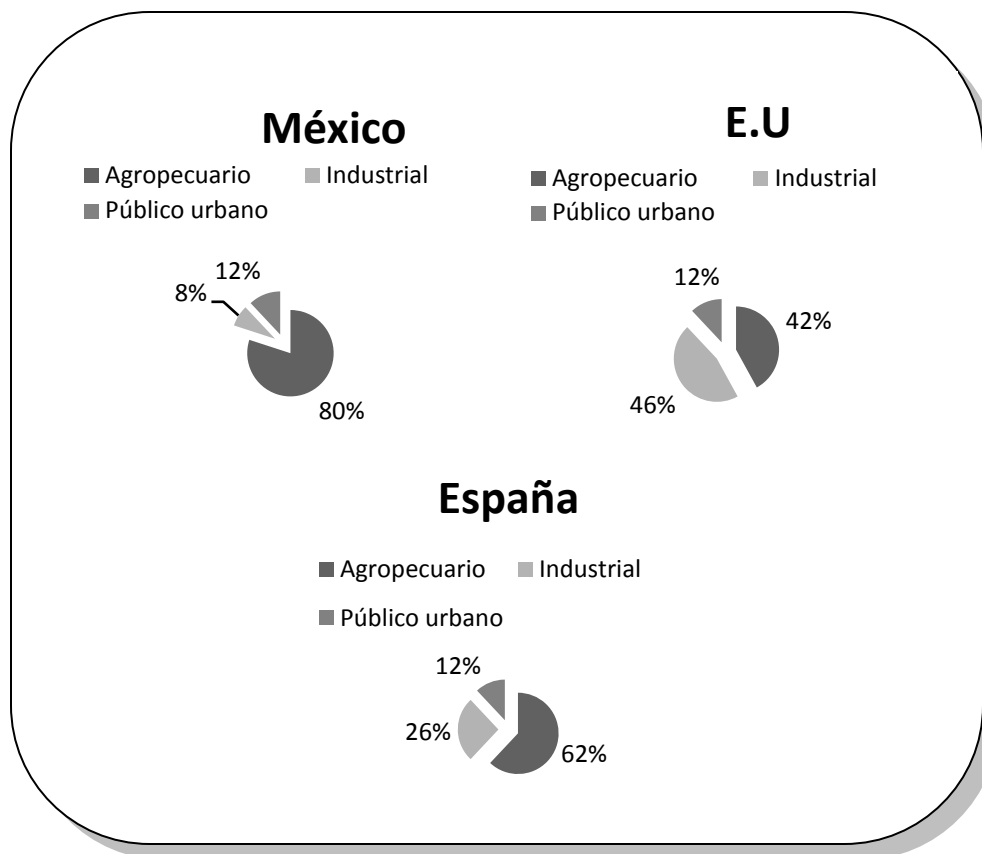


Figura.13 Usos del agua.
Fuente FAO, Estudios geológicos de E.U

Para aprovechar este recurso el país cuenta con un sistema de obras hidráulicas para almacenamiento de 125,000 millones de m³ y en lagos y lagunas 14,000 millones de m³ que en total corresponde al 34% del escurrimiento anual. Se estima que se pierde por evaporación 9,300 millones de m³ anuales en los cuerpos de almacenamiento del país.

De la capacidad total de almacenamiento de agua en presas, el 33% se utiliza para riego principalmente en las regiones semiáridas del norte y el 37% se usa en la generación de energía eléctrica, principalmente en el sur del país; y el resto para otros usos.

Se enfatizan las zonas donde el abastecimiento doméstico se realiza predominantemente de acuíferos contaminados y las zonas donde compiten el riego y la industria con el abastecimiento doméstico, por el uso del agua, (Figura 14). Para estas zonas, es urgente tomar medidas de control en lo que se refiere a la prevención de la cantidad y calidad del reúso, así como al control del patrón de consumo. (Aguamx, 2008)

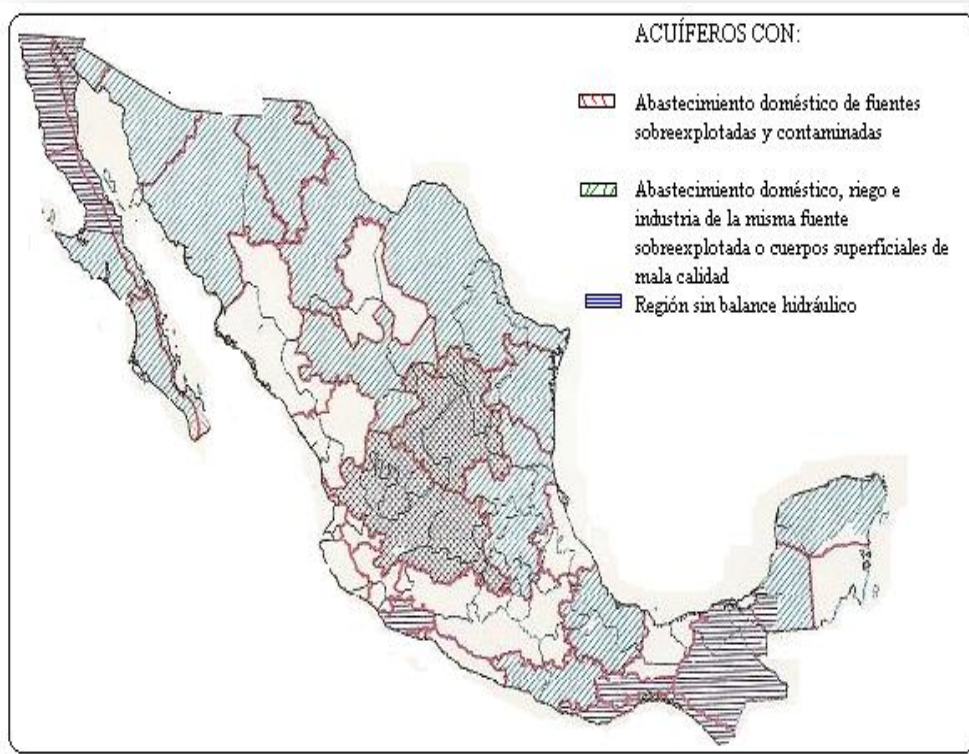


Figura.14 Regiones con conflictos de cantidad, calidad y usos por sobreexplotación de acuíferos.

4.1.2 CALIDAD DEL AGUA EN MÉXICO

Actualmente el problema de la contaminación del agua está llevando a muchos municipios a tratar sus descargas para mantener el equilibrio ecológico y preservar sus fuentes de abastecimiento. En México, como en muchos países del mundo, las principales fuentes de contaminación del agua se clasifican en tres grupos, de acuerdo con su procedencia.

1. Sector social. Corresponde a las descargas de residuos de origen doméstico y público que constituyen las aguas residuales municipales. Está relacionado con la cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado, se incrementa en los grandes asentamientos urbanos. El 60% de la población mexicana está concentrada en las grandes ciudades. Se calcula que el 57% de las aguas residuales son generadas por la población, principalmente por las zonas localizadas en torno a las ciudades de

México (23%), Monterrey (4.1%) y Guadalajara (4%). Se estima que sólo el 50% de la población dispone de sistema de alcantarillado.

2. Sector industrial. Integrado por las descargas generadas de las actividades de extracción y transformación de recursos naturales usados como bienes de consumo y satisfactorios para la población. Se calcula que la industria genera el 43% de las aguas residuales. En México, el sector industrial se clasifica en 39 grupos, de acuerdo a los índices de extracción, consumo y contaminación, que general el 82% del total de aguas residuales de la industria
3. Sector agropecuario. Constituido por los efluentes de las instalaciones dedicadas a la crianza y engorda de ganado mayor y menor, y por las aguas de retorno de los campos agrícolas. Se calcula que la superficie agrícola de riego y temporal es de 28 millones de hectáreas, que se usan 92 500 millones de m³ de agua y se consume el 82% de ella por lo que la generación de aguas residuales es del 12% (11,100 millones de m³). Las aguas de retorno agrícola son una fuente de contaminación importante cuyo impacto se manifiesta en el alto porcentaje de cuerpos de agua que se encuentran en condiciones de eutroficación.

4.2 AGUAS RESIDUALES

4.2.1 Definición y clasificación de aguas residuales.

Las aguas residuales conocidas también como aguas negras (por su color) o aguas cloacales (por ser transportadas mediante las cloacas) son el resultado de la utilización del agua potable y que ahora está contaminada con sustancias fecales, orina, procedentes de desechos orgánicos humanos, animales, generados en residencias, instituciones y locales comerciales e industriales. Por sus características físicas se pueden distinguir por el aspecto, color, turbidez y sólidos suspendidos, es agua que contiene muy poco oxígeno y que está caracterizada por un color negruzco.

A lo que se refiere en su composición química, estas aguas están formadas por un 99% de agua y un 1% de sólidos en suspensión y solución. Estos sólidos pueden clasificarse en orgánicos, como son los sólidos nitrogenados (como proteínas, ureas, aminos y

aminoácidos) y no nitrogenados (principalmente celulosa, grasas y jabones), e inorgánicos, fósforo, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y algunas sustancias tóxicas como arsénico, cianuro, cadmio, cromo, mercurio, plomo y zinc. Dependiendo de las concentraciones de los constituyentes encontrados el agua residual se clasifica en cargadas, media y débil, (Tabla 3).

Tabla 3 Composición típica de aguas residuales domésticas no tratadas.

Constituyente	Concentración		
	Cargada	Media	Débil
Sólidos totales (mg/L)	1200	720	350
Sólidos sedimentables (ml/L)	20	10	5
DBO ₅ a 20°C (mg/L)	400	200	110
Carbono orgánico total (mg/L)	290	160	80
DQO (mg/L)	1000	500	250
Nitrógeno total (mg/L)	85	40	20
Fosforo total (mg/L)	15	8	4
Cloruros (mg/L)	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO ₃) (mg/L)	200	100	50
Grasa (mg/L)	150	100	50

Metcalf & Eddy 1991

4.2.2 CONTAMINANTES DE LAS AGUAS RESIDUALES.

La contaminación del agua se presenta con la incorporación al agua de materias extrañas como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y de otros tipos, o aguas residuales. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos. Sus principales contaminantes son los siguientes:

- Sólidos en suspensión.
- Materia orgánica biodegradable y refractaria.
- Patógenos.
- Nutrientes.
- Metales pesados
- Sólidos inorgánicos disueltos.

4.2.3 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MÉXICO

Un análisis realizado al Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales (PTARM) de la Comisión Nacional del Agua del año 2001 se tiene que existen 1132 plantas de tratamiento de aguas residuales, de las cuales 938 se encuentran en operación, con un gasto instalado de 73,852.6 L/s. En el Distrito Federal se cuentan con 28 plantas de tratamiento de aguas residuales en operación, Tabla 5.

El gasto de operación reportado para estas plantas es de 50,809.8 L/s, de los cuales se utilizan en diferentes actividades 10,867.6 L/s que equivale a un 21.4% del agua residual tratada en los diferentes sistemas de tratamiento y el resto se descarga a cuerpos receptores. En la tabla 4, se muestran algunos Estados de la República donde se practica el reúso de agua y su actividad. En el Distrito federal se usan 2100 L/s que equivale al 19.3% del agua reusada para el riego agrícola y 488L/s equivalente a un 4.5% del agua residual es usada para el riego de áreas verdes y usos industriales. (Escalante, et al, 2003).

Tabla 4 Estados de la república donde más se práctica el reúso.

Estado	Riego agrícola	Uso industrial	Áreas verdes	Agrícola Áreas Verdes	Áreas verdes/ industrial	Energía eléctrica	Río	Total (L/s)	%
DF	250	---	356	2100	488	---	---	3194	29.39
Edo. México.	1330	870	27	---	---	---	---	2200	20.24
N. León	219.6	1440	149.5	---	---	---	---	1809.1	16.65
BCS	410.5		245	---	---	---	---	655.5	6.03
Coahuila	42	500	50	---	---	---	---	592	5.45
Querétaro	528	---		---	---	---	---	528	4.86
Quintana Roo	0	---	320	---	---	---	---	320	2.94
Guanajuato	0	---	---	---	---	45	---	45	0.41
Sonora	46	---	17	---	---	---	233.9	296.9	2.73
Michoacán	310	---	---	---	---	---	---	310	2.85
Puebla	209.9	---	---	---	---	---	---	209.9	1.93
Otros Estados.	216.6	0	463.6	0	0	0	0	707.2	6.52
Σ	3562.6	2810	1628	2100	488	45	233.9	10867.6	100

El desbalance entre el recurso hídrico y el crecimiento explosivo de las grandes ciudades, ha obligado a priorizar el uso de aguas superficiales para abastecimiento público y generación de energía eléctrica. Como lógica consecuencia, la actividad agrícola ubicada en la periferia de las ciudades se ha visto seriamente afectada y ha optado por el uso de aguas residuales como única alternativa de supervivencia. Esto se refleja en la existencia de más de 400 000 ha agrícolas irrigadas con estas aguas en forma directa, la mayoría sin tratamiento previo. En 1992 México reportó 350 000 hectáreas agrícolas regadas directamente con aguas residuales y en la costa del Perú existen más de 4 000 ha regadas con esta agua (Moscoso y León, 1994.)

Tabla 5 Plantas de tratamiento de aguas residuales en operación en el Distrito federal.

Planta	Capacidad Instalada (L/s)	Gasto de operación (L/s)	Proceso	Cuerpo receptor o reúso
Santa Fe	560	280	Lodos activados	---
U.H. El Rosario	25	21	Lodos activados	Áreas verdes
Ciudad Universitaria	60	50	Lodos activados	Áreas verdes
Coyoacán	400	250	Lodos activados	Áreas verdes, reúso industrial
U.H. Nonoalco Tlatelolco	22	18	Lodos activados	Áreas verdes
Acueducto de Guadalupe	85	69	Lodos activados	Áreas verdes, reúso industrial
San Juan de Aragón	500	200	Lodos activados	Áreas verdes
Ciudad deportiva	230	169	Lodos activados	Áreas verdes, reúso industrial
U.H. Picos Iztacalco	13	10	Lodos activados	Áreas verdes
Cerro de la Estrella	4000	2000	Lodos activados	Agrícola, áreas verdes, reúso industrial
Bosques de las Lomas	55	18	Lodos activados	Áreas verdes
Campo militar No. 1-A	30	30	Lodos activados	Áreas verdes
Lomas de Chapultepec	160	66	Lodos activados	Áreas verdes
San Pedro Actopan	60	35	Lodos activados	Riego agrícola
Milpa Alta rastro	30	25	RAFA	-----
San Andrés Mixquic	30	30	Primario avanzado	Riego agrícola
La Lupita (Tlahuac)	15	13	Lodos activados	Áreas verdes
Paraje el llano (Tlahuac)	250	100	Lodos activados	Riego agrícola

Continuación Tabla 5 plantas de tratamiento de aguas en operación en el Distrito federal.

San Lorenzo (Tlahuac)	225	85	Lodos activados	Riego Agrícola
San Nicolás Tetelco (Tlahuac)	30	15	Lodos activados	Áreas verdes
H. Colegio Militar	26	18	Lodos activados	Áreas verdes
Parres (Tlalpan)	7.5	1	Lodos activados	Barranca
Abasolo (Tlalpan)	15	7	Lodos activados	Barranca
Tetelco (Tlalpan)	15	3	Primario avanzado	Barranca
San Miguel Xicalco	7.5	3	Lodos activados	Barranca
U.H. Pemex Picacho	13	10	Lodos activados	Áreas verdes
Reclusorio Sur	26	18	Lodos activados	Áreas verdes
San Luis Temalco (Xochimilco)	150	100	Lodos activados	Agrícola, áreas verdes
Total	7032	3652	----	-----

Fuente: AGUA.org.mx. Centro virtual de información del agua, 2002.

4.2.4 USOS DE LAS AGUAS RESIDUALES.

En la actualidad, la reutilización de las aguas residuales es una práctica mundialmente extendida. Esta tendencia puede deberse a dos grandes motivos:

1. A una actitud conservacionista y sanitarista acorde a un pensamiento de protección al ambiente, donde países como Alemania, Australia, Canadá, España o Estados Unidos, le dan un tratamiento purificador al agua residual y luego la reciclan en pequeñas cantidades. Por lo general, el agua recién tratada se devuelve a cuerpos de agua superficiales; en parte se destina al riego de campos de golf, campos deportivos, parques o bosques, y, en menor escala, al riego de cultivos que no representan riesgo al consumo humano, o
2. A una necesidad causada por la escasez o la falta de agua para la sobrevivencia o el desarrollo, como es el caso de Brasil, Chile, India, Israel, Marruecos, México o Perú, donde se reutiliza el agua residual en el desarrollo local o regional, empleándola en actividades agrícolas o acuícolas.

El uso eficiente del agua permite compaginar las necesidades de desarrollo planteadas por la industria, la agricultura y los asentamientos humanos, en lugares donde es escasa. Con este fin, se consideran el ahorro (menor consumo), el reciclamiento (empleo repetido y ordenado

en un mismo proceso) y el reúso (uso escalonado para diversos fines). En áreas donde el agua es escasa, las descargas domésticas son usadas ampliamente en la agricultura, la industria y para recarga de acuíferos. (Tabla 6) En el caso del riego, su empleo es tradicional aún en regiones húmedas.

La extracción de acuíferos representa el 27 % de la extracción total y como se ve en la tabla 6 el sector que más la emplea es el de riego, 77 % del total.

Tabla 6 Sectores que usan agua residual doméstica en México.

SECTORES	USOS	EXTRACCIÓN	CONSUMO	DESCARGA
Agrícola	Riego	77%	88%	545%
Industrial	Enfriamiento industrial***	13%	7%	28%
	Transporte de materiales***			
	Calderas*~			
	Procesos**			
Municipal	Riego de áreas verdes***	10%	5%	27%
	Fuentes de ornato***			
	Limpieza de maquinaria de recolección de basura***			
	Usos recreativos**			
	Lavados de autos**			
	Recarga de acuíferos(1)			
	Control de incendios*			
	Consumo humano*~			

*** Muy recomendable

** Medianamente recomendable

* Poco recomendable

*~ Posible, en función de las condiciones específicas del proyecto

(1) En ciertas zonas y preferentemente por infiltración.

El uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura constituye una de las herramientas más valiosas que tienen los países en vías de desarrollo para controlar la contaminación y hacer frente al reto que constituye incrementar la producción agrícola con un recurso hídrico escaso. El uso de agua residual para riego agrícola se originó a partir de la construcción de una salida para las aguas residuales del valle de México. En 1980 se inició el aprovechamiento de estas aguas para la agricultura en la región del valle del mezquital (distrito de riego 03), en Tula, Hidalgo, para el riego de por anegación de cereales, hortalizas y alfalfa. Hoy el Valle del Mezquital ha sido catalogado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), como el primer lugar mundial en aprovechamiento de aguas negras para riego, con 77 mil hectáreas, colocando a México en segundo lugar a nivel mundial por la utilización de aguas negras, después de China, (Jiménez 2009) Posteriormente se amplió a la fecha al valle de Alfajayucan (distrito de riego 100) en Hidalgo (Figura 15). Dentro del valle de México, algunas áreas ubicadas a lo largo del Gran Canal del desagüe también aprovechan las aguas residuales originadas en la Ciudad de México, principalmente Chalco-Chiconautla, en el estado de México. Otros distritos de importancia son Valsequillo, Puebla, Tulancingo, Hidalgo, Ciudad Juárez, Chihuahua, Querétaro, Michoacán, y Baja California Sur (Jiménez y Ramos, 1999).

Principales cultivos recomendables para reúso de agua residual:

- Silvicultura
- Forrajes, hierbas, alfalfa, etc.
- Maíz, trigo, cebada, caña de azúcar, remolacha
- Menta, algodón, tabaco.

Sólo con buen manejo y alto grado de tratamiento:

- Frutas
- Vegetales

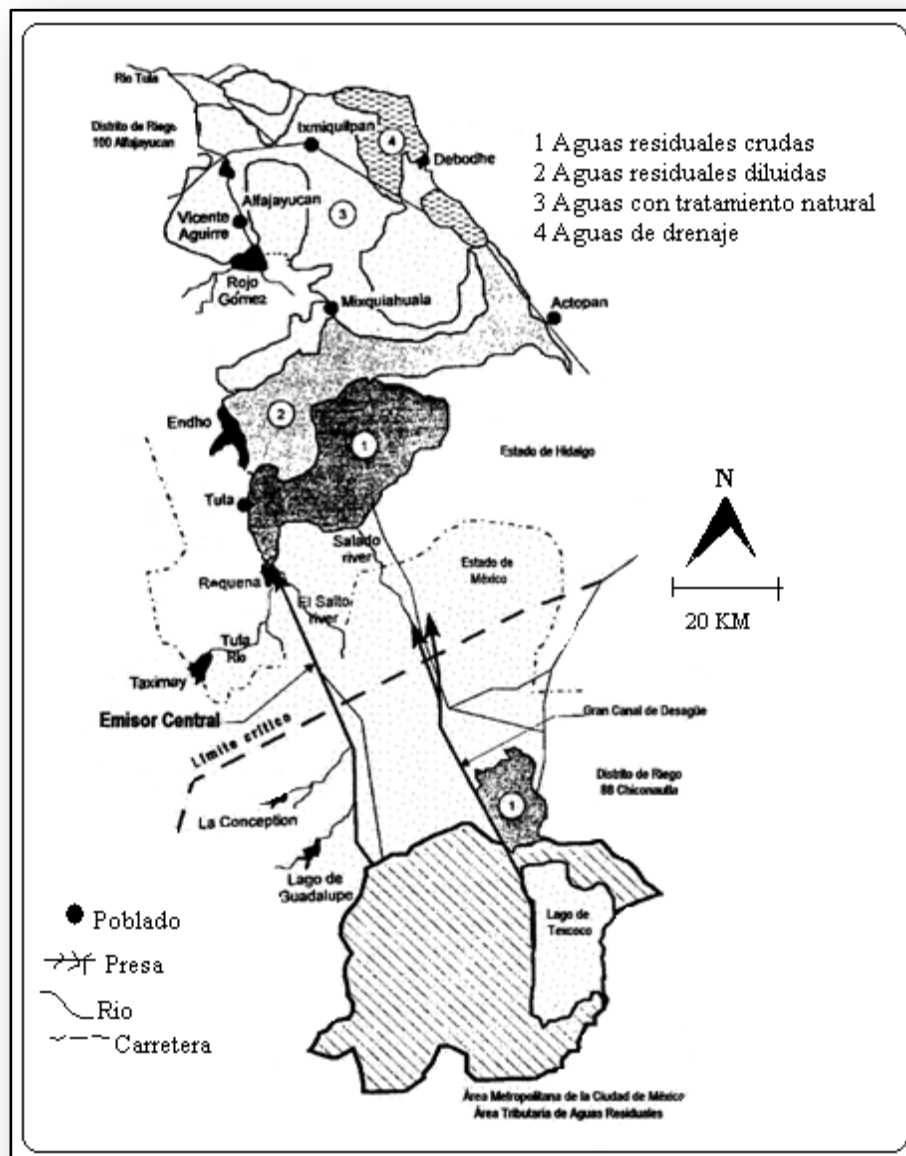
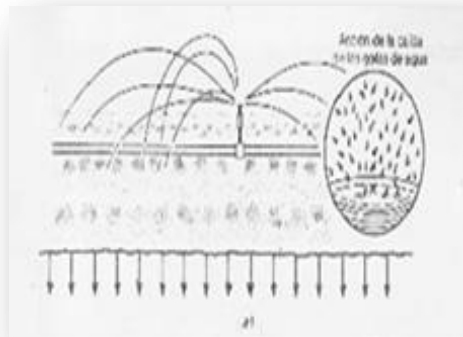


Figura 15 Distrito de riego # 03 y # 100

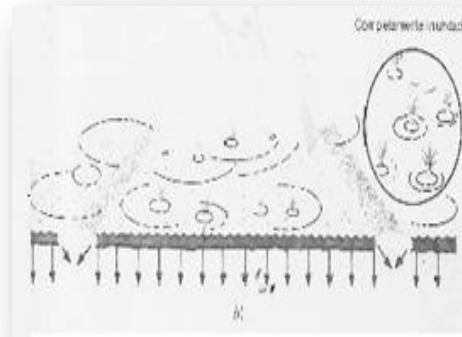
Actualmente en México, se emplean $102 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua residual para cubrir 256,827 ha, sin diferenciar cuánta agua es de origen industrial y cuánta municipal y, con un control y supervisión sanitarios prácticamente inexistentes

4.2.5 SISTEMA DE RIEGO CON AGUAS RESIDUALES.

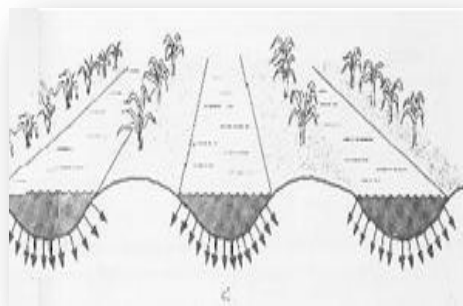
Los tres procesos principales de aplicación al terreno de agua residual, son el regadío, la infiltración rápida y las corrientes superficiales, (Figura 16). Otros procesos de uso menos extendidos y menos adaptables a la utilización a gran escala incluyen la aplicación a tierras pantanosas, la aplicación sub-superficial y la acuicultura.



a



b



c

Figura 16 Técnicas de regadío
a) Aspersión
b) inundación
c) por surcos

RIEGO: El efluente puede aplicarse a los cultivos o a la vegetación (incluyendo bosques) tanto por *aspersión* como por técnicas superficiales para el riego de céspedes. Parques o campos de golf, y la preservación y desarrollo de zonas verdes y espacios abiertos.

INFILTRACIÓN RÁPIDA: En los sistemas de infiltración rápida, el efluente se aplica al suelo a tasas elevadas (de 10 a 21cm/semana) por extensión o por aspersión.

Los objetivos del sistema pueden incluir

1. La recarga de acuíferos.
2. El tratamiento natural seguido de la extracción por bombeo o por drenaje para su recuperación.
3. El tratamiento natural con agua renovada que se desplaza vertical y lateralmente en el suelo recargando una corriente de agua superficial.

CIRCULACIÓN SUPERFICIAL EN LÁMINA: La circulación superficial en lámina puede utilizarse como un proceso de tratamiento secundario, cuando se admita el vertido de un efluente nitrificado con bajo contenido de DBO_5 , o bien como un proceso de tratamiento avanzado de agua residual.

OTROS SISTEMAS: Uso de tierras pantanosas y la acuicultura para el tratamiento de agua residual.

En sistemas de riego el vertido controlado del efluente, por aspersión o extensión superficial, sobre el terreno para servir al crecimiento de las plantas, es generalmente capaz de producir los mejores resultados de todos los sistemas de aplicación al terreno en términos de seguridad y calidad del agua tratada. El agua residual es captada por las plantas, evaporada parcialmente (evapotranspiración) y filtrada a través del suelo.

Los sistemas de aspersión son de dos tipos, fijos y móviles. Los sistemas de aspersión fijos pueden estar colocados sobre la superficie del terreno o enterrados. Ambos tipos consisten generalmente en aspersores de impacto montados sobre unos tubos que se encuentran espaciados a lo largo de las tuberías de distribución, las cuales están a su vez conectadas a las tuberías principales. Estos sistemas son adaptables a una gran variedad de terrenos y pueden usarse para el riego tanto de tierras cultivadas como de bosques. Es preferible un suelo moderadamente permeable capaz de infiltrar aproximadamente 5cm/día o más de medio intermitente, son adecuados para regadío los suelos de naturaleza comprendida entre arcillas y arenas limosas. En la aplicación al terreno por infiltración rápida la mayoría del agua residual aplicada se filtra a través del suelo, y el efluente tratado llega, finalmente, hasta el agua subterránea. El agua residual se aplica a suelos altamente permeables, tales como arenas y arenas limosas, por extensión en lagunas o por aspersión.

El objetivo de la infiltración rápida es el tratamiento del agua residual. El agua tratada puede usarse para:

- 1.-Recarga de acuíferos.
- 2.-Recuperación del agua renovada por pozos o drenes para la reutilización o vertido subsiguiente
- 3.-La recarga de las corrientes superficiales por flujo sub-superficial natural.
- 4.-Almacenamiento temporal del agua renovada en el acuífero.

Se precisan suelos con tasas de infiltración de 10 a 61 cm/d o mayores para una infiltración rápida, los tipos de suelo incluyen arenas, limos arenosos, arenas limosas, y gravas, las arenas muy gruesas y la grava no son ideales porque permite que el agua residual pase demasiado rápido a través de los primeros centímetros en donde tiene lugar la principal acción biológica y química.

El uso de aguas residuales en la industria se limita al empleo del agua residual en alguna parte del proceso como sustituto del agua de primer uso, y queda excluido el reciclado del agua dentro de la misma industria, aunque esta práctica está muy restringida en México.

El uso del agua para la industria se puede clasificar en: agua de enfriamiento, agua para calderas y agua de proceso. Actualmente se identifican sólo dos tipos de práctica. Una de ellas corresponde a plantas industriales que se establecen directamente del alcantarillado y ellas mismas se encargan del tratamiento para cumplir con sus requerimientos de calidad, como son las termoeléctricas del valle de México y Tula, de la CFE, la refinería de PEMEX, en Tula y Altos Hornos de México, en Monclova. Los indicadores de calidad más importantes son: composición de materia en suspensión. Sólidos, alcalinidad total y sus componentes, pH, gases disueltos y dureza.

4.2.6 RECARGA DE ACUÍFEROS.

La recarga artificial de acuíferos es una técnica hidrogeológica que consiste en introducir agua en un acuífero para aumentar la disponibilidad de los recursos hídricos y mejorar su calidad, se practica en acuíferos libres que tienen su nivel de agua a profundidad intermedia o próxima a la superficie y están constituidos por materiales granulares, como son los depósitos aluviales y las areniscas o por materiales consolidados como son las calizas y las dolomías fracturadas o karstificadas. También se puede efectuar en acuíferos confinados, en materiales granulares relativamente cementados, o en consolidados con ligera fisuración. Las zonas de recarga de mayor importancia para los sistemas de flujo subterráneo, corresponden con las elevaciones que limitan a la cuenca de México hacia el poniente y hacia el sur, región que coincide precisamente con el Suelo de Conservación.

Actualmente el Distrito Federal es abastecido con 35 400 l/s de agua potable, de los cuales el 70% proviene de fuentes subterráneas, extraídos a través de 856 pozos (56% del acuífero de la cuenca de México y 14% del acuífero de la cuenca alta del río Lerma). Para proveer el caudal restante se aprovechan fuentes superficiales (3% de manantiales ubicados en la región poniente y sur de la ciudad y 27% de aguas superficiales del sistema Cutzamala).

El hundimiento del subsuelo desde principios del siglo, generado por la sobreexplotación del sistema acuífero, a razón de 10 m³/s en el momento actual, provoca ineficiencias en las redes de agua potable y drenaje que se traducen en constantes fugas en la primera y pérdidas de pendiente física en el caso del drenaje. Estos hundimientos llegan a ser del orden de los 35 cm anuales en algunas zonas al sudeste del Distrito Federal. El fenómeno trae consigo efectos colaterales tales como daños en la construcción y, en otros casos, depresiones de las áreas urbanas que se ven condenadas a un bombeo permanente para el desalojo de las aguas residuales y pluviales. (Estudio para la recarga del acuífero en el suelo de conservación del Distrito Federal, 2000).

El uso de aguas residuales para la recarga de mantos acuíferos, restablece la capacidad de un manto que está siendo explotado, controla o previene hundimientos del terreno, previene la intrusión salina. Debido a la sobreexplotación de acuíferos en varios lugares del país, esta es una alternativa muy importante.

En lo relativo a las aguas subterráneas, se han identificado en el país 459 acuíferos, para los que se estima una extracción total de 24 km³ anuales a través de aproximadamente 140 000 aprovechamientos subterráneos. Se han detectado problemas de sobreexplotación en 80 acuíferos ubicados principalmente en las regiones noroeste, norte y centro-oeste. La disponibilidad relativa de agua subterránea y la ubicación de los acuíferos sobreexplotados se muestra en la Figura 17 (FAO, 2000)

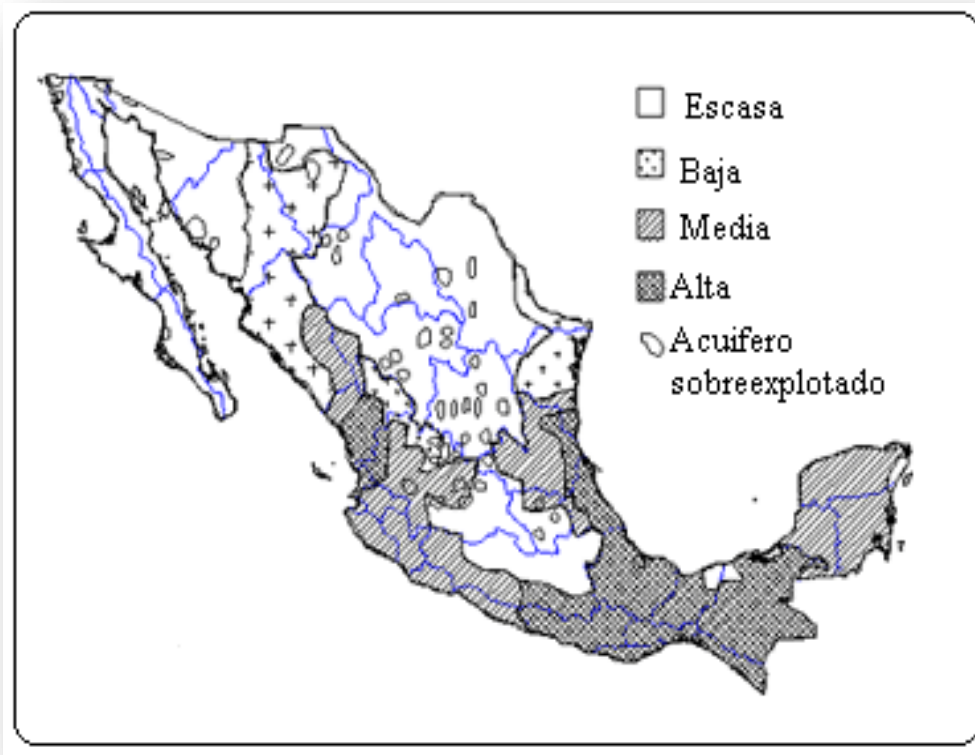


Figura 17 Disponibilidad relativa de aguas subterráneas.

La recarga de aguas residuales ocurre en áreas urbanas debido a la presencia de:

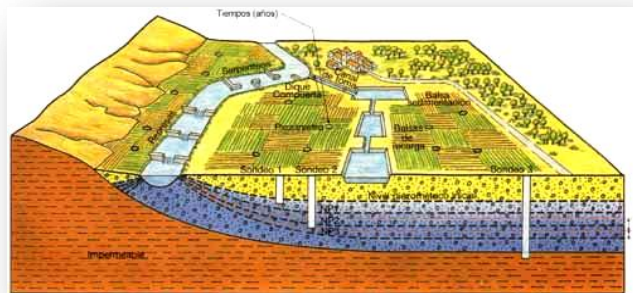
- ≈ Instalaciones de saneamiento *in situ* (fosas sépticas y letrinas) cuya descarga directa al subsuelo constituye una fuente difusa de contaminación continua
- ≈ Sistemas de alcantarillado cuyos efluentes descargan aguas abajo del centro urbano y son usados para riego.

Las aguas residuales se infiltran directamente al subsuelo desde los sistemas de drenaje, y de forma indirecta por los excedentes de agua que se aplican para el riego agrícola en las zonas ribereñas.

La recarga de los acuíferos se logra por percolación desde la superficie donde el agua se infiltra a través de la zona no saturada, desde las lagunas hasta el acuífero. Es un método de tratamiento de costo relativamente barato, pues se basa en la gran actividad bacteriana de la capa superior del suelo, con efectos comparables a los de una planta de tratamiento de tipo biológico, o por inyección directa donde se realiza un bombeo de agua tratada al acuífero y se emplea cuando el tipo o los usos del suelo hacen impráctica o muy costosa la recarga por infiltración.

Los procedimientos ideados para poder introducir el agua en el acuífero son múltiples y variados, aunque resulta muy clásico el establecimiento de dos grandes grupos de métodos en función de que la recarga se efectúe bien por filtración a través de la superficie Figura 18, o bien por introducción directa del agua hasta el acuífero mediante una perforación que lo atraviesa Figura19 (Murillo, 2005).

Figura 18 Filtración por superficie.



Los pozos y sondeos son los sistemas de recarga artificial más utilizados cuando el acuífero se encuentra a una cierta profundidad. Su uso también es frecuente en los casos en que la disponibilidad de terrenos es restringida.

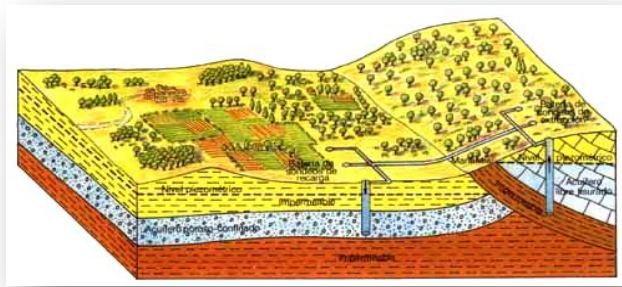


Figura 19 Filtración por perforación

Los métodos de recarga en superficie presentan menos complicaciones técnicas que los dispositivos de recarga artificial en profundidad. La inyección en el acuífero mejora la calidad microbiológica del agua. La composición química se mejora por dilución con el agua originalmente contenida, siempre y cuando el agua inyectada sea de mejor calidad.

4.2.7 ASPECTOS SANITARIOS EN EL USO DE AGUAS RESIDUALES PARA RIEGO.

Los riesgos sanitarios en la utilización de aguas residuales requieren de ciertas medidas para proteger la salud tanto para la población en general como para los trabajadores expuestos al manejo de las mismas.

1. Procesos de tratamiento de depuración de las aguas residuales.
2. Restricción del cultivo o zona a regar.
3. Método de aplicación del agua residual depurada.
4. Grado de la exposición humana.

Estas medidas llevan criterios mínimos de calidad que permitan su utilización y aplicación sin riesgos. Así que es fundamental las características fisicoquímicas y microbiológicas necesarias para su reúso.

Los aspectos de la salud pública que están relacionados con la aplicación del agua residual al terreno incluyen

- a) Agentes bacteriológicos y la posible transmisión de enfermedades a formas biológicas superiores, incluyendo a los seres humanos.
- b) Los productos químicos que pueden llegar hasta el agua subterránea y plantean riesgos para la salud si se ingieren.
- c) La calidad de los cultivos cuando éstos se riegan con efluentes de agua residual.

Agentes bacteriológicos: La supervivencia de bacterias patógenas y virus en las pequeñas gotas de aerosol pulverizadas sobre y en el suelo, y los efectos sobre los trabajadores, son de gran importancia al regar con aguas residuales. Los aspersores utilizados para aplicar los efluentes producen una neblina que pueden ser transportadas por las corrientes de aire. A las gotas de niebla que son extremadamente pequeñas, tanto en dimensiones como en masa, se las denomina aerosoles. Los aerosoles son gotas diminutas de líquido de tipo coloidal que son transportadas por el aire (diámetro de 0.01 a 50 μ). Los aerosoles generados con un agua residual pueden contener bacterias y virus activos.

4.2.8 NORMATIVIDAD EN MATERIA DE AGUAS RESIDUALES EN MÉXICO.

La normatividad para el control y prevención del agua en México ha tenido tres grandes etapas:

La primera de 1972, donde se establecieron cinco parámetros básicos para el control de la contaminación que eran fundamentalmente parámetros muy básicos como son los sólidos suspendidos, las grasas y aceites, pH, sólido sedimentables y temperatura. El objetivo de esta norma era contar con un tratamiento primario para el control de descargas municipales e tipo puntual. La segunda, que abarca la década de los 80 y parte de la de los 90, emulaba la legislación establecida en Estados Unidos. Su estructura se basaba en establecer condiciones de descarga por tipo de fuente de contaminación y se orienta a controlar la contaminación proveniente de fuentes puntuales hasta niveles que la tecnología disponible lo permita. Y la tercera, que es la actualmente vigente establece parámetros en función del uso posterior que se dará a los cuerpos de aguas que reciben las descargas, o bien, al uso que se da al agua una vez empleada. Además, pretende controlar los problemas detectados con mayor frecuencia en los cuerpos de agua del país. Esta normatividad, tiene la ventaja de estar diseñada específicamente para atender los problemas de contaminación del agua específicos del país, y que provienen de las descargas puntuales. (Jiménez, 2008)

En México, la autoridad y administración en materia de aguas nacionales y de sus bienes públicos, corresponde al Ejecutivo Federal, el cual la ejerce a través de la Comisión Nacional del Agua, (CNA). La regulación de explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, distribución, control y conservación de su cantidad y calidad, se encuentran

contenidas en la Ley de Aguas Nacionales y en su reglamento. Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1° de diciembre de 1992. En materia de aguas residuales, en México se ha hecho una reformulación en cuanto a la normatividad, en la que con la finalidad de establecer una uniformidad de criterios para evitar la contaminación de los cuerpos receptores, se establecen las siguientes Normas de carácter general.

La **NOM-001-SEMARNAT-1996**, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1997, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta norma no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes pluviales independientes

La **NOM-002-SEMARNAT-1996**, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de Junio de 1998, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las generadas por la industria, que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado.

La **NOM-003-SEMARNAT-1997**, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de Septiembre 1998, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las de aguas residuales tratadas que se reusen en servicio al público. La cual hace referencia al reúso en servicios al público con contacto directo al que se destina a actividades donde el público usuario esté expuesto directamente o en contacto físico. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana se consideran los siguientes recursos: llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines.

CAPÍTULO 5

METODOLOGÍA.

Para el realizar el diagnostico fisicoquímico del agua para reúso en Ciudad Universitaria, se inicio la revisión bibliográfica de los trabajos realizados para el tratamiento de las aguas residuales generadas en el campus universitario, así como los trabajos sobre el reúso de aguas residuales tratadas en C.U. Posteriormente se determinaron los parámetros fisicoquímicos realizados a los efluentes de las plantas tipo BRAIN y del agua utilizada en riego de áreas verdes, estableciendo la siguiente metodología:

El análisis fisicoquímico del agua Residual se llevó a cabo en 2 partes, la primera parte fue la determinación de calidad del efluente de las plantas BRAIN, (parte 1A) y la determinación de calidad de agua usada en riego de áreas verdes – Época de lluvias, (parte 1B). La segunda parte se determinó la calidad del agua usada en riego de áreas verdes – tiempo de estiaje, (parte 2A).

Para la cuantificación de los parámetros fisicoquímicos de plantas tipo BRAIN como de la zona de riego denominada las Islas se ocupó, la Norma Mexicana NMX-AA-003 SCFI-2006, que establece los lineamientos generales y recomendaciones para el muestreo de aguas residuales, municipales e industriales, con el fin de determinar sus características físicas, químicas y bacteriológicas. Para establecer los puntos de muestreo, se realizó una búsqueda física de las 26 plantas tipo BRAIN construidas en 1996 con el fin de determinar su funcionamiento actual. En algunas de las zonas donde están ubicadas las plantas se tuvo que realizar la limpieza del área por parte de la Coordinación de áreas verdes y forestación, encargada del mantenimiento de áreas verdes de C.U.

Para los análisis del agua residual ocupada en la zona de riego denominada las "ISLAS", los puntos de muestreos fueron:

- 1.-Cisterna Central, que es alimentada con agua tratada de la PTARCU (Cerro del Agua).
- 2.-Aspersores.

En la tabla 7 se muestran las 26 plantas que originalmente se construyeron su estado actual y las plantas a estudiar.

Tabla 7 Ubicación y estado actual de las plantas tipo BRAIN.

CLAVE	UBICACIÓN	Capacidad (m ³ /d)	ESTADO ACTUAL	PUNTOS DE MUESTREO
F.S.- 01	Registro aspirantes (oficinas)	5	Funcionando	Descartada
F.S.- 02	Registro aspirantes (público)	5	Funcionando	Accesible para análisis
F.S.- 03	Caseta vigilancia Av. Imán	5	Fuera de servicio	Fuera de servicio
F.S.- 04	Caseta de vigilancia av. Insurgentes (zona cultural)	5	Funcionando	Accesible para análisis
F.S.- 05	Dirección de teatro y danza	10	Funcionando	Accesible para análisis
F.S.- 06	Sala Netzahualcóyotl	5	Funcionando	Accesible para análisis pero con dificultad por la hierba
F.S.- 07	Caseta de vigilancia circ. Mario de la cueva	5	Funcionando	Descartada
F.S.- 08	Vivero alto (cabaña 1)	5	Funcionando	Descartada
F.S.- 09	Vivero alto (invernadero)	5	Fuera de servicio	Fuera de servicio
F.S.- 10	Vivero alto (caseta de cloración)	5	Funcionando	Accesible para análisis
F.S.- 11	Mesa vibradora	5	Funcionando	Accesible para análisis
F.S.- 12	Mesa vibradora (taller)	5	Funcionando	Accesible para análisis
F.S.- 13	Jardín botánico (oficinas)	5	Fuera de servicio	Fuera de servicio

Continuación tabla 7 Ubicación y estado actual de las plantas tipo BRAIN.

F.S.- 14	Jardín botánico (baños públicos)	5	Fuera de servicio	Fuera de servicio
F.S.- 15	Posgrado de odontología (ala norte)	10	Funcionando	Accesible para análisis
F.S.- 16	Posgrado de odontología (ala sur)	10	Funcionando	Accesible para análisis
F.S.- 17	Caseta de vigilancia metro universidad	5	Funcionando	Accesible para análisis
F.S.- 18	Comedor anexo ingeniería	5	Funcionando	Accesible para análisis
F.S.- 19	Caseta de vigilancia av. Insurgentes (trabajo social)	5	Fuera de servicio	Fuera de servicio
F.S.- 20	Caseta de vigilancia (campo béisbol)	5	Fuera de servicio	Fuera de servicio
F.S.- 21	Planta incineradora	5	Fuera de servicio	Fuera de servicio
F.S.- 22	Canchas fútbol "Pumitas"	5	Funcionando	Accesible para análisis
F.S.- 23	Gimnasio	15	Funcionando	Accesible para análisis
F.S.- 24	Subdirección de medicina deportiva	5	Funcionando	Accesible para análisis
F.S.- 25	Unión de universidades de América Latina (UDUAL)	5	Funcionando	Descartada
F.S.- 26	Caseta de vigilancia (ala poniente estadio olímpico)	5	Funcionando	Accesible para análisis

Para determinar la calidad del agua tanto de los efluentes como del agua de riego, se realizaron 12 muestreos, 6 en época de lluvias (20-Nov-08 al 8-Dic-08, parte 1B) y 6 en época seca (09-Feb-09 al 24 de Feb-09, parte 2A). En el lugar de muestreo se determinó la temperatura, el pH y la conductividad, para los análisis de Materia flotante, SST, DBO₅, DQO SDT, Olor, Color, COT, Nitratos y Tensoactivos se tomaron muestras para su posterior determinación. Se estableció un horario y recorrido para la toma de muestra de todas las plantas, esto para evitar errores por las variaciones horarias y climáticas.

5.1 MATERIALES Y EQUIPOS.

- ≈ Cuerda y cubeta de plástico (aproximadamente de 4 L).
- ≈ 16 Envases de polietileno de boca ancha con tapa hermética perfectamente limpios y libres de cualquier residuo químico.
- ≈ Equipo portátil Conductivity / TDS meter 44600-00, para tomar temperatura.

5.1.1 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS.

Se tomaron muestras representativas de un mismo punto y hora de muestreo, se tomó 1 litro de muestra para efectuar las determinaciones correspondientes. En todos los casos se siguieron los pasos que se enlistan a continuación:

1) IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

- a) IDENTIFICACIÓN DE LA DESCARGA: Efluente de planta, cámara de contacto de cloro.
- b) NÚMERO DE MUESTRA: Se realizaron 8 muestreos.
- c) FECHA Y HORA DE MUESTREO: Se establecieron martes y jueves como días de muestreo, esto con la finalidad de dar tiempo para realizar los análisis correspondientes entre una toma y otra. El muestreo se realizó de 8 am a 12 hrs, para mantener las mismas condiciones de descargas de los efluentes y de temperatura.
- d) PUNTOS DE MUESTREO: Planta F.S. #
- e) TEMPERATURA DE LA MUESTRA: Se debe tomar inmediatamente después de tomar la muestra.
- f) NOMBRE DEL QUE TOMA LA MUESTRA.

2) MUESTREO EN DESCARGAS LIBRES.

- a) El recipiente muestreador se debe de enjuagar 3 veces y posteriormente llenarlo.
- b) Se introduce el recipiente muestreador en la descarga, calculando contar con el tramo de soga suficiente para llegar al nivel deseado, o bien si la toma es superficial y el sitio lo permite, se toma directamente con la mano enguantada en su recipiente siguiendo el procedimiento de enjuague indicados.

5.2 PARÁMETROS DE CONTROL.

La calidad de agua tratada en CU se determinó en dos periodos:

Primera parte (16 de Octubre al 18 de Noviembre del 2008. Época de lluvias.)

Parte 1A Determinación de calidad del efluente de las plantas tipo BRAIN.

Parte 1B Determinación de la calidad del agua residual utilizada en riego de áreas verdes.

Segunda parte (9 de Febrero al 26 de Febrero del 2009. Época de estiaje).

Parte 2A Determinación de la calidad del agua residual utilizada en riego de áreas verdes.

Tabla 8 Parámetros fisicoquímicos utilizados en la determinación de la calidad del agua residual de las plantas tipo BRAIN.

Parámetros	Límite máximo. permisible	Equipo utilizado	Tamaño de muestra para análisis	Norma utilizada
Temperatura	40°C	Conductivity / TDS meter 44600-00	50 mL.	NOM-001-SEMARNAT-1996 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en agua y bienes nacionales.
Materia Flotante	Ausente	Determinado visualmente	50 mL.	
pH	de 5 a 10	Potenciómetro pH meter model 420	50 mL.	
SST	40 mg/L	Pastel U.V Rs 232	1000µL.	
DBO ₅	30mg/L	Pastel U.V Rs 232	1000µL.	Se determinaron con equipos del laboratorio
DQO	No reporta	Pastel U.V Rs 232	1000µL.	
Conductividad	No reporta	Conductivity / TDS meter 44600-00	50 mL.	
SDT	No reporta	Conductivity / TDS meter 44600-00	50 mL.	
Olor	No reporta	Determinado visualmente	50 mL.	
Color	No reporta	Determinado visualmente	50 mL.	
COT	No reporta	Pastel U.V Rs 232	1000µL.-	
Nitratos	No reporta	Pastel U.V Rs 232	1000µL.	
Tensoactivos	No reporta	Pastel U.V Rs 232	1000µL.	

Tabla 9 Parámetros fisicoquímicos utilizados en la determinación de la calidad del agua residual utilizada en riego de áreas verdes “Cisterna central”.

Parámetros	Límite máximo. Permissible	Equipo utilizado	Tamaño de muestra para análisis	Norma utilizada
Temperatura	40°C	Conductivity / TDS meter 44600-00	50 mL.	NOM-001-SEMARNAT-1996 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en agua y bienes nacionales.
pH	de 5 a 10	Potenciómetro pH meter model 420	50 mL.	
Materia Flotante	Ausente	Determinado visualmente	50 mL.	NOM-003-SEMARNAT1997 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se usen en servicio al público. (Para servicios al público con contacto directo).
SST	20 mg/L	Pastel U.V Rs 232	1000µL.	
Grasa y aceites	15 mg/L	Realizado por laboratorio certificado externo	1L /por triplicado	
DBO ₅	20mg/L	Pastel U.V Rs 232	1000µL.	
DQO	No reporta	Pastel U.V Rs 232	1000µL.	
Conductividad	No reporta	Conductivity / TDS meter 44600-00	50 mL.	
Sólidos Disueltos Totales	No reporta	Conductivity / TDS meter 44600-00	50 mL.	
Olor	No reporta	Determinado visualmente	50 mL.	
Color	No reporta	Determinado visualmente	50 mL.	
Carbón Orgánico Total	No reporta	Pastel U.V Rs 232	1000µL.	
Nitratos	No reporta	Pastel U.V Rs 232	1000µL.	
Tensoactivos	No reporta	Pastel U.V Rs 232	1000µL.	

En la tabla 8 y 9 se muestran los parámetros utilizados para la determinación de la calidad del agua de las plantas tipo BRAIN y de riego respectivamente.

La determinación de temperatura y conductividad se midió en el lugar del muestreo, con un equipo portátil (Conductivity / TDS meter 44600-00), sumergiendo el electrodo en un volumen mínimo de 500 mL, para inmersión parcial en un envase de polietileno, se determinó la temperatura y conductividad de inmediato, (NMX-AA-007-SCFI-2000 y NMX-AA-093-SCFI-2000, respectivamente). Con este mismo equipo determinamos el valor de los SDT, mediante la medición de la conductividad en relación a la concentración de sólidos disueltos en la muestra. Para las mediciones se ocupó un potenciómetro ya que este es el método más efectivo para la medida de la conductividad eléctrica en disoluciones de alta concentración de sólidos disueltos. En soluciones acuosas la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos, por lo tanto cuanto mayor sea dicha concentración, mayor será la conductividad, este equipo convierte directamente el valor de la conductividad eléctrica a una lectura directa de sólidos disueltos.

Para los parámetros de SST, DBO₅, DQO, COT, Nitratos y Tensoactivos, se utilizó un equipo Pastel U.V Rs 232, donde se midió simultáneamente dichos parámetros, mediante análisis del espectro de absorción ultra violeta (200 a 320 nm) de las muestras, se tomaron muestras de 1000µL con micropipeta para introducirla en una cubeta de cuarzo con un paso óptico de 10mm para aguas claras, y se analizó mediante la función para aguas tratadas por métodos biológicos. La espectroscopia UV se utiliza en la determinación cuantitativa de soluciones con compuestos orgánicos conjugados.

Los resultados obtenidos de las determinaciones fisicoquímicas se compararon con los parámetros determinados en las normas mexicanas que establecen los límites de contaminantes en aguas residuales, estableciendo así cuales parámetros están dentro de los límites máximos permisibles.

Los parámetros microbiológicos para el efluente de las plantas tipo BRAIN así como para el agua de riego almacenada en la cisterna central y utilizada en el sistema de riego de los jardines centrales se realizó a la par con los parámetros fisicoquímicos, los resultados microbiológicos se encuentran en otro trabajo de estudio del Instituto de Ingeniería. Se anexa un resumen de resultado solo como referencia.

CAPÍTULO 6

Resultados y Discusión

6.1 Análisis de resultados primera parte. “Plantas tipo BRAIN”.

6.1.1 Parte 1A.- Determinación de calidad del efluente de las plantas tipo BRAIN.

De las 26 plantas tipo BRAIN instaladas en CU en 1996, 19 siguen en funcionamiento y 7 están fuera de servicio, pues se integraron al sistema de drenaje construido en la zona. Las 19 plantas que siguen en funcionamiento no se integraron al sistema de drenaje ya que en esas zonas no se cuenta aún con red de drenaje o su integración al sistema de drenaje era complicado.

De las 19 plantas en funcionamiento, se descartaron 4 por lo siguiente:

La planta de tratamiento ubicada en registro de aspirantes (oficinas), el acceso es muy complicado por que la planta se encuentra en una cañada con exceso de vegetación, como se muestra en la Figura 20.



Figura 20 FS – 01 Registro de aspirantes (oficinas).

La planta ubicada en el circuito Mario de la Cueva, está detrás de la caseta de vigilancia, no se analizó esta planta por encontrarse en una cañada con mucha vegetación, como se aprecia en la Figura 21.



Figura 21 FS – 07 Caseta de vigilancia circuito Mario de la cueva.

La planta en vivero alto denominada como “Cabaña 1”, está en funcionamiento solo cuando se realiza algún evento en la cabaña, por lo general estos eventos se realizan uno por mes, como se ve en la Figura 22, la cámara de agua tratada está vacía.



Figura 22 FS – 08 Vivero alto (cabaña 1).

La planta ubicada en el edificio de Unión de Universidades de América Latina (UDUAL), se encuentra en funcionamiento, cuando se realizó el estudio de calidad del agua en las plantas, la cámara de agua tratada, (Figura 23) esta se encontraba vacía o con poco agua, (insuficiente para análisis) por lo que se dejó sin análisis.



Figura 23 FS – 25 UDUAL, se encontró la cámara de agua tratada vacía.

El mantenimiento de las plantas está a cargo de la Dirección General de Obras y Conservación, y se realiza aproximadamente cada 6 meses. Las plantas que cuentan con Pos-tratamiento de cámara de contacto de cloro y filtro de arena, ambos posteriores al bio-reactor anaerobio, con instalaciones de 10 m³/d (dirección de teatro y danza, posgrado de odontología Norte y sur) y de 15 m³/d (gimnasio) ya no se está utilizando, por lo tanto el agua se va directamente a infiltración sin desinfección, siendo esto un foco de contaminación grande del suelo donde se está infiltrando el agua, a la vez que estamos provocando la contaminación del acuífero; siendo que el propósito de la recarga artificial de acuíferos es aumentar la disposición de los recursos así como mejorar su calidad.

El estado físico de las plantas de tratamiento se observa en el anexo 1, “Estado físico de las plantas de tratamiento tipo BRAIN”. Las plantas necesitan mantenimiento tanto en las instalaciones que las contiene, (tapas de cámaras de pre-tratamiento, BRAIN, y cámaras de aguas tratadas) como en los BRAIN que se encuentran en malas condiciones (sin tapas, con infiltraciones o tubos de alimentación rotos).

Los resultado promedios obtenidos del muestreo y análisis fisicoquímicos de los efluente de las plantas tipo BRAIN, se muestran en la tabla 10. Sólo las plantas de caseta de vigilancia del Estadio Olímpico y Caseta de cloración, no presentan materia flotante. En la tabla 11, se muestra cuales plantas cumplen con la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 Uso público urbano (promedio mensual), en los parámetros medidos.

Los resultados obtenidos de pH (7.54 a 8.36) y temperatura (15 a 17.9), (Figura 24) indican que se encuentran dentro de los límites reportados en la NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece para pH (5 a 10 unidades) y temperatura (40 °C). Respecto al parámetro de conductividad (Figura 24), las plantas que tienen los resultados más altos son las de Av. Imán, baños públicos (2.052 ms/cm), Posgrado Odontología Norte (1.932 ms/cm) y Posgrado Odontología Sur (1.549 ms/cm), estos valores nos indica que son las plantas con mayor cantidad de Sólidos Disueltos Totales (Figura 26) con respecto a las demás plantas. La conductividad tiene un comportamiento directamente relacionado con los Sólidos Disueltos Totales.

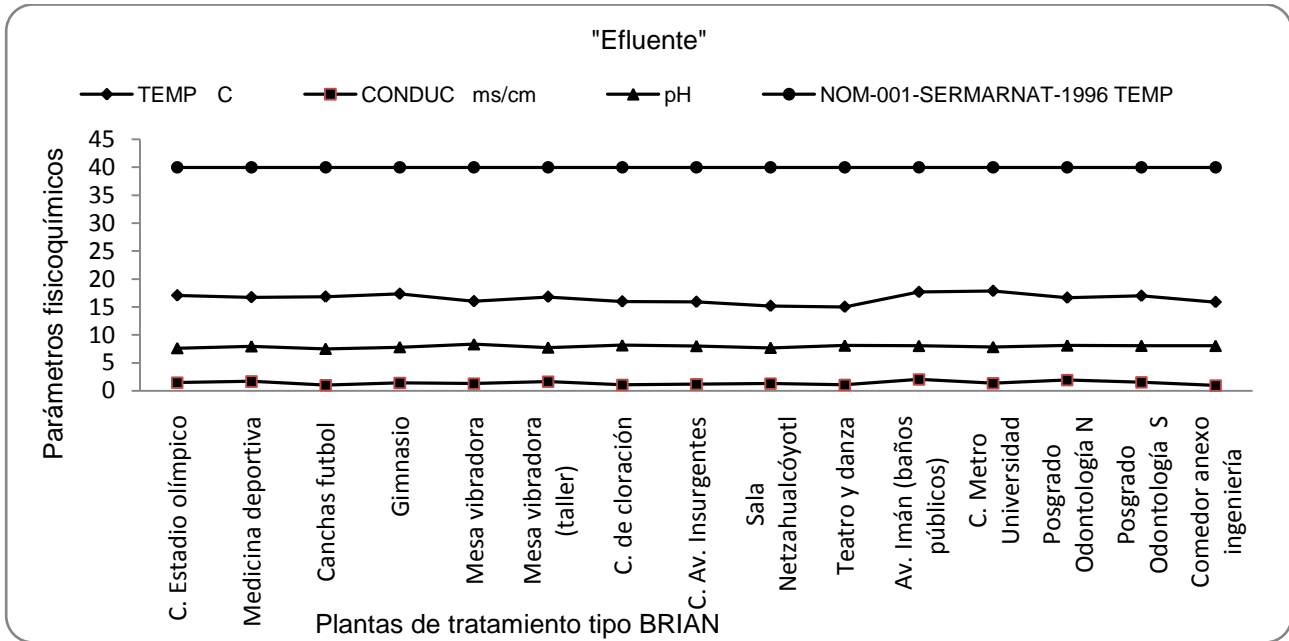


Figura 24 Comportamiento de la temperatura, conductividad y pH del efluente en agua residual tratada para infiltración.

Para los valores de DBO₅ (Figura 25) reportados en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece un máximo de 30mg/L, las plantas que cumplen con dicho parámetro son Caseta de vigilancia estadio olímpico (12.14 mg/L), El gimnasio (17.57 mg/L), Mesa vibradora (22.42 mg/L), Caseta de cloración (18.57 mg/L), Caseta de vigilancia av. Insurgentes (19 mg/L) y Dirección de teatro y danza (12.28 mg/L). Las demás plantas están fuera del límite permisible, esto por la gran aportación de carga orgánica proveniente de las instalaciones donde se ubican dichas plantas. A mayor DBO, mayor grado de contaminación.

Como se observa en las graficas, los puntos donde es alta la DBO₅ (Figura 25), también tenemos un aumento de DQO (Figura 26), la planta con mayor DBO₅ y DQO es la del Comedor anexo Ingeniería (98 mg/L, 378 mg/L respectivamente), le siguen la planta Caseta de vigilancia. Metro Universidad (78.28 mg/L de DBO₅ y 176 mg/L de DQO) y Posgrado de Odontología ala Norte (70.57 mg/L de DBO₅ y 179 mg/L de DQO).

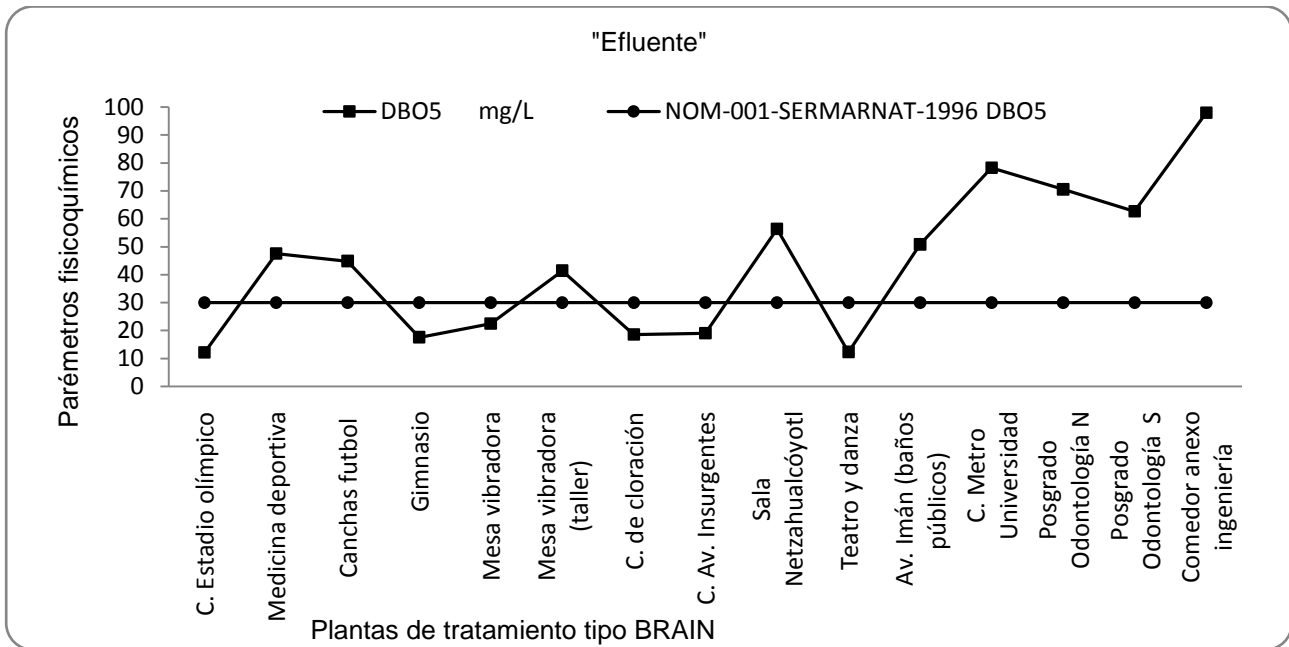


Figura 25 Comportamiento de la DBO₅ del efluente en agua residual tratada para infiltración.

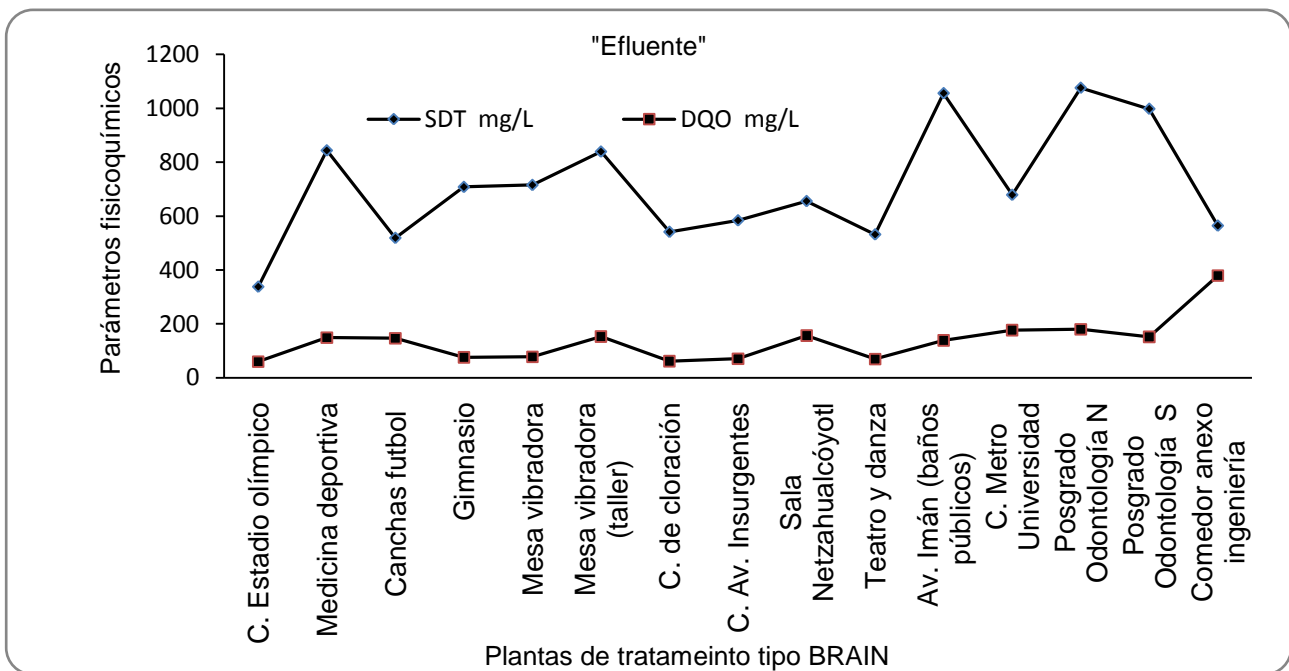


Figura 26 Comportamiento de los SDT y DQO del efluente en agua residual tratada para infiltración.

Los resultados obtenidos de SST (Figura 27) muestran que las plantas Caseta de vigilancia estadio olímpico (18.28 mg/L), Gimnasio (21.42 mg/L), Mesa vibradora (28.85 mg/L), Caseta de cloración (21.57 mg/L), Caseta de vigilancia Av. Insurgentes (26.577mg/L), Dirección de teatro y danza (29.71 mg/L), Av. Imán (34.83 mg/L); están dentro de los límites máximos

permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 (de 40 mg/L). Es de notar que la planta del Comedor anexo de Ingeniería es la que presenta el mayor resultado de SST (145.7 mg/L), lo que explica el color negro del efluente y la gran cantidad de materia orgánica presente (alta DBO₅, 98mg/L).

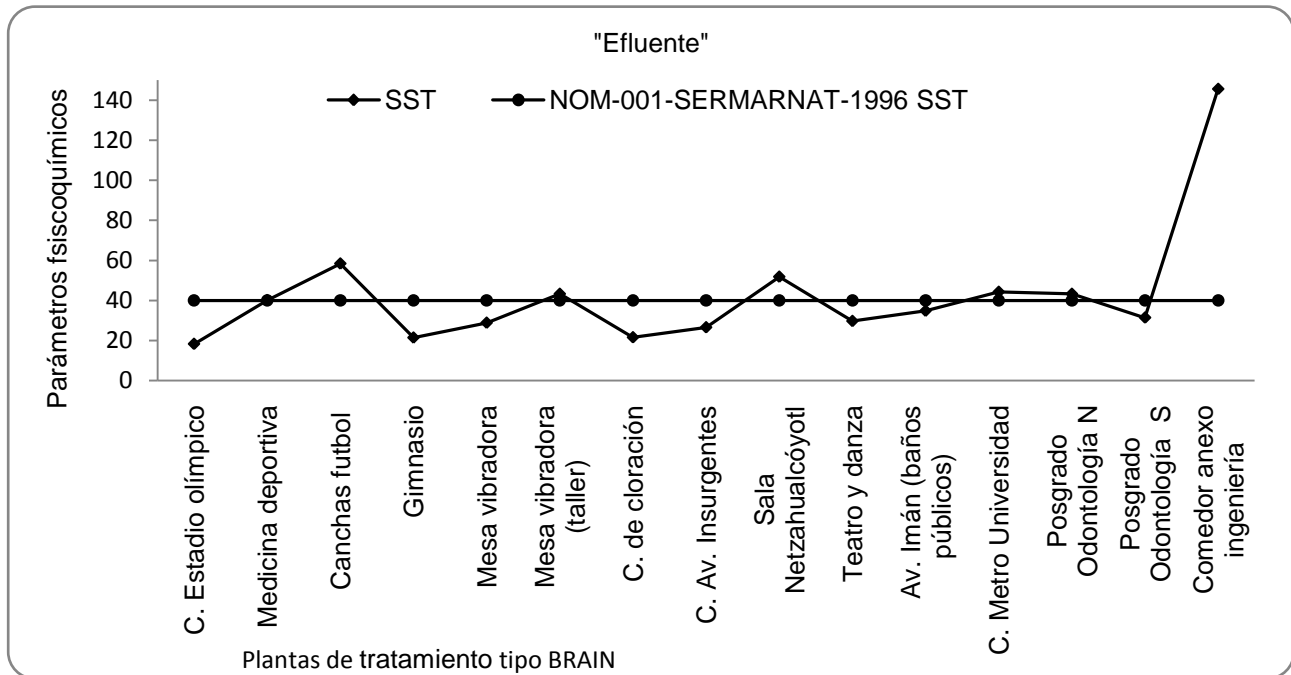


Figura 27 Comportamiento de los SST del efluente en agua residual tratada para infiltración.

Para los tensoactivos (Figura 28) las plantas de Sala Netzahualcóyotl, Caseta de vigilancia del Metro Universidad, Posgrado de odontología Norte y Sur, y la del Comedor anexo de Ingeniería son las que tienen los resultados más altos (van de 10 a 17.2 mg/L) en comparación de las demás plantas que van de 2 a 9.85 mg/L. Las plantas que presentan valores de < 1 son el Gimnasio, y la Caseta de cloración.

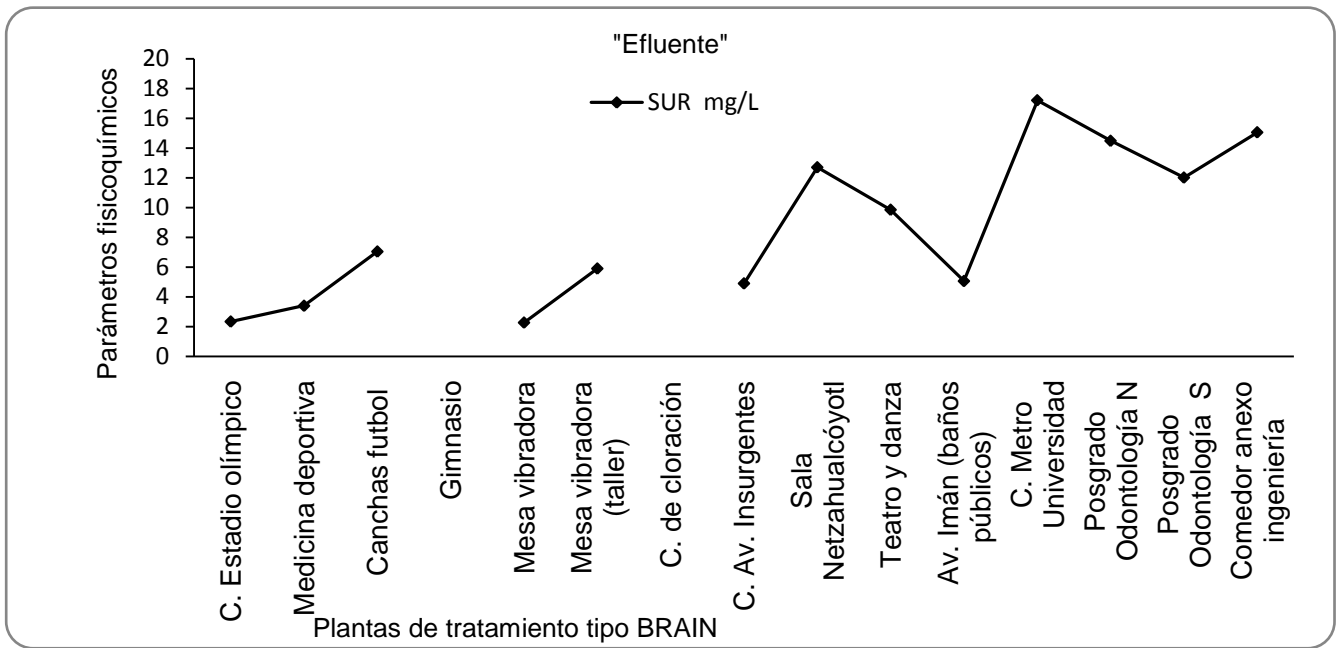


Figura 28 Comportamiento de los Tensoactivos del efluente en agua residual tratada para infiltración.

Tabla 10 Promedio total de parámetros fisicoquímico de las plantas tipo BRAIN.

PLANTA	TEMP °C	TEMP min máx.		CONDUC ms/cm	CONDUC min máx.		SDT mg/L	SDT min máx.		pH	pH min máx.		SST	SST min máx.		DQO	DQO min máx.		DBO ₅	DBO ₅ min máx.		NNO3	NNO3 min máx.		SUR	Tensoactivos min máx.		MATERIA FLOTANTE
NOM-001-SEMARNAT-1996	40			NR			NR			5-10			40			NR			30			NR			NR			Ausente
Cas. vigilancia. Estadio olímpico	17.1	15.6	18.9	1.47	0.51	1.238	337.4	268	62	7.66	7.58	7.91	18.28	10	35	59.7	41	88	12.14	9	18	< 1	1	1.8	2.34	1.4	4.1	Ausente
Medicina deportiva	16.77	15.9	18.7	1.68	1.09	1.8	842.9	769	898	7.99	7.53	8.2	40.14	34	44	149	135	158	47.57	40	53	< 1	1	1	3.4	1.8	4.4	Poca
Canchas futbol "Pumitas"	16.87	14.9	19.2	1.039	0.72	1.27	518.4	360	63	7.54	7.21	7.89	58.42	49	77	146	114	174	44.85	22	55	< 1	1	1	7.042	1.3	14.4	Abundante
Gimnasio	17.38	15.1	18.8	1.414	1	1.55	707.4	647	774	7.84	7.37	8.07	21.42	13	28	75.7	57	97	17.57	14	21	< 1	1	1	< 1	< 1	< 1	Poca
Mesa vibradora	16.05	13.6	19.1	1.308	0.73	1.47	714.7	693	730	8.36	8.18	8.48	28.85	26	32	77.4	66	91	22.42	20	24	< 1	1	1	2.27	< 1	2.7	Poca
Mesa vibradora (taller)	16.84	15.1	19	1.673	1.43	1.772	838.4	716	965	7.77	7.48	8.04	43.28	35	52	152	13	176	41.42	33	61	< 1	1	1	5.9	4.4	12	Poca
Cas. de cloración	16.01	14.1	18.8	1.082	1.01	1.147	540.9	501	575	8.17	7.93	8.29	21.57	14	27	61.1	49	70	18.57	16	20	< 1	1	1	< 1	< 1	< 1	Ausente
Cas. vig. Av. Insurgentes	15.94	13.1	19.7	1.176	0.68	1.315	583.4	334	641	8.04	7.5	8.21	26.57	21	31	70.3	56	82	19	14	22	2.86	1	3.3	4.9	< 1	6	Poca
Sala Netzahualcóyotl	15.21	13	19	1.309	1.2	1.431	655	602	718	7.73	7.43	8.27	51.85	46	64	156	137	182	56.42	45	65	< 1	1	1	12.7	5.1	19.8	Abundante
Teatro y danza	15.04	13.2	19.6	1.051	1.01	1.12	531.4	510	593	8.122	7.51	8.37	29.71	25	36	69.1	59	80	12.28	11	14	1.98	1.2	2.6	9.85	5.4	12.8	Poca
Av. Imán (baños públicos)	17.71	16.2	19.7	2.052	1.76	2.25	1055	979	1150	8.06	8.18	7.97	34.83	28	52	139	123	166	50.83	47	56	< 1	1	1	5.06	3.7	7.2	Poca
Cas. de vig. Metro Universidad	17.9	16.5	19.5	1.351	0.9	1.583	678.1	451	793	7.86	7.49	8.14	44.28	22	66	176	148	208	78.28	6	101	< 1	1	1	17.2	3.8	27.4	Abundante
Posgrado Odontología N	16.68	14.6	18.4	1.932	1	2.56	1075	742	1274	8.14	7.78	8.28	43.28	10	47	179	69	240	70.57	38	100	< 1	1	1	14.48	3.4	36	Poca
Posgrado Odontología S	17.02	15.5	17.8	1.549	1	2.361	997.1	767	1274	8.08	7.7	8.26	31.42	11	52	152	84	26	62.71	44	93	< 1	1	1	12.01	< 1	18.4	Abundante
Comedor anexo ingeniería	15.91	14.8	16.5	0.963	0.12	1.23	563.8	526	608	8.07	7.84	8.27	145.7	18	320	378	105	690	98	42	168	< 1	1	1	15.05	2.2	31.5	Abundante
Desviación estándar	0.85			0.3275			214.9			0.22			30.8			80.4			26.49									

(n=7) NR = No reporta. Fecha de inicio de muestreo 16 Octubre 2008. Fecha de término de muestreo 18 Noviembre 2008.

NOM-001-SEMARNAT-1996 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en agua y bienes nacionales.

Tabla 11 Plantas que cumplen con la NOM-001-SEMARNAT-1996 Uso público urbano.

No.	PLANTA	SST	DBO ₅	MATERIA FLOTANTE	OLOR	COLOR
NOM-001-SEMARNAT-1996 Uso público urbano promedio mensual		40 mg/L	30 mg/L	Ausente	NR	NR
1	C. Estadio olímpico	Dentro del Límite	Dentro del Límite	Ausente	Sin olor	Transparente turbio
2	Medicina deportiva	Fuera del límite	Fuera del límite	Poca	Sin olor	Ámbar claro
3	Canchas futbol "Pumitas"	Fuera del límite	Fuera del límite	Abundante	Con olor	Transparente turbio
4	Gimnasio	Dentro del límite	Dentro del Límite	Poca	Con olor suave	Transparente turbio
5	Mesa vibradora	Dentro del Límite	Dentro del Límite	Poca	Sin olor	Ámbar claro
6	Mesa vibradora (taller)	Fuera del límite	Fuera del límite	Poca	Sin olor	Transparente turbio
7	C. de cloración	Dentro del Límite	Dentro del Límite	Ausente	Con olor suave	Transparente turbio
8	C. Av. Insurgentes	Dentro del Límite	Dentro del Límite	Poca	Sin olor	Transparente
9	Sala Netzahualcóyotl	Fuera del límite	Fuera del límite	Abundante	Sin olor	Transparente
10	Teatro y danza	Dentro del Límite	Dentro del Límite	Poca	Sin olor	Transparente turbio
11	Av. Imán (baños públicos)	Dentro del Límite	Fuera del límite	Poca	Sin olor	Ámbar claro
12	Cas. de vigilancia Metro Universidad	Fuera del límite	Fuera del límite	Abundante	Con olor fuerte	Ámbar fuerte
13	Posgrado Odontología N	Fuera del límite	Fuera del límite	Poca	Con olor fuerte	Transparente turbio
14	Posgrado Odontología S	Dentro del Límite	Fuera del límite	Abundante	Con olor fuerte	Transparente turbio
15	Comedor anexo ingeniería	Fuera del límite	Fuera del límite	Abundante	Con olor fuerte	Negra

Como podemos observar sólo 2 plantas de las 15 analizadas cumplen con los parámetros establecidos por la norma, que sería el 13%, 4 de ellas cumplen algún parámetro marcado por la norma, un 26% y las 9 restantes, un 61%, no cumplen con ninguno de los parámetros que marca la norma.

6.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS SEGUNDA PARTE:

6.2.1 Parte 1B y 2A.- Determinación de calidad del agua de reúso para riego de áreas verdes en la cisterna central y aspersores.

El grado de tratamiento preciso antes de la aplicación al terreno depende de numerosos factores, incluyendo las normas de salud pública, la carga aplicada con respecto a las características críticas del agua residual, y la efectividad y fiabilidad deseada de los equipos empleados. La estabilización biológica es necesaria para prevenir el desprendimiento de olores en los depósitos de almacenamiento (Metcalf & Eddy, 1985). Los resultados obtenidos del muestreo y análisis fisicoquímicos de la cisterna central y de las muestras obtenidas en los aspersores se muestran en la tabla 12 y 13 respectivamente.

La norma NOM-003-SEMARNAT1997 no establece límites máximos permisibles de temperatura y pH para las aguas residuales tratadas, por lo tanto se utilizan los límites reportados en la NOM-001-SEMARNAT-1996 para pH (5 a 10 unidades) y temperatura (40 °C). Los resultados obtenidos de pH y temperatura para la cisterna central (Figura 29a), como para los aspersores (Figura 29b) indican que se encuentran dentro de los límites que establece la norma, el aumento de la temperatura que apreciamos en el agua de la cisterna central se debe al cambio estacional. Respecto al parámetro de conductividad (Figura 29a cisterna y 29b aspersores), ninguna norma de las consultadas marca algún límite, pero vemos que los resultados se mantienen en el intervalo de (1.015 a 1.302).

Tabla 12. Promedio total de parámetros fisicoquímico de la Cisterna central.

# de Muestra	FECHA	TEMP °C	CONDUC ms/cm	SDT mg/L	pH	SST mg/L	DQO mg/L	DBO5 mg/L	COT mg/L	NNO3 mg/L	SUR mg/L	COLOR	OLOR	MATERIA FLOTANTE
NOM-003		NR	NR	NR	NR	20	NR	20	NR	NR	NR	NR	NR	Ausente
NOM-001		40	NR	NR	5 a 10	40	NR	30	NR	NR	NR	NR	NR	Ausente
1	20-nov-08	15.9	1.231	618	7.47	32	97	37	31	1.4	7.8	Transparente turbia	A humedad	Ausente
2	25-nov-08	16	1.015	507	6.87	30	97	25	24	< 1	3.5	Transparente turbia	A humedad	Poca
3	27-nov-08	15.7	1.16	576	7.13	44	145	37	35	< 1	2.3	Transparente turbia	A pescado, orines	Poca
4	03-dic-08	15.3	1.134	569	7.45	35	121	33	30	< 1	1.5	Transparente turbia	Raro	Pocos
5	05-dic-08	12.2	1.162	583	7.42	29	106	35	29	< 1	2	Transparente turbia	Raro	Pocos de color blanco
6	08-dic-08	15.1	1.219	612	7.43	28	108	33	28	< 1	2.9	Transparente turbia	Raro	Sólidos café
7	09-feb-09	16.8	1.147	575	7.46	28	110	31	27	< 1	2.1	Ligeramente turbio	Olor a Orines	Pocas
8	12-feb-09	18	1.249	652	7.66	50	152	42	39	< 1	2.6	Ligeramente turbio	Olor muy fuerte	Abundante
9	16-feb-09	18.6	1.302	653	7.55	41	136	40	36	< 1	3	Ligeramente turbio	Olor muy fuerte	Pocas
10	20-feb-09	18.8	1.193	599	7.8	50	150	47	42	< 1	3.8	Turbia	A humedad	Pocas
11	24-feb-09	17.6	1.169	583	7.65	32	122	37	32	< 1	3	Ligeramente turbio	Ligeramente perceptible	Ausente
12	26-feb-09	17.2	1.128	566	7.57	30	114	33	29	< 1	2.5	Ligeramente turbio	No se percibe olor	Poca
Máximo.		18.8	1.302	653	7.8	50	152	47	42	1.4	7.8			
Mínimo.		12.2	1.015	507	6.87	28	97	25	24	< 1	1.5			
Desviación estándar		1.82	0.072	40	0.24	8.34	20	5.63	5.23		1.61			

(n=12) NR = No reporta. Primera parte de muestreo: 20 Nov. a 8 Dic. 2008, época de lluvias. Segunda parte de muestreo: 09 Feb. al 24 Feb. 2009, en poca seca.

NOM-003-SEMARNAT1997 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se usen en servicio al público. (Para servicios al público con contacto directo). NOM-001-SEMARNAT-1996 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en agua y bienes nacionales.

Tabla 13. Resultados de parámetros fisicoquímico "Aspersores zona central".

# de muestra	FECHA	TEMP °C	CONDUCT ms/cm	SDT mg/L	pH	SST mg/L	DQO mg/L	DBO5 mg/L	COT mg/L	NNO3 mg/L	SUR mg/L	COLOR	OLOR	MATERIA FLOTANTE
NOM-003		NR	NR	NR	NR	20	NR	20	NR	NR	NR	NR	NR	Ausente
NOM-001		40	NR	NR	5 a 10	40	NR	30	NR	NR	NR	NR	NR	Ausente
1	20-nov-08	15.9	1.232	618	7.68	37	104	38	32	1.2	6.9	Transparente turbia	Ligeramente raro	Ausente
2	25-nov-08	15.7	1.137	570	7.25	27	102	27	25	< 1	2.8	Transparente turbia	Ligeramente raro	Ausente
3	27-nov-08	17.1	1.069	537	7.03	42	116	38	33	< 1	2.8	Transparente turbia	Ligeramente raro	Ausente
4	03-dic-08	15.5	1.040	520	7.63	37	130	34	32	< 1	1.5	Transparente turbia	Ligeramente raro	Pocos
5	05-dic-08	11.3	1.096	549	7.72	36	126	35	31	< 1	1.6	Transparente turbia	Ligeramente raro	Pocos de color blanco
6	08-dic-08	14.7	1.146	577	7.75	28	104	35	29	< 1	3.1	Transparente turbia	Poco	Ausente
7	09-feb-09	16.9	1.24	620	7.75	31	112	33	29	< 1	2.1	Ligeramente turbio	Olor a orines	Ausente
8	12-feb-09	17.1	1.23	618	8	50	142	43	39	< 1	2.7	Ligeramente turbio	Olor muy fuerte	Pocas
9	16-feb-09	18.8	1.326	660	7.4	38	129	46	38	< 1	3.9	Ligeramente turbio	Olor muy fuerte	Pocas
10	20-feb-09	18.4	1.264	634	7.93	74	196	55	52	< 1	3.6	Turbio	Olor muy fuerte	Pocas
11	24-feb-09	17.7	1.257	631	7.53	14	116	55	43	< 1	34	Ligeramente turbio	Huevos podridos muy fuerte	Ausente
12	26-feb-09	17.5	1.172	588	7.50	28	111	35	29	< 1	2.7	Ligeramente turbio	No se percibe olor	Ausente
Máximo.		18.8	1.326	660	8	74	102	55	52	1.2	34			
Mínimo.		11.3	1.040	520	7.03	14	196	27	25	< 1	1.5			
Desviación estándar		2.0	0.087	43	0.27	15	26	8.6	7.4		5.64			

(n=12) NR = No reporta. Primera parte de muestreo: 20 Nov. a 8 Dic. 2008, época de lluvias. Segunda parte de muestreo: 09 Feb. al 24 Feb. 2009, época seca.

NOM-003-SEMARNAT1997 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se usen en servicio al público. (Para servicios al público con contacto directo). NOM-001-SEMARNAT-1996 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en agua y bienes nacionales

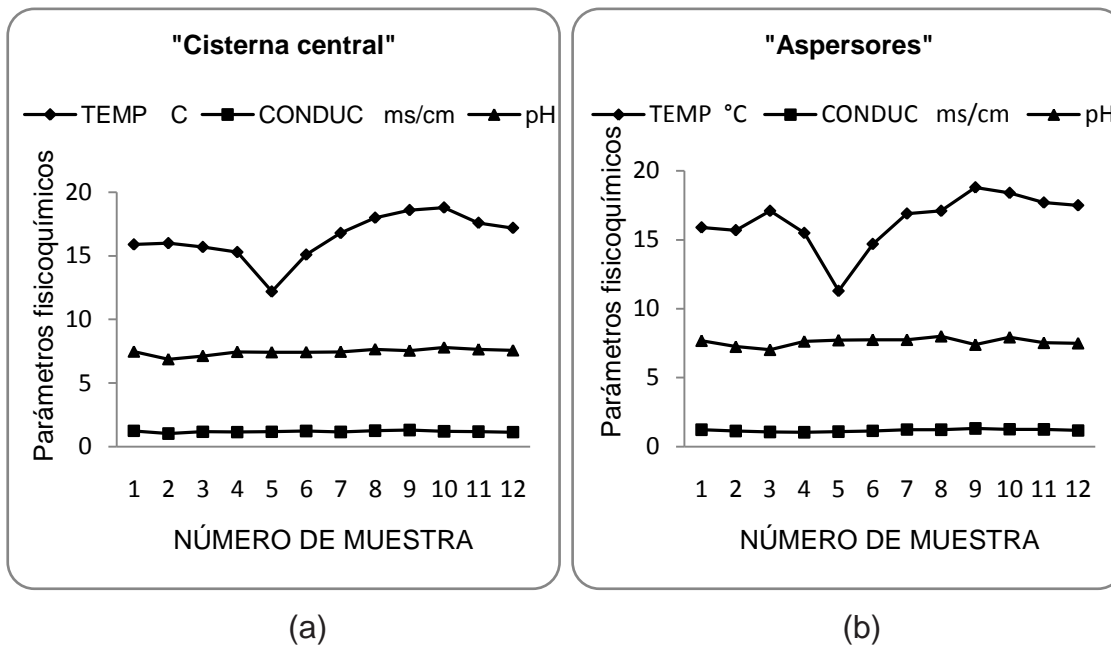
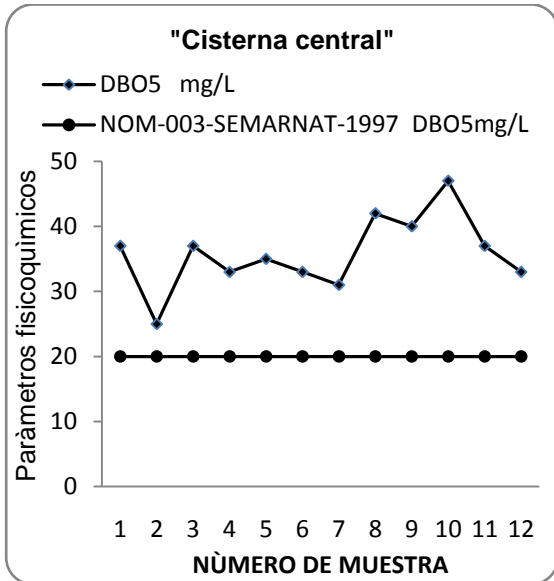


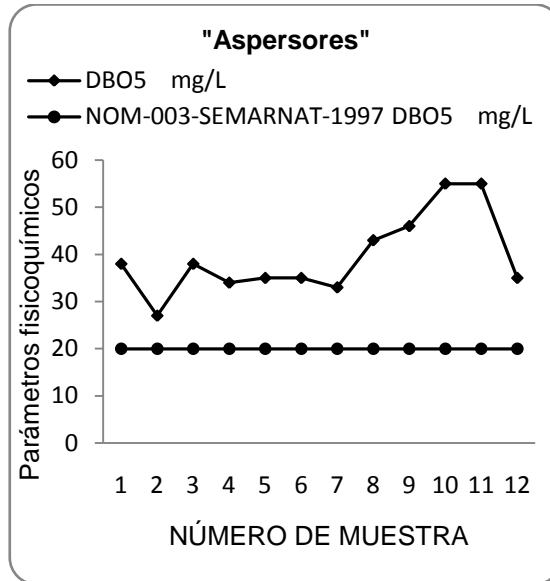
Figura 29a y 29b Comportamiento de la temperatura, conductividad y pH, en agua residual tratada para riego en la zona central.

La BDO₅ para las muestras de la cisterna central (Figura 30a) como para los aspersores (Figura 30b), está por arriba del límite máximo permisible indicado por la NOM-003-SEMARNAT1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se usen en servicio al público. (Para servicios al público con contacto directo), en 20mg/L y se aprecia un aumento de esta a partir del muestreo No. 7 correspondiente a la época de estiaje. Este aumento de la DBO₅ es atribuible a que ya no hay lluvias las cuales al incorporarse al influente de la planta de tratamiento servirían como diluyente de las mismas.

En las redes de alcantarillado unitarias las variaciones estacionales de la DBO y de los sólidos en suspensión son principalmente, función de la cantidad pluvial que penetra en el sistema. En presencia de aguas pluviales, las concentraciones medias de estos constituyentes serán, generalmente, menores que las concentraciones correspondientes en el agua residual doméstica, la presencia de aguas pluviales significa que las concentraciones medidas de la mayoría de constituyentes serán menores.



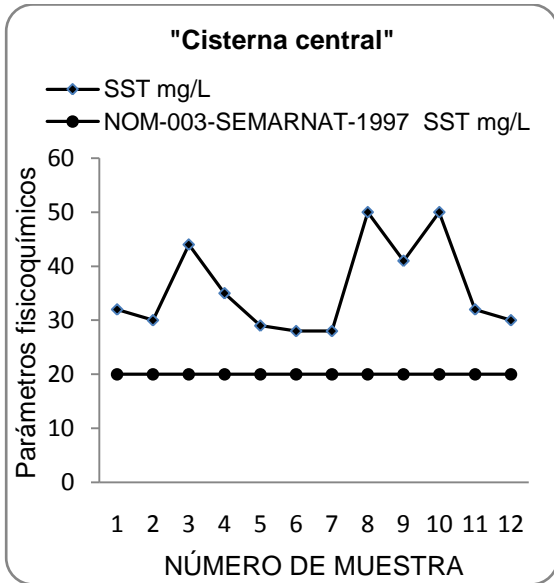
(a)



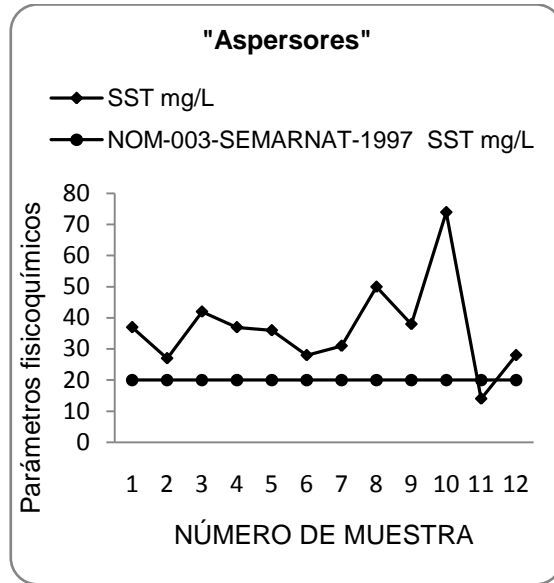
(b)

Figura 30a y 30b Comportamiento de la DBO₅ en agua residual tratada para riego en la zona central.

Como se aprecia en la gráfica los SST aumentan a partir del séptimo muestreo, tanto para el agua de la cisterna centra (Figura 31a) como para el aspersor (Figura 31b), el límite máximo permisible de la NOM-003-SEMARNAT1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se usen en servicio al público. (Para servicios al público con contacto directo), marca 20 mg/L, lo cual no se cumple para ninguna de la muestras, excepto para una muestra tomada en el aspersor, que baja el valor y queda ligeramente debajo (14mg/L), de lo que marca la norma, pero en la siguiente muestra vuelve a subir. La presencia de estos sólidos son causantes del fango acumulado en el fondo de la cisterna central así como de la turbidez del agua.



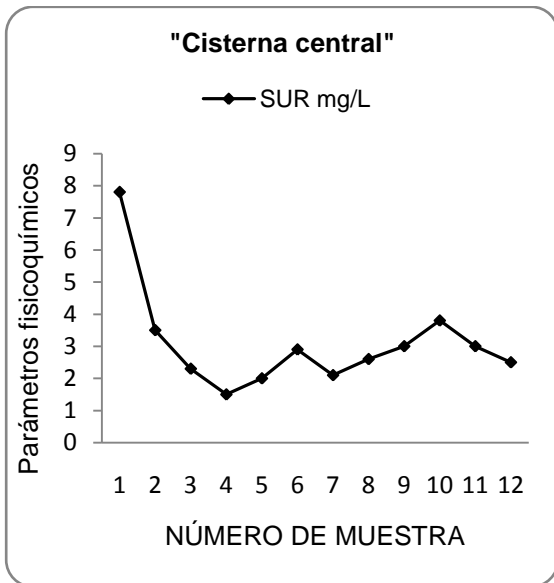
(a)



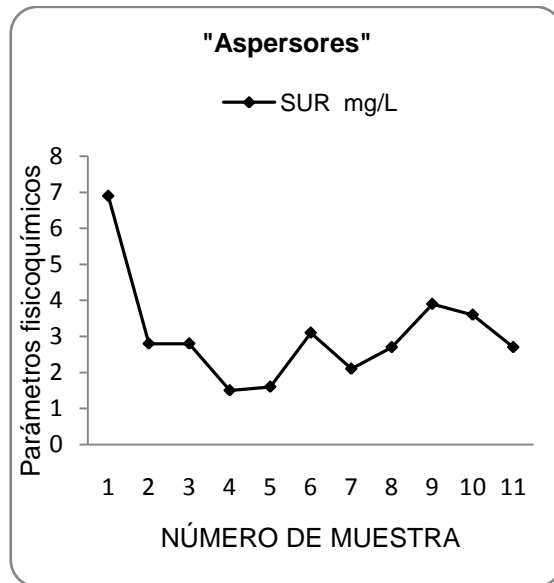
(b)

Figura 31a y 31b Comportamiento de los SST en agua residual tratada para riego en la zona central.

Los tensoactivos no se encuentran delimitados en ninguna de las normas pero observamos en la grafica que estos fueron bajando durante los muestreos, con ligeros aumentos a partir de la muestra 6 tanto para la cisterna central como para la muestra tomada en el aspersor, (Figura 32a y 32b)



(a)



(b)

Figura 32a y 32b Comportamiento de los Tensoactivos en agua residual tratada para riego en la zona central.

Los SDT (Figura 33a y 33b) están relacionados con la materia orgánica degradada que a la vez genera residuos sólidos. La presencia de esto residuos sólidos nos indican la mala calidad del agua para riego, pues aparte de no cumplir con los límites máximos permisibles para sólidos y materia flotante, crean un factor adicional al mantenimiento de los sistemas de riego, ya que estos residuos pueden dañar estos sistemas al adherirse a ellos y posteriormente tapparlos.

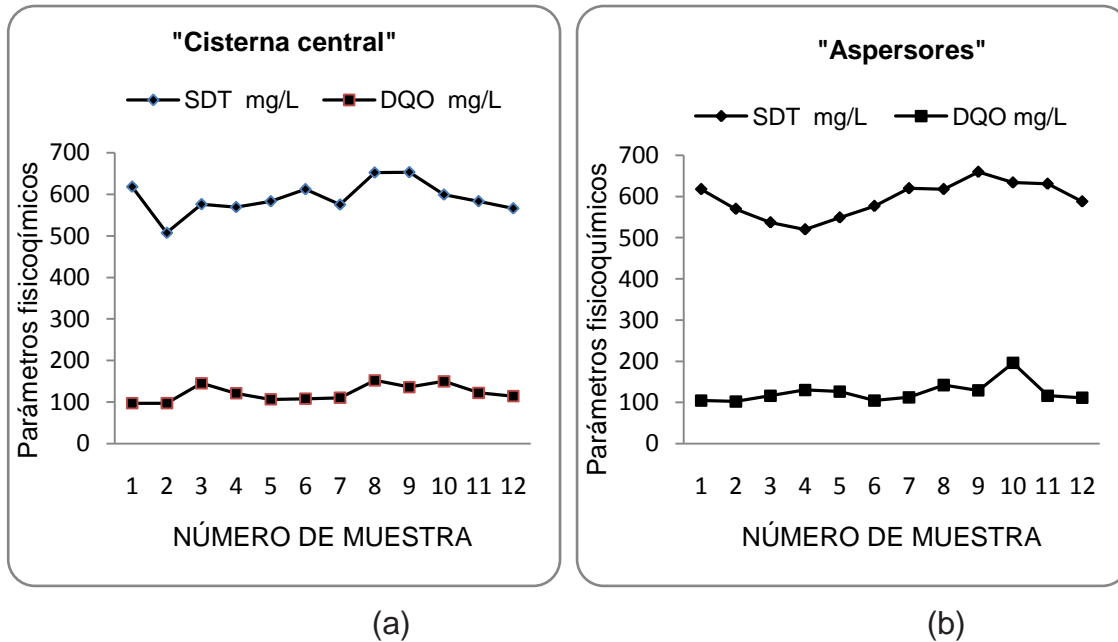


Figura 33a y 33b Comportamiento de los SDT y DQO, en agua residual tratada para riego en la zona central.

La determinación de grasas y aceites se realizó por un laboratorio acreditado Laboratorios ABC química investigación y análisis S.A. de C.V., la determinación se hizo con base a la NMX AA-005-SCFI-2000 Análisis de agua-determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- Método de prueba los resultados se muestran en la tabla 14.

Tabla 14 Resultados para grasas y aceites en agua de riego de la cisterna central.

# de Muestreo	FECHA	Hora	Grasas y aceites mg/L
NOM 003			15
1	20-Feb-09	09:55	6.4
2	24-Feb-09	12:20	4.3
3	26-Feb-09	09:30	ND

ND = analito no detectado

El análisis determinó que las aguas están dentro del límite máximo permisible para grasas y aceites que es de 15 mg/L establecido por la NMX AA-005-SCFI-2000 y el análisis está reportando 6.4mg/L y 4.3 mg/L para cada una de las muestras.

Tabla 15 Resultado de los parámetros establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT1997

Toma de muestra	Temperatura	pH	SST mg/L	DBO ₅ mg/L	Grasas y aceites mg/L	COLOR	OLOR	MATERIA FLOTANTE
NOM-003	NR	NR	20	20	15	NR	NR	Ausente
NOM-001	40	5 a 10	40	30	15	NR	NR	Ausente
Cisterna central	Dentro del Límite	Dentro del Límite	Fuera del Límite	Fuera del Límite	Dentro del límite	Transparente turbia	Con olores perceptibles	No cumple
Aspersores	Dentro del Límite	Dentro del Límite	Fuera del Límite	Fuera del Límite	No se realizó	Transparente turbia	Con olores perceptibles	No cumple

Los resultados obtenidos sobre la calidad del agua utilizada en riego de áreas verdes nos indican que esta no se encuentra dentro de los límites establecidos por la NOM-003-SEMARNAT1997 para servicios al público con contacto directo (tabla 15), por lo tanto esta agua representa un riesgo de contaminación para las áreas donde se está utilizando y sobre todo un riesgo de contaminación para los trabajadores que manipulan esta aguas así como para la población universitaria, ya que recordemos que los jardines centrales denominados como “las Islas” es un lugar de reunión de universitarios así como de público en general que visita el campus.

Los resultados del análisis microbiológico de los efluentes de las plantas BRAIN así como del agua para riego de áreas verdes fueron realizados al mismo tiempo que se realizaron los parámetros fisicoquímicos, reportando que la calidad microbiológica de las descargas de las plantas de tratamiento tipo BRAIN, no cumplen con los parámetros microbiológicos especificados en el PROY-NOM-015-CONAGUA-2007, Infiltración artificial de agua a los acuíferos, que define 1000UFC/100mL de coliformes fecales. De igual forma se determinó que el agua almacenada en la cisterna central para uso en riego de áreas verdes no cumple con los parámetros microbiológicos para su reúso con contacto directo, de acuerdo a las especificaciones de la NOM-003-SEMARNAT-1997, (Corona, 2008). Sólo se menciona para futuras investigaciones.

CAPÍTULO 7

7.1 CONCLUSIONES:

De las 29 plantas de tratamiento de aguas residuales existentes en Ciudad Universitaria (26 Plantas tipo BRAIN, Planta de tratamiento de Cerro del Agua, Planta de tratamiento de Ciencias Sociales y Planta edificio No.12 de Ingeniería), actualmente sólo 22 se encuentran en funcionamiento, 7 Plantas tipo BRAIN, se cancelaron al incorporarlas al sistema de drenaje de C.U.

De las 15 plantas tipo BRAIN en funcionamiento sólo las plantas caseta de vigilancia estadio olímpico y Caseta de cloración cumplen al 100% la NOM-001-SEMARNAT-1996, para SST, DBO₅ y Materia flotante. Para las plantas del Gimnasio, Mesa vibradora, Caseta Av. Insurgentes y Dirección de teatro y danza solo cumplen los parámetros de SST y DBO₅, los resultados obtenidos se encuentran por debajo de los 40mg/L de SST y 30 mg/L de DBO₅ que especifica la norma NOM-001-SEMARNAT-1996. El restante de las plantas (60% de ellas) NO CUMPLEN con la NOM-001-SEMARNAT-1996, en los parámetros de SST, DBO₅ y materia flotante, estando por arriba de los 40 mg/L para SST, 30 mg/L para DBO₅ y por tener materia flotante presente, (la norma marca que debe de estar ausente de materia flotante), por lo tanto la calidad del agua que se está infiltrando al subsuelo no es apta y se corre el riesgo de contaminar el suelo donde se encuentran las plantas y se puede afectar gravemente la calidad del agua potable de la cual se abastece CU.

El análisis fisicoquímico realizado al agua para riego de áreas verdes nos muestra que la calidad del agua es optima en cuanto a grasas y aceites se refiere, pues los resultados se encuentran por debajo de lo que marca la norma NOM-003-SEMARNAT1997, que es de 15 mg/L. En lo referente a SST encontramos los resultados por arriba de los 20mg/L que marca la norma, para DBO₅ también los valores están por arriba de los 20 mg/L establecidos. En materia flotante la norma marca ausencia de ésta, pero en algunos análisis se encontró presencia de materia flotante en poca cantidad. Con esto concluimos que la calidad del agua para riego en servicios al público con contacto directo no es apta

La calidad del agua residual tratada con fines de reúso en áreas verdes y recarga de acuíferos en Ciudad Universitaria no es apta para su reúso tanto en riego de áreas verdes como en la recarga de acuíferos, presentando un riesgo de salud para toda la comunidad universitaria (conformada por alumnos, docentes e investigadores, trabajadores y visitantes), así como un riesgo ecológico para el entorno de Ciudad Universitaria, al no cumplirse con lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-003-SEMARNAT1997.

7.2 RECOMENDACIONES:

Se encontró que las plantas tipo BRAIN, no llevan un seguimiento periódico, por lo tanto se recomienda llevar un monitoreo de la calidad de los efluentes para asegurar su buen funcionamiento.

Se recomienda hacer un mantenimiento integral de las plantas tipo BRAIN para garantizar la calidad del efluente vertido al subsuelo. También se recomienda que las plantas que cuentan con pos-tratamiento de cámara de cloro se habiliten para tener una buena desinfección del efluente.

Una de las recomendaciones para el sistema de almacenaje de agua para riego de áreas verdes, es la limpieza de las cisternas de almacenamiento de la zona central, ya que al decir de los operadores encargados, está no se ha limpiado desde hace 2 años.

Por otro lado como resultado de este estudio se está realizando la revisión del sistema de tratamiento utilizado en la PTARCU (Cerro del Agua), para detectar donde este el problema que ocasiona la mala calidad del agua ahí tratada.

BIBLIOGRAFÍA.

- 📖 Aguirre Carbajal, Jesús. (1986). Tratamiento y reúso de las aguas residuales de ciudad universitaria. Tesis licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.78p.
- 📖 Anuario estadístico de la UNAM, (2008). Dirección General de planeación 2008.
- 📖 Ávila Martínez, Gustavo. (1988). Estudio de la filtración de los efluentes secundarios de la planta de tratamiento de aguas residuales de C.U. Tesis licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química.230p.
- 📖 Constantino Blanco, Onésimo. (1969). Proyecto de la planta de tratamiento de aguas negras para la Ciudad Universitaria. Tesis licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.58p.
- 📖 Corona García, María Guadalupe. (2009). Análisis microbiológico del efluente de las plantas BRAIN y determinación de bioaerosoles en la zona de riego de las islas de C.U. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química. 53p.
- 📖 Dirección General de Obras y conservación del campus universitario 2008.
- 📖 Godínez Mora, Tovar Sergio (1994). Programa de seguridad e higiene para la planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria. Tesis licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química.147p.
- 📖 Gómez Quiroz, Enrique Mario. (1976). Estudio y análisis de las aguas negras de Ciudad Universitaria. Tesis licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química.119p.
- 📖 Gustavo A. Ortiz Rendón. Banco de agua / Gustavo A. Ortiz Rendón et al. 1B edición – México. IMTA, 2006. 172 pp.
- 📖 Jiménez C B, y Ramos H J (1999) Reúso posible del agua Residual en México. Series del Instituto de Ingeniería 617. Instituto de Ingeniería UNAM. 84p
- 📖 List Mendoza, Antonio. (1999). Planta de tratamiento de aguas negras para la Ciudad Universitaria. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.102p.

- ☞ Mancebo del Castillo Sternenfels Uriel. (1998) Evaluación de funcionamiento de un sistema de tratamiento anaerobio *in situ* para aguas residuales generadas en el campus universitario. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. 75p.
- ☞ Mancebo del Castillo S, Ortega CH, Sámano C J y Noyola R A “Ahorro y reúso de agua mediante tratamiento *in situ* en el campus universitario de la UNAM”. Coordinación de Bioprocesos Ambientales del Instituto de Ingeniería de la UNAM. 13p
- ☞ Mantilla Morales, Gabriela. (1987). Análisis del diseño y la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria. Tesis licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. 209p.
- ☞ Metcalf & Eddy (1985) Ingeniería sanitaria, tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Segunda edición. Edith. Labor.969 p.
- ☞ NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la federación, 24 de Junio de 1996.
- ☞ 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. Diario Oficial de la Federación 3 de Junio de 1998.
- ☞ 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. Diario Oficial de la Federación 21 de Septiembre 1998.
- ☞ Pérez Quiroz, Antonio. (2000). Puesta en operación de una planta de tratamiento de aguas residuales en Ciudad Universitaria. Tesis licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química.88p.
- ☞ PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-014-CNA-2003, Requisitos para la recarga artificial de acuíferos. Diario Oficial de la Federación, 3 de junio 2008.
- ☞ R. Ruiz Chávez, J.A. Rodríguez Castro, R. García Acevedo, J.A. Chávez Cárdenas, M. Serrano Medrano. (2006) Determinación de la DQO y su importancia en la ingeniería ambiental. 2° foro académico nacional de Ingenierías y Arquitectura. Facultad de Ingeniería Civil UMSNH.4p.

- ☞ Solano Zamora, Arnoldo. (1969). Diseño de una planta de tratamiento de las aguas negras de la Ciudad Universitaria. Tesis licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química. 40p.
- ☞ Soto Koehler, Juan Jorge. (1983). Procesos de tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la planta de C.U. Tesis licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. 69p.
- ☞ Villa Orozco Jorge (2000). Estudios preliminares para la localización de planta de tratamiento de aguas residuales en la zona de los GEOS en Ciudad Universitaria. Tesis licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. 136p.

INFORMACIÓN ELECTRÓNICA.

- ☞ AGUA.org.mx, Centro virtual de información del agua. Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación en el Distrito Federal. http://www.imacmexico.org/ev_es.php?ID=38869_208&ID2=DO_TOPIC (Accedió 31. 2009, Enero).
- ☞ Aguamx. Recursos hidrológicos de México. http://www.sagan-gea.org/hojared_AGUA/paginas/8agua.html (Accedió 1 de 2008 de Octubre).
- ☞ Concepto ambiental, S.A. de C.V. “BRAIN (Bio-Reactor Anaerobio Integrado)” http://mexico.acambiode.com/producto_4554558496841575250790600105171.html (Accedió el 16 de 2008 de Septiembre).
- ☞ DQO. <http://www.ciese.org/curriculum/dipproj2/es//dbo.shtml> (Accedió 2, de 2009 Marzo)
- ☞ El Valle del Mezquital, México. Estudio Caso. Ing. Humberto Romero Alvarez (Traducción del CAPÍTULO originalmente incluido en “Water Pollution Control”, Aguide to the use of water quality management principles. Editado por; Richard Helmer y Ivanildo Hespanhol). <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/repindex/rep066/vallemez.html> (Accedió el 16 de 2009 Enero).
- ☞ Escalante v., Cardoso, L., Ramírez, E., Moeller, G., Mantilla, G., Montecillos, J., Servín, C. y Villavicencio, F. Seminario Internacional sobre métodos naturales para el tratamiento de aguas residuales: El reúso del agua residual tratada en México. Instituto <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/agua2003/reus.pdf> (Accedió el 28 de 2008 Noviembre)

- Estudio para la recarga del acuífero en el suelo de conservación del Distrito federal. Resumen Ejecutivo 2000. http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/estudio_recarga_acuifero_suelo_%20de_conservacion.pdf (Accedió 14 de 2008 Noviembre).
- Garza Almanza, Victoriano (2000). Reúso agrícola de las aguas residuales de Cd. Juárez, (Chihuahua., México). En el valle de Juárez y su impacto en la salud pública. Revista Salud Pública y Nutrición vol.1 No. 3 Julio- Septiembre 2000. Centros de estudios del medio ambiente, Universidad Autónoma de Cd. Juárez. <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsair/e/repindex/rep84/vleh/fulltext/acrobat/garza.pdf> (Accedió 11 en 2008 de Noviembre).
- Hespanhol Ivanildo Prevención y control de la contaminación ambiental OMS. Ginebra Suiza. Reúso de Agua. Reciclaje de desechos humanos. Artículo originalmente publicado en Salud Mundial, Julio/Agosto, 1992. <http://www2.uacj.mx/Publicaciones/sf/num10/reusagua.htm> (Accedió 24 en 2009 de Marzo).
- Jiménez Blanca Elena, “Calidad, normatividad y reúso de agua”. Ponencia ante la Convención Nacional Democrática. Agua.org.mx centro virtual de información del agua. http://www.imacmexico.org/ev_es.php?ID=37276_201&ID2=DO_TOPIC (Accedió el 21, 2008, Agosto)
- Jiménez Blanca Elena, Primer lugar en uso de aguas negras para riego. Página 38. Instituto de Ingeniería.
- Julio Moscoso, Asesor CEPIS en uso de Aguas Residuales. Guillermo León, Asesor CEPIS en Tratamiento de Aguas Residuales. Septiembre 1994. HDT 59: USO DE AGUAS RESIDUALES <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsair/e/hdts.html> (Accedió 12, 2009, Enero).
- López Garrido Pedro y Rodríguez Jiménez Alejandro. “Tratamiento anaerobio gravitacional, para el saneamiento económico de comunidades marginadas”. <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/170.pdf> (Accedió el 10, 2008, Septiembre).
- Murillo Díaz José Manuel 2005 ITGE “Recarga artificial de acuíferos, como introducir y almacenar agua al subsuelo.” <http://www.terralia.com/revista15/pagina39.htm>. (Accedió 12 de 2008, Enero).

- ☞ Noyola A y Morgan –Sagastume J M., “Planta de tratamiento de Aguas Residuales en Ciudad Universitaria/UNAM con control de olores: un desarrollo tecnológico en aplicación”. Agua Latinoamérica, mayo /junio 2004. (<http://www.agualatinoamerica.com/docs/PDF/050604Residuales.pdf>) (Accedió el 1 de 2008 de Octubre).
- ☞ Portable UV analysis for water quality. http://www.polycontrols.com/PDF/PASTEL%20UV_GB.pdf (Accedió 10, 2008, Octubre).
- ☞ Saéñz Forero Rodolfo Introducción; y usos de aguas residuales tratadas en agricultura y acuicultura, riego y salud. Centro Panamericano de Ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente (CEPIS) <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/fulltext/repind53/rys/rys.html> (Accedió 12,2009, enero).
- ☞ Sistema de información sobre el uso del agua en la agricultura y el medio rural de la FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Versión 2000. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries/mexico/indexesp.stm> (Accedió 20 de 2008, Septiembre).
- ☞ Tecuapetla Rios Cynthia. (2005) “Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de Santa María Texmelucan” Tesis de Licenciatura. Universidad de las Américas Puebla. Escuela de Ingeniería. Capítulo 6. Revisión bibliográfica aguas residuales. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leia/tecuapetla_r_c/CAPÍTULO6.pdf (Accedió el 13, 2008, Agosto).
- ☞ Wikipedia, la enciclopedia libre. Tratamiento de aguas residuales. http://es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento_de_aguas_residuales). (Accedió 22 el 2008 de Agosto).

ANEXO 1

**“Estado físico de las plantas de tratamiento
tipo BRAIN”.**

FS – 01 REGISTRO ASPIRANTES (OFICINAS).



Vista exterior de la planta FS – 01 Registro de aspirantes (oficinas).

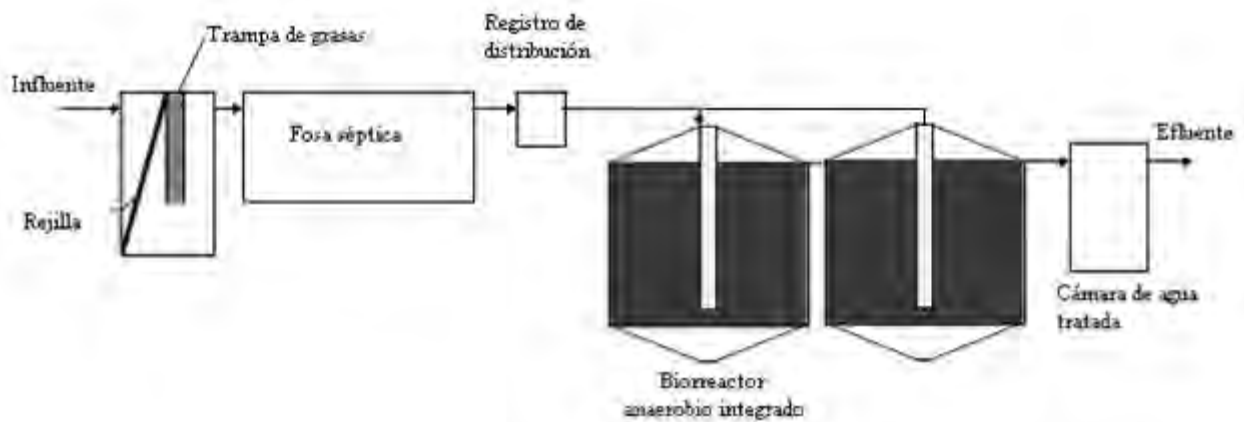


Diagrama de flujo de proceso para instalaciones de 5 m³/d.

Dentro de las instalaciones de Registro de aspirantes se encuentran dos plantas de tratamiento. La primera está destinada para oficinas, el acceso a esta planta es muy complicado por encontrarse dentro de una cañada, el exceso de vegetación hace complicada su ubicación. Sólo se ubicaron los BRAIN, estos están en la parte alta del lugar. La planta está diseñada para tratar un flujo de 5 m³/d.

FS – 02 REGISTRO DE ASPIRANTES (PÚBLICO).



Vista exterior de la planta FS-02 Registro de aspirantes (público)

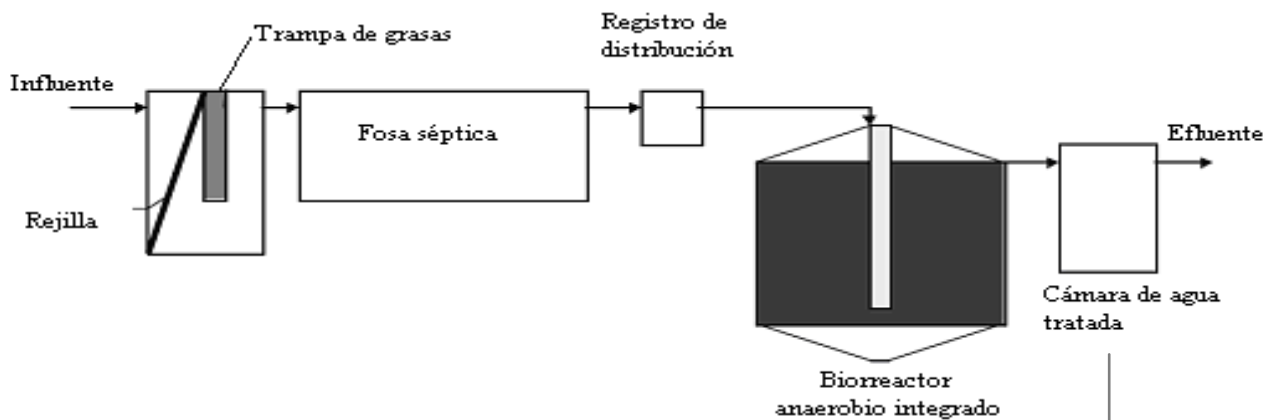


Diagrama de flujo de proceso para instalaciones de 5 m³/d.



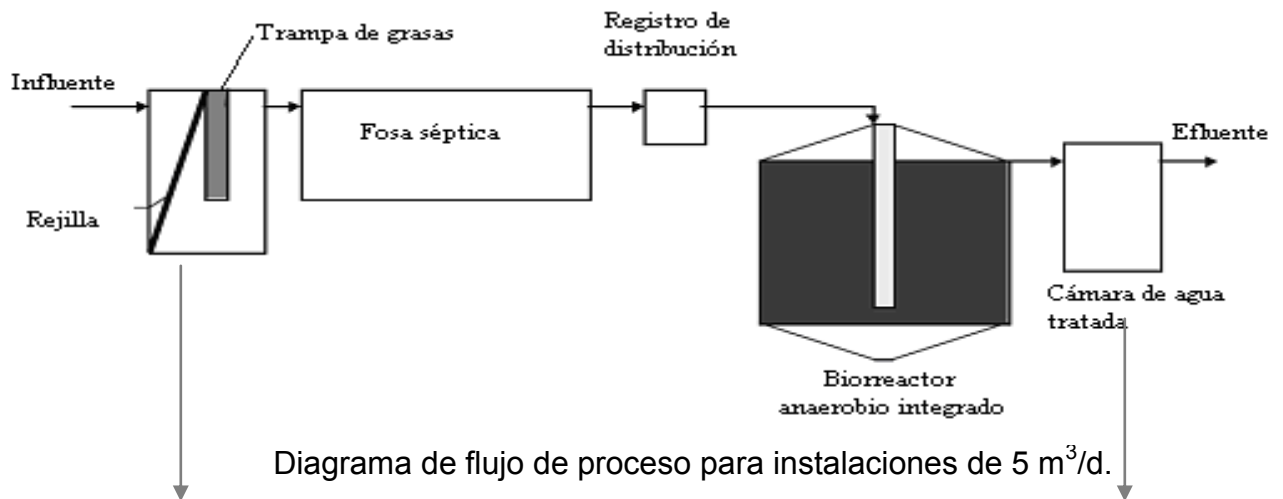
La segunda planta ubicada en el registro de aspirantes está destinada para los baños públicos del lugar. La operación de esta planta es por temporadas, solo funciona en tiempo de inscripciones. El acceso es fácil por encontrarse detrás de los baños. Hace falta mantenimiento en lo que se refiere a la tapa de la cámara de agua tratada, el efluente en la cámara de agua tratada, es ligeramente turbio como se muestra en la figura y presenta un ligero olor a orina.

No se encontró la cámara de pre-tratamiento al parecer está dentro de una zona restringida.

FS – 04 CASETA DE VIGILANCIA AV. INSURGENTES (ZONA CULTURAL).



Vista exterior de la planta FS-04 Caseta de vigilancia Av. Insurgentes (zona cultural).



Esta planta está en operación a pesar de que solo es utilizada por periodos cortos de tiempo, (en la caseta de solo hay un vigilante por turno). Su acceso es fácil y se encuentra a unos metros delante de la caseta). El influente se aprecia libre de sólidos, el agua del efluente en la cámara de agua tratada es ligeramente menos turbia que la de las otras plantas, no presenta olor y como se observa es poca la cantidad de agua que se trata en esta planta.

FS – 05 DIRECCIÓN DE TEATRO Y DANZA.



Vista exterior de la planta FS – 05 Dirección de teatro y danza.

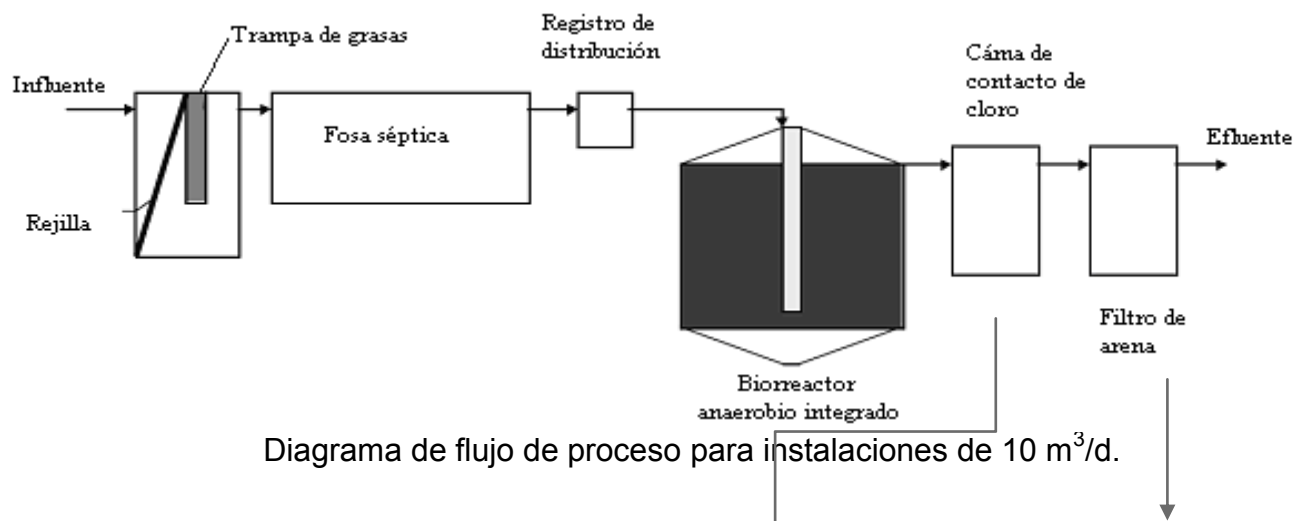


Diagrama de flujo de proceso para instalaciones de 10 m³/d.

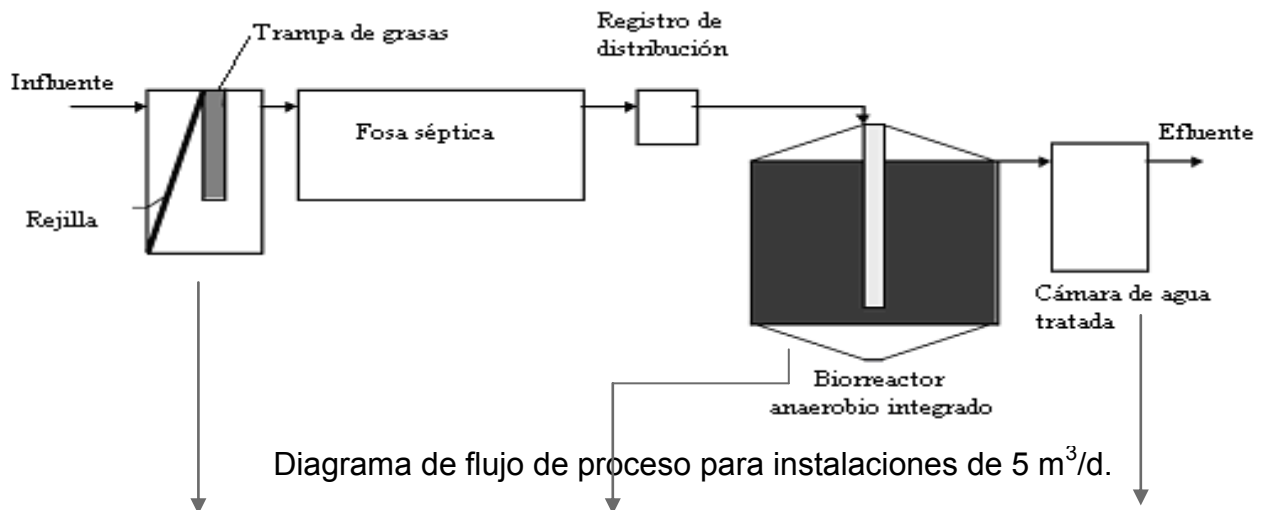


La operación de la planta es variable entre semana, pero aumenta su funcionamiento en fin de semana, por las actividades del lugar donde está ubicada. Es de fácil acceso, se encuentra en la parte de atrás del edificio de teatro y danza. La planta se observa en buenas condiciones tanto en el exterior como en el interior. Esta planta cuenta con una cámara de contacto de cloro previa al filtro de arena. El efluente está ligeramente turbio y presenta un ligero olor. En el diagrama de flujo se muestra el estado de la cámara de contacto cloro y del filtro de arena.

FS – 06 SALA NETZAHUALCÓYOTL (ALA ORIENTE).



Vista exterior de la entrada a la planta Vista exterior de los BRAIN.FS-06 Sala Netzahualcóyotl (ala oriente).



Como se aprecia el acceso a la planta es complicado por el exceso de maleza en el lugar, además de estar en un lugar poco accesible, (se muestra la entrada a la planta y la ubicación del BRAIN). Su funcionamiento, está en función de las actividades de la Sala Netzahualcóyotl. Esta planta presenta varios problemas, las tapas del pre-tratamiento como las del BRAIN están rotas, lo cual hace que estén llenas de hojas y tierra. Un tubo de alimentación del BRAIN está roto, el encargado del mantenimiento de las plantas nos comentaba que para componer este tubo, se tendría que sacar el agua que está cayendo del mismo tubo a los lados del BRAIN, esto mediante maquinaria especial, la cual no podría tener acceso por el terreno tan complicado donde se encuentra instalada.

A pesar de dichos problemas el efluente en la cámara de agua tratada es ligeramente turbio y no se perciben olores desagradables, aunque esto no nos garantiza que la calidad del agua que se está infiltrando cumpla con los parámetros establecidos en la NOM-001-Ecol-1996, como lo confirmaron los análisis realizados.

FS – 8 VIVERO ALTO (CABAÑA 1).



Vista exterior de la planta FS-8 vivero alto (cabaña 1)

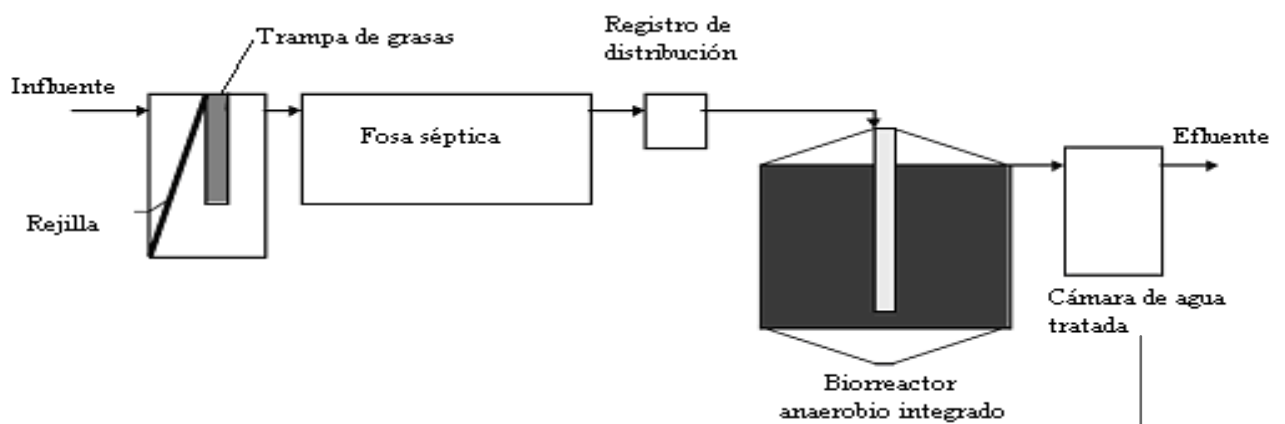
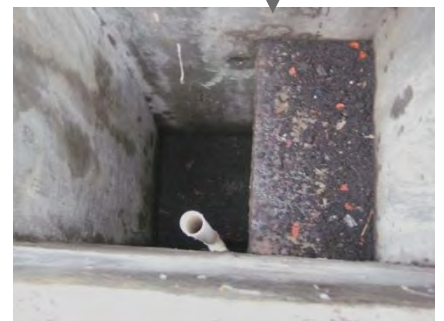


Diagrama de flujo de proceso para instalaciones de 5 m³/d.

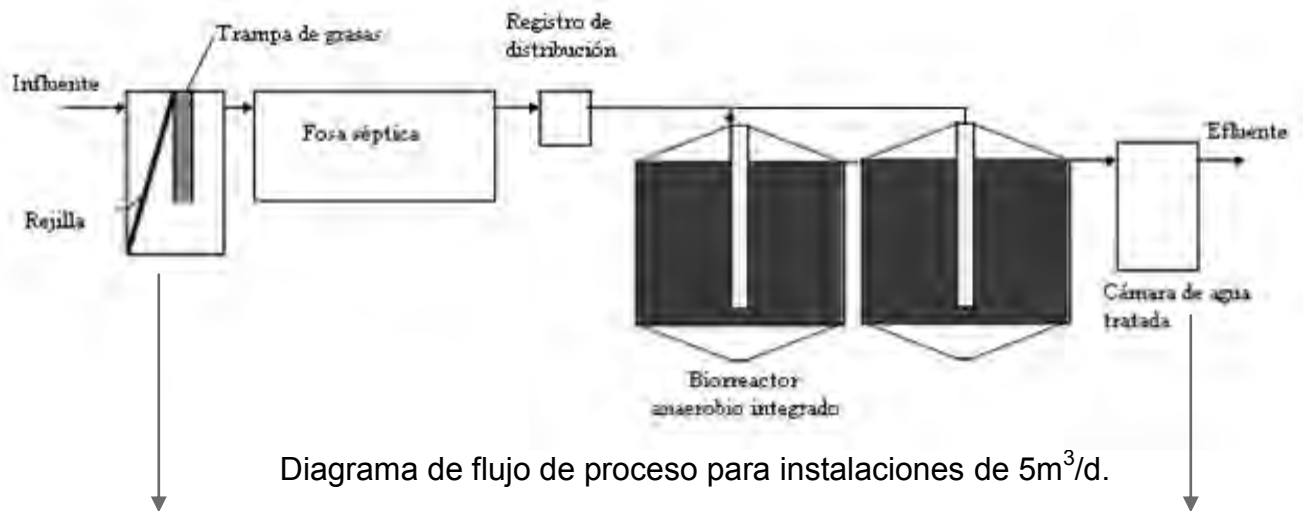


Como su uso no es muy regular, entra en funcionamiento cuando hay eventos aproximadamente una vez al mes por lo que la cámara de agua tratada está vacía frecuentemente. El acceso a la planta es fácil por encontrarse a un lado de la cabaña.

FS – 10 VIVERO ALTO CASETA DE CLORACIÓN.



Vista exterior de la planta FS-10 vivero alto (caseta de cloración)

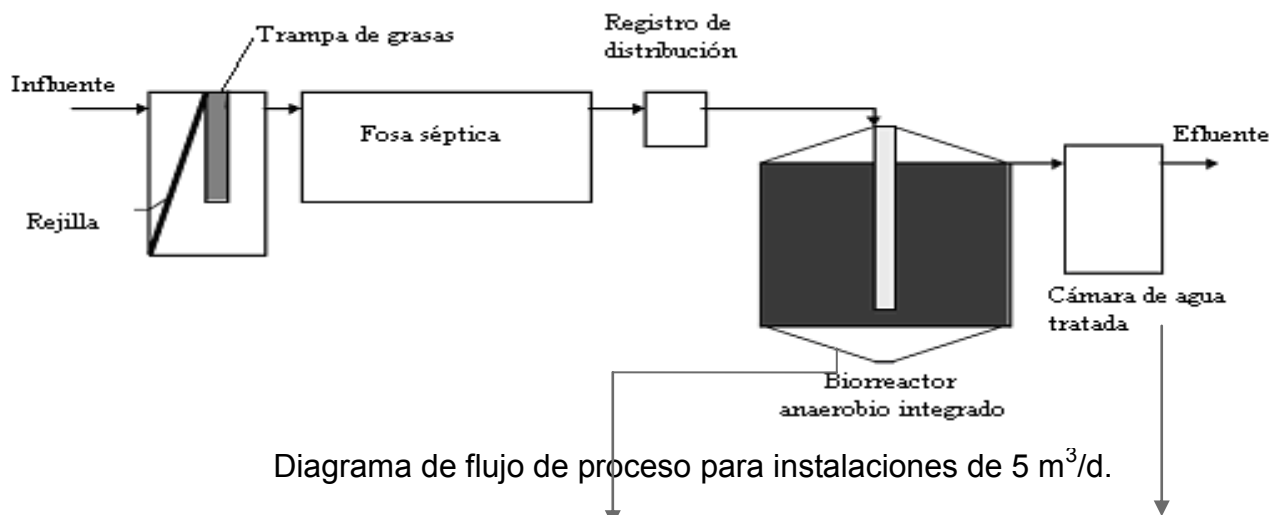


La planta está en funcionamiento, el acceso es fácil para la cámara de pre-tratamiento, los BRAIN y la cámara de agua tratada, está ubicada en la parte alta del jardín botánico. Como se aprecia el influente está libre de sólidos, efluente de la cámara de agua tratada se aprecia más transparente que las demás plantas y no se percibe ningún olor desagradable. Por la zona donde está ubicada, dentro de la maleza, el pasto ha comenzado a introducirse por la tapa de la cámara de agua tratada y se comienza a llenar el agua con hierba y tierra. Pero en general se observa en buenas condiciones.

FS- 11 MESA VIBRADORA.



Vista exterior de la planta FS-11 Mesa vibradora



Esta planta opera diariamente con el influente que proviene del laboratorio de la mesa vibradora, el acceso a la planta es muy sencillo. El BRIAN de esta planta necesita mantenimiento pues se encuentra sin tapa. El agua del efluente e la cámara de agua tratada es menos turbia que la de las otras plantas y no se perciben olores desagradables.

FS – 12 MESA VIBRADORA (TALLER).



Vista exterior de la planta FS – 12 Mesa vibradora (taller).

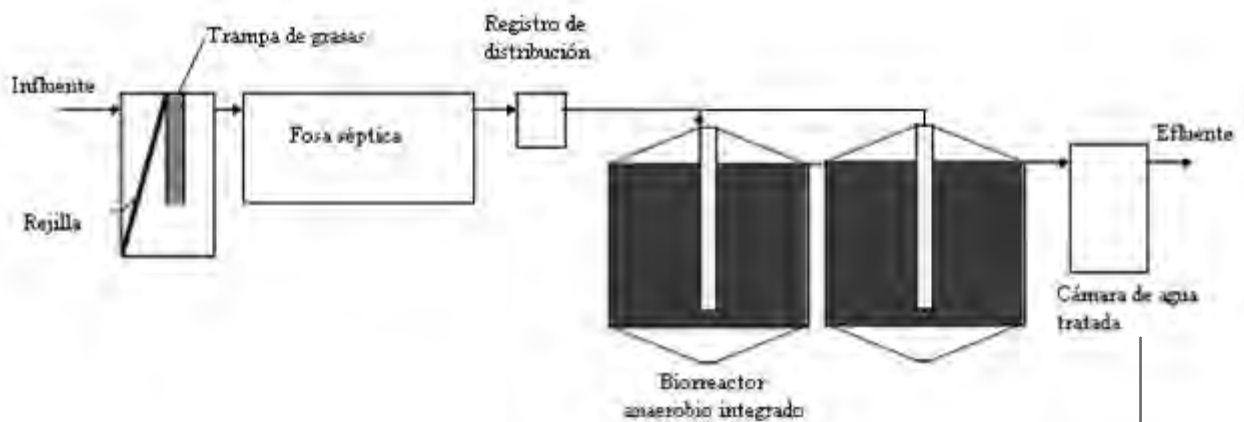


Diagrama de flujo de proceso para instalaciones de $5\text{m}^3/\text{d}$.

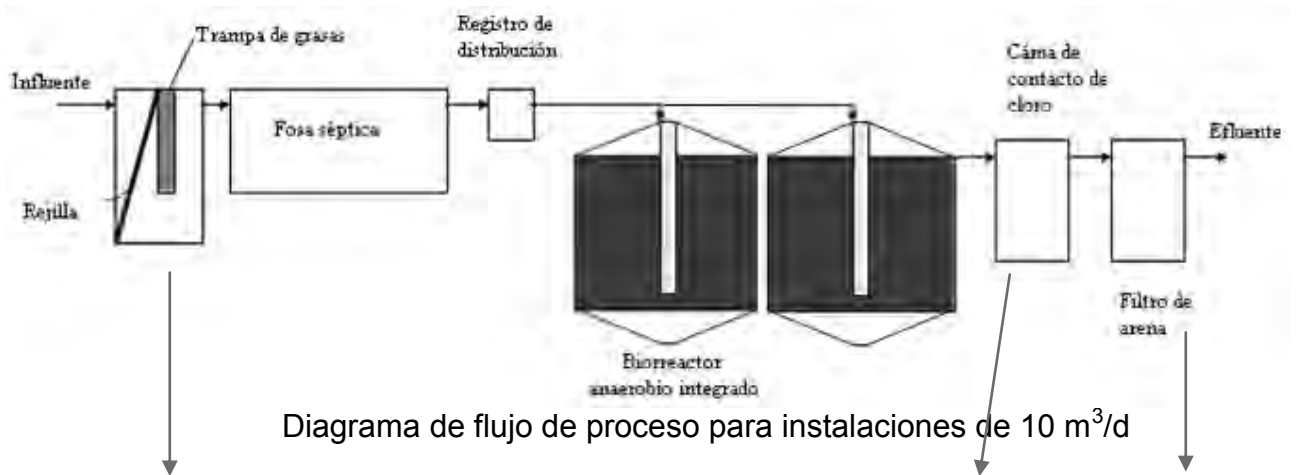


Para el taller de la mesa vibradora se cuenta con otra planta de tratamiento con una capacidad de operación de $5\text{m}^3/\text{d}$. El acceso a la planta es muy sencillo y se aprecian fácilmente la ubicación de los BRAIN como de la cámara de agua tratada. Esta planta se observa en buenas condiciones tanto en el exterior como en el interior. El efluente de la cámara de agua tratada es un líquido más transparente con respecto a los demás efluentes, se percibe un ligero olor a ácido sulfhídrico.

FS – 15 POSGRADO DE ODONTOLOGIA (ALA NORTE).



Vista exterior de la planta FS – 15 Posgrado de odontología (ala Norte).



Por la cantidad de gente que ocupa las instalaciones se tienen dos plantas de tratamiento en esta zona una en el ala norte y otra en el ala Sur.

Esta planta está en funcionamiento constante por encontrarse en el posgrado de Odontología. El acceso solo está permitido por el personal de mantenimiento de las instalaciones del Posgrado. Esta planta presenta buen estado en el exterior, el agua del influente se ve ligeramente burbujeante pero libre de sólidos, es una planta con capacidad de 10m³/d y cuenta con una cámara de contacto de cloro, el clorador necesita mantenimiento, le falta la tapa y esto provoca que se contamine el cloro. El agua del efluente presenta una turbidez un poco mayor en comparación de las demás plantas, el olor a orina es bastante fuerte.

FS – 16 POSGRADO DE ODONTOLOGÍA (ALA SUR).



Vista exterior de la planta FS-16 Posgrado de odontología (ala Sur).

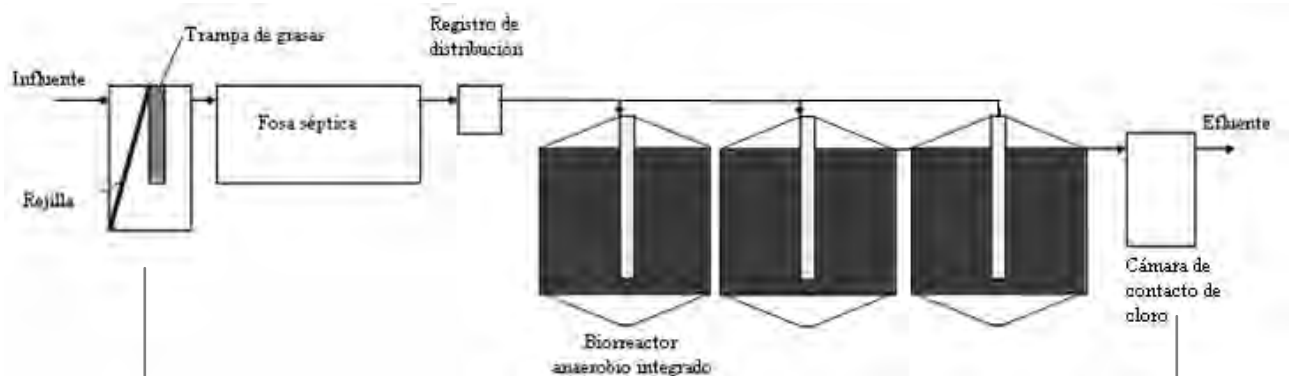


Diagrama de flujo de proceso para instalaciones de 10 m³/d.

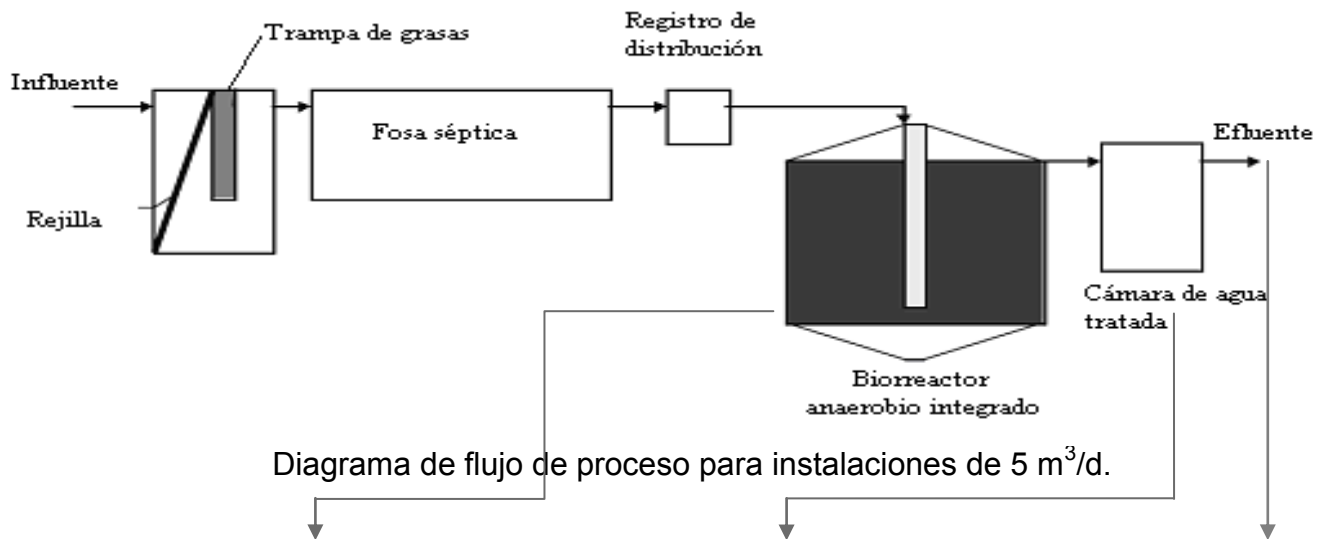


La segunda planta del Posgrado de Odontología Sur, se encuentra en la parte delantera del edificio, su acceso está controlado por el personal de mantenimiento del edificio. El agua del influente se observa la presencia de sólidos entre los cuales hay materia fecal, que es retenida por la rejilla del pre-tratamiento, la planta está diseñada para un gasto de 10 m³/d pero a diferencia de las otras plantas la cámara de contacto de cloro es la misma cámara de filtración de agua tratada. A pesar de que el influente tiene una gran cantidad de materia orgánica el agua del efluente esta ligeramente turbia, aunque su olor es bastante desagradable. Como se aprecia en los resultados fisicoquímicos realizados tanto la FS-15 como la FS-16 no cumplen con los parámetros establecidos en la NOM-001-ECOL-1996 y esto es atribuible a la gran cantidad de personas en las instalaciones ya que aparte de ser usadas las instalaciones por los alumnos, profesores y personal administrativo también lo usan los pacientes que van a consulta durante el día.

FS – 17 CASETA DE VIGILANCIA METRO UNIVERSIDAD.



Vista exterior de la planta FS -17 Caseta de vigilancia metro Universidad.



Esta planta se encuentra en funcionamiento y es de fácil acceso, se encuentra en la parte trasera de la caseta de vigilancia y de la caseta de operadores del transporte interno. En esta planta vemos varios problemas, el BRAIN de esta planta se encuentra sin tapa y vemos que alrededor del mismo hay agua, posiblemente por algún tubo que este roto o por alguna infiltración. El efluente en la cámara de agua tratada es un líquido turbio con un fuerte olor a amoníaco. Esta planta cuenta con una caída libre para el efluente y se observa un cambio en el entorno, el agua que sale no es filtrada por el suelo donde cae y hace que se estanque y proliferen los mosquitos, además de la gran cantidad de basura presente desde botellas y vasos desechables hasta sillones y bolsas de basura.

FS – 18 COMEDOR ANEXO DE INGENIERÍA.



Vista exterior de la planta FS-18 Comedor anexo de ingeniería.

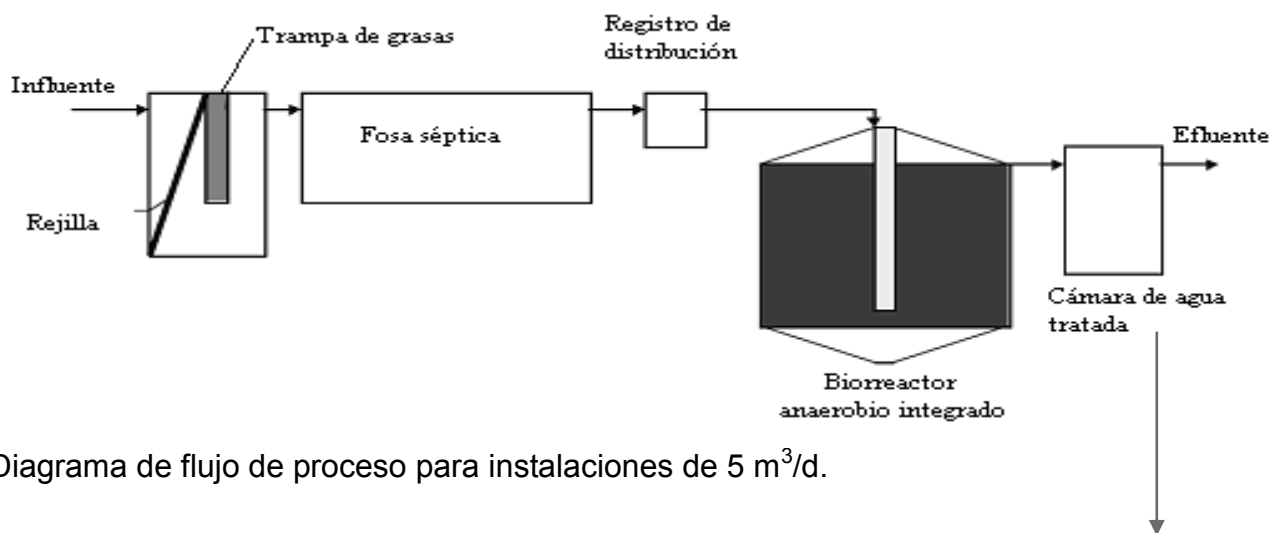


Diagrama de flujo de proceso para instalaciones de 5 m³/d.



El acceso a esta planta es fácil a pesar de encontrarse en una zona con mucha vegetación. El encargado de las plantas, comentó que a esta planta el mantenimiento que se le daba era regularmente para sacar la grasa acumulada en las rejillas. El efluente que genera esta planta es de color negro, con muchos sólidos, se nota una capa grasosa en la superficie del agua, que está en la cámara de agua tratada, su olor es bastante desagradable a agua estancada

FS-22 CANCHAS DE FUTBOL “PUMITAS”.



Vista exterior de la planta. FS – 22 Canchas de futbol

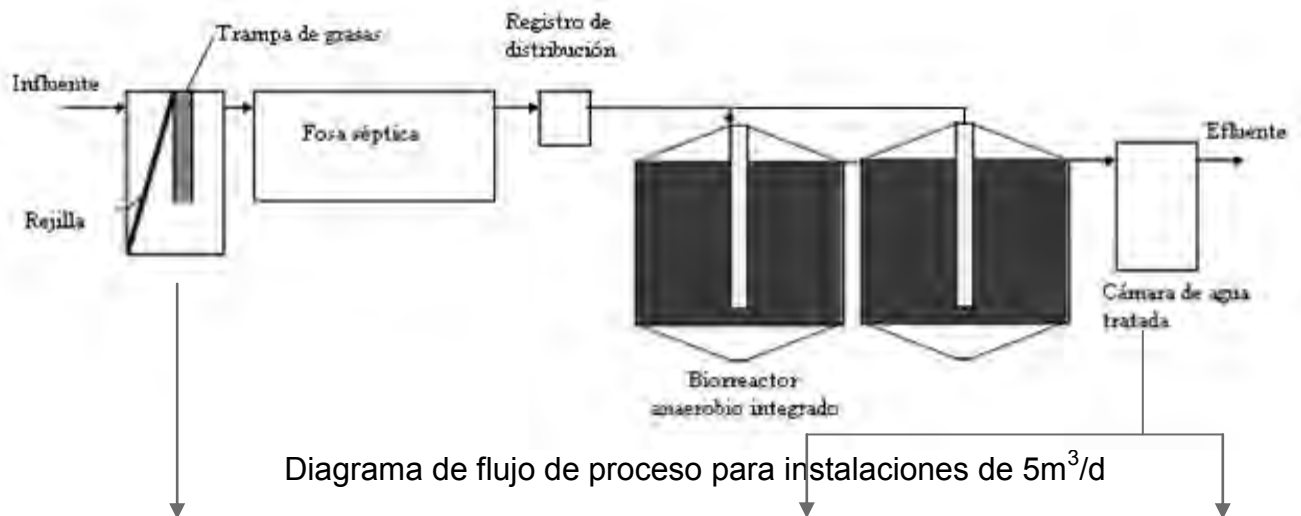


Diagrama de flujo de proceso para instalaciones de 5m³/d



La planta está en funcionamiento, teniendo un mayor uso los días martes y jueves por la tarde y los fines de semana por la mañana, ya que es cuando se llevan a cabo las actividades deportivas. Esta planta tiene varios problemas empezando con el agua del influente tiene muchos sólidos así como materia fecal, el agua del efluente se ve ligeramente espumosa y su aspecto es desagradable al igual que el olor a desechos orgánicos.

El Ingeniero encargado del mantenimiento de las plantas, nos explicó que por la ubicación de la planta (en la zona colindante al Pedregal) aquí no hay drenaje sino fosa séptica al igual que en la zona habitacional del Pedregal, y por lo que se observa la fosa séptica de C.U. no está funcionando correctamente y requiere mantenimiento para evitar que estos desechos lleguen a las plantas, ya que ellos tendrían que estar retirando estos desechos constantemente para que la planta tuviera optimas condiciones de funcionamiento.

FS-23 GIMNASIO.



Vista exterior de la planta FS – 23 Gimnasio.

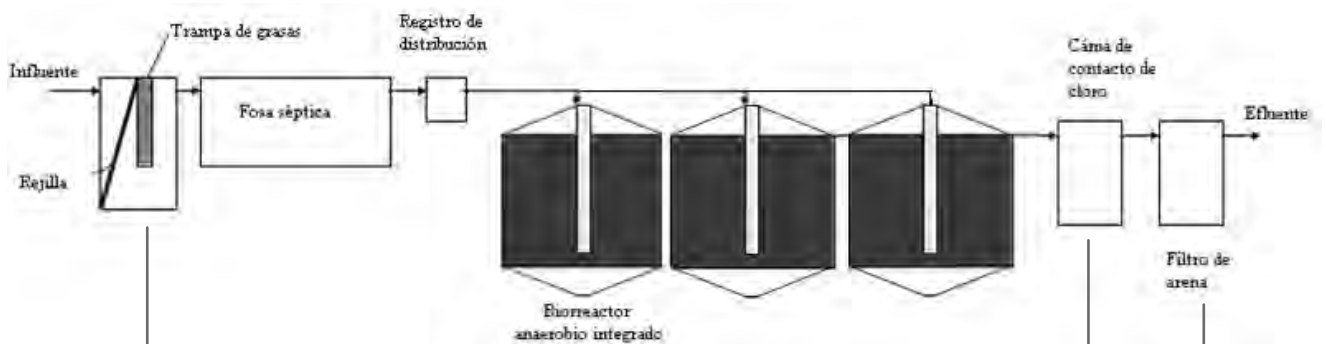
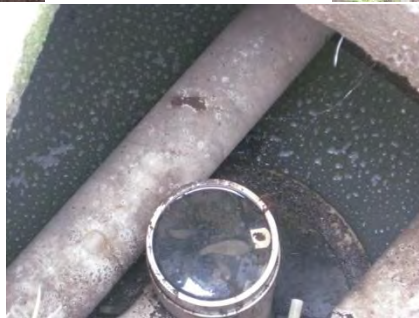
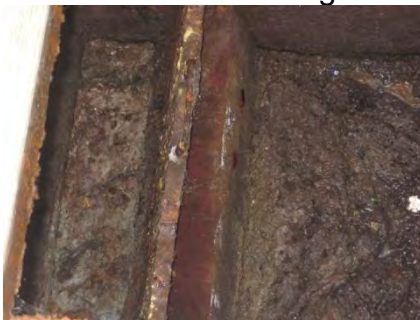


Diagrama de flujo de proceso para instalaciones de 15m³/d.



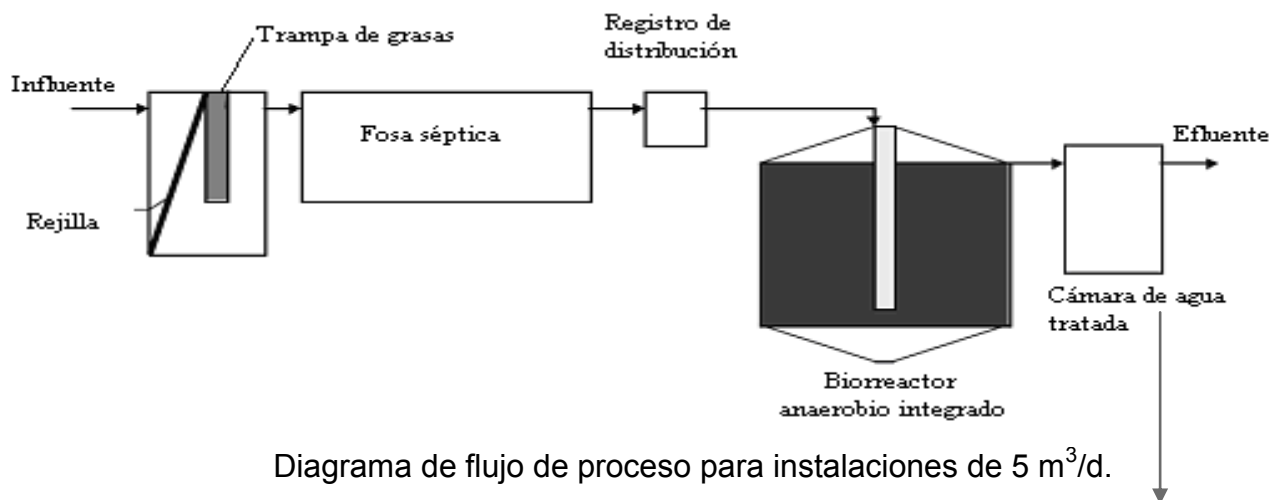
Esta planta está funcionando constantemente de lunes a domingos y se encuentra en la parte posterior del gimnasio de pesas. Los trabajadores comentan que llega haber olores desagradables en esa zona y esto en gran medida es por la gran cantidad de sólidos y materia fecal presentes en el influente atrapados en la cámara de pre-tratamiento (rejilla), los BRAIN de esta planta están inundados y la encargada de las instalaciones nos comenta que están así desde hace poco más de un año, por ser una planta para un gasto de 15 m³/d,

cuenta con una cámara de cloración donde se observa un líquido ligeramente espumoso, el efluente en la cámara de agua tratada es un líquido menos turbio pero con olor a orín.

FS – 24 SUBDIRECCIÓN DE MEDICINA DE DEPORTIVA.



Vista exterior de la planta FS-24 subdirección de medicina deportiva.

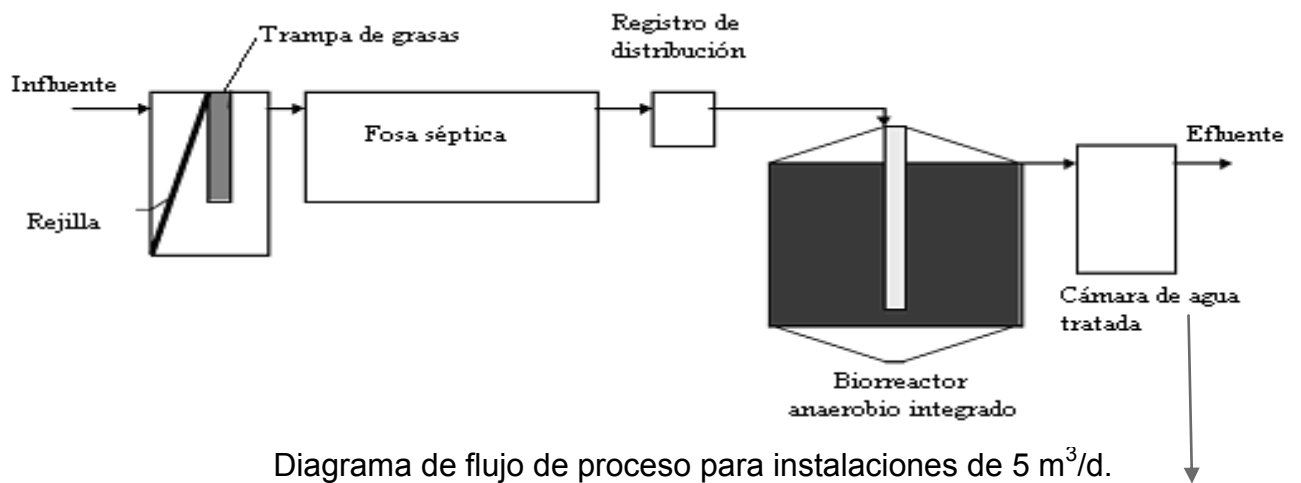


La planta se encuentra ubicada a un costado de la Sub-dirección de actividades deportivas y una vez libre de pasto se ubican fácilmente la cámara de pre-tratamiento, los BRAIN y la cámara de agua tratada. El efluente de esta planta es un líquido ligeramente turbio con un ligero olor a ácido Sulfhídrico.

FS – 25 UNIÓN DE UNIVERSIDADES DE AMÉRICA LATINA “UDUAL”.



Vista exterior de la planta FS – 25 Unión de Universidades de América Latina (UDUAL).



El acceso a la planta es fácil, y su estado exterior es muy bueno ya que se ubican rápidamente todas las cámaras de tratamiento. A pesar de que esta planta está en funcionamiento encontramos la cámara de filtración con escaso líquido, insuficiente para tomar muestra y hacer análisis.

FS – 26 CASETA DE VIGILANCIA (ALA PONIENTE ESTADIO OLÍMPICO).



Vista exterior de la planta FS – 26 Caseta de vigilancia (ala poniente estadio olímpico)

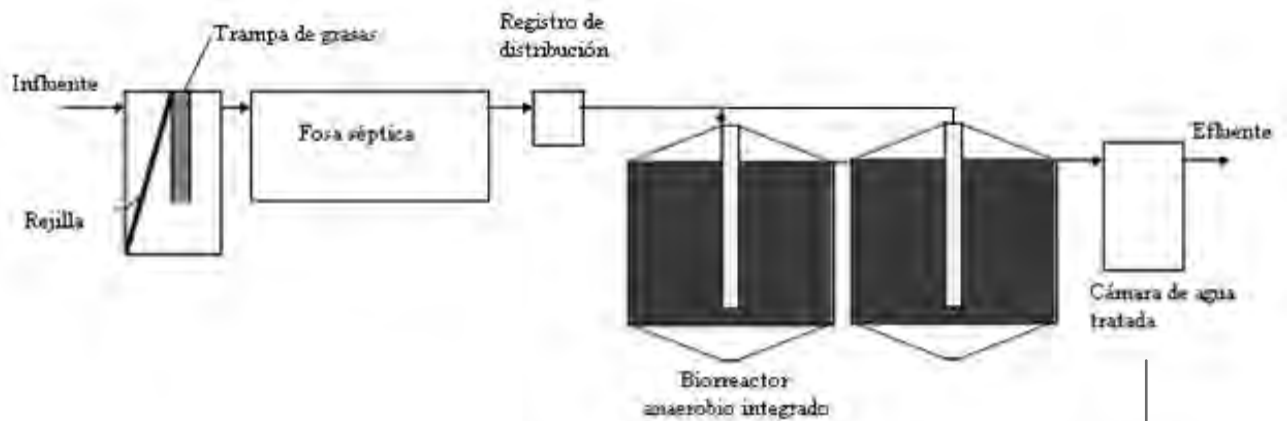


Diagrama de flujo de proceso para instalaciones de 5m³/d.



El acceso a la planta es fácil, se encuentra a un lado de la caseta de vigilancia, el personal que se observa en esta planta es de 3 a 4 vigilantes por turno. El mantenimiento exterior nos permite localizar fácilmente los componentes de la planta, aunque solo se pudo observar la cámara de agua tratada, por que las demás tapas estaban cerradas a presión. El efluente es un líquido ligeramente turbio que no presenta olores.

ANEXO 2

“NORMAS OFICIALES MEXICANAS”.

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.

JULIA CARABIAS LILLO, Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 32 Bis fracciones I, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 85, 86 fracciones I, III y VII, 92 fracciones II y IV y 119 de la Ley de Aguas Nacionales; 50. fracciones VIII y XV, 80. fracciones II y VII, 36, 37, 117, 118 fracción II, 119 fracción I inciso a), 123, 171 y 173 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 38 fracción II, 40 fracción X, 41 45, 46 fracción II, y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, he tenido a bien expedir la siguiente **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; y**

CONSIDERANDO

Que en cumplimiento a lo dispuesto en la fracción I del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el Proyecto de 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, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 24 de junio de 1996, a fin de que los interesados en un plazo de 90 días naturales presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, sito en Av. Revolución 1425, mezaninne planta alta, Colonia Tlacopac, Código Postal 01040, de esta ciudad.

Que durante el plazo a que se refiere el considerando anterior y de conformidad con lo dispuesto en el artículo 45 del Ordenamiento Legal citado, estuvieron a disposición del público los documentos a que se refiere dicho precepto.

Que de acuerdo con lo que disponen las fracciones II y III del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, los comentarios presentados por los interesados fueron analizados en el seno del citado Comité, realizándose las modificaciones procedentes a dicha Norma; las respuestas a los comentarios de referencia fueron publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el 16 de diciembre de 1996.

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de Normas Oficiales Mexicanas, el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 30 de octubre de 1996, aprobó la 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, por lo que he tenido a bien expedir la siguiente

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.

ÍNDICE

1. Objetivo y campo de aplicación
2. Referencias
3. Definiciones
4. Especificaciones
5. Métodos de prueba
6. Verificación
7. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales
8. Bibliografía
9. Observancia de esta Norma
10. Transitorio
11. Anexo I

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes pluviales independientes.

2. REFERENCIAS

Norma Mexicana NMX-AA-003 Aguas residuales - Muestreo, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 25 de marzo de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-004 Aguas - Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales - Método del cono Imhoff, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 13 de septiembre de 1977.

Norma Mexicana NMX-AA-005 Aguas - Determinación de grasas y aceites - Método de extracción soxhlet, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 8 de agosto de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-006 Aguas - Determinación de materia flotante - Método visual con malla específica, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 5 de diciembre de 1973.

Norma Mexicana NMX-AA-007 Aguas- Determinación de la temperatura - Método visual con termómetro, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 23 de julio de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-008 Aguas - Determinación de pH -Método potenciométrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 25 de marzo de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-026 Aguas - Determinación de nitrógeno total - Método Kjeldahl, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 27 de octubre de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-028 Aguas - Determinación de demanda bioquímica de oxígeno- Método de incubación por diluciones, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 6 de julio de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-029 Aguas - Determinación de fósforo total - Métodos espectrofotométricos, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 21 de octubre de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-034 Aguas - Determinación de sólidos en agua - Método gravimétrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 3 de julio de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-042 Aguas - Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales - Método de tubos múltiples de fermentación, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 22 de junio de 1987.

Norma Mexicana NMX-AA-046 Aguas - Determinación de arsénico en agua-Método espectrofotométrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 21 de abril de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-051 Aguas - Determinación de metales - Método espectrofotométrico de absorción atómica, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 22 de febrero de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-057 Aguas - Determinación de plomo - Método de la ditizona, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 29 de septiembre de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-058 Aguas - Determinación de cianuros - Método colorimétrico y titulométrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de diciembre de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-060 Aguas - Determinación de cadmio - Método de la ditizona, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 26 de abril de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-064 Aguas - Determinación de mercurio - Método de la ditizona, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 3 de marzo de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-066 Aguas - Determinación de cobre - Método de la neocuproína, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 16 de noviembre de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-078 Aguas - Determinación de zinc - Métodos colorimétrico de la ditizona I, la ditizona II y espectrofotometría de absorción atómica, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 12 de julio de 1982.

Norma Mexicana NMX-AA-079 Aguas Residuales- Determinación de nitrógeno de nitratos (Brucina), publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de abril de 1986.

Norma Mexicana NMX-AA-099 - Determinación de nitrógeno de nitritos- Agua potable, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 11 de febrero de 1987.

3. DEFINICIONES

3.1 Aguas costeras Son las aguas de los mares territoriales en la extensión y términos que fija el derecho internacional; así como las aguas marinas interiores, las lagunas y esteros que se comuniquen permanente o intermitentemente con el mar.

3.2 Aguas nacionales Las aguas propiedad de la Nación, en los términos del párrafo quinto del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

3.3 Aguas residuales Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

3.4 Aguas pluviales Aquellas que provienen de lluvias, se incluyen las que provienen de nieve y granizo.

3.5 Bienes nacionales Son los bienes cuya administración está a cargo de la Comisión Nacional del Agua en términos del artículo 113 de la Ley de Aguas Nacionales.

3.6 Carga contaminante Cantidad de un contaminante expresado en unidades de masa por unidad de tiempo, aportada en una descarga de aguas residuales.

3.7 Condiciones particulares de descarga El conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus niveles máximos permitidos en las descargas de agua residual, determinados por la Comisión

Nacional del Agua para el responsable o grupo de responsables de la descarga o para un cuerpo receptor específico, con el fin de preservar y controlar la calidad de las aguas conforme a la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.

3.8 Contaminantes básicos Son aquellos compuestos y parámetros que se presentan en las descargas de aguas residuales y que pueden ser removidos o estabilizados mediante tratamientos convencionales. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno₅, nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl de nitritos y de nitratos, expresadas como mg/litro de nitrógeno), fósforo total, temperatura y pH.

3.9 Contaminantes patógenos y parasitarios Son aquellos microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los coliformes fecales y los huevos de helminto.

3.10 Cuerpo receptor Son las corrientes, depósitos naturales de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas cuando puedan contaminar el suelo o los acuíferos.

3.11 Descarga Acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor en forma continua, intermitente o fortuita, cuando éste es un bien del dominio público de la Nación.

3.12 Embalse artificial Vaso de formación artificial que se origina por la construcción de un bordo o cortina y que es alimentado por uno o varios ríos o agua subterránea o pluvial.

3.13 Embalse natural Vaso de formación natural que es alimentado por uno o varios ríos o agua subterránea o pluvial.

3.14 Estuario Es el tramo del curso de agua bajo la influencia de las mareas que se extiende desde la línea de costa hasta el punto donde la concentración de cloruros en el agua es de 250 mg/l.

3.15 Humedales naturales Las zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénegas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional; las áreas donde el suelo es predominantemente hídrico; y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos originadas por la descarga natural de acuíferos.

3.16 Límite máximo permisible Valor o rango asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga de aguas residuales.

3.17 Metales pesados y cianuros Son aquellos que, en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y cianuros.

3.18 Muestra compuesta La que resulta de mezclar el número de muestras simples, según lo indicado en la Tabla 1. Para conformar la muestra compuesta el volumen de cada una de las muestras simples deberá ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma.

T A B L A 1

Frecuencia de muestreo			
Horas por día que opera el proceso generador de la descarga	Número de muestras simples	Intervalo entre toma de muestras simples (horas)	
		Mínimo	Máximo
Menor que 4	mínimo 2	-	-
De 4 a 8	4	1	2
Mayor que 8 y hasta 12	4	2	3
Mayor que 12 y hasta 18	6	2	3
Mayor que 18 y hasta 24	6	3	4

3.19 Muestra simple.- La que se tome en el punto de descarga, de manera continua, en día normal de operación que refleje cuantitativa y cualitativamente el o los procesos más representativos de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo necesario para completar cuando menos, un volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición, aforando el caudal descargado en el sitio y en el momento del muestreo.

El volumen de cada muestra simple necesario para formar la muestra compuesta se determina mediante la siguiente ecuación:

$$VMSi = VMC \times (Qi / Qt)$$

Donde:

VMSi = volumen de cada una de las muestras simples "i", litros.

VMC = volumen de la muestra compuesta necesario para realizar la totalidad de los análisis de laboratorio requeridos, litros.

Qi = caudal medido en la descarga en el momento de tomar la muestra simple, litros por segundo.

Qt = Qi hasta Qn, litros por segundo

3.20 Parámetro Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad física, química y biológica del agua.

3.21 Promedio diario (P.D.) Es el valor que resulta del análisis de una muestra compuesta. En el caso del parámetro grasas y aceites, es el promedio ponderado en función del caudal, y la media geométrica para los coliformes fecales, de los valores que resulten del análisis de cada una de las muestras simples tomadas para formar la muestra compuesta. Las unidades de pH no deberán estar fuera del rango permisible, en ninguna de las muestras simples.

3.22 Promedio mensual (P.M.) Es el valor que resulte de calcular el promedio ponderado en función del caudal, de los valores que resulten del análisis de al menos dos muestras compuestas (Promedio diario).

3.23 Riego no restringido La utilización del agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas en forma ilimitada como forrajes, granos, frutas, legumbres y verduras.

3.24 Riego restringido La utilización del agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas excepto legumbres y verduras que se consumen crudas.

3.25 Río Corriente de agua natural, perenne o intermitente, que desemboca a otras corrientes, o a un embalse natural o artificial, o al mar.

3.26 Suelo Cuerpo receptor de descargas de aguas residuales que se utiliza para actividades agrícolas.

3.27 Tratamiento convencional Son los procesos de tratamiento mediante los cuales se remueven o estabilizan los contaminantes básicos presentes en las aguas residuales.

3.28 Uso en riego agrícola La utilización del agua destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas y su preparación para la primera enajenación, siempre que los productos no hayan sido objeto de transformación industrial.

3.29 Uso público urbano La utilización de agua nacional para centros de población o asentamientos humanos, destinada para el uso y consumo humano, previa potabilización.

4. ESPECIFICACIONES

4.1 La concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe exceder el valor indicado como límite máximo permisible en las Tablas 2 y 3 de esta Norma Oficial Mexicana. El rango permisible del potencial Hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades.

4.2 Para determinar la contaminación por patógenos se tomará como indicador a los coliformes fecales. El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola) es de 1,000 y 2,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario, respectivamente.

4.3 Para determinar la contaminación por parásitos se tomará como indicador los huevos de helminto. El límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de un huevo de helminto por litro para riego restringido, y de cinco huevos por litro para riego no restringido, lo cual se llevará a cabo de acuerdo a la técnica establecida en el anexo 1 de esta Norma.

4.4. Al responsable de la descarga de aguas residuales que antes de la entrada en vigor de esta Norma Oficial Mexicana se le hayan fijado condiciones particulares de descarga podrá optar por cumplir los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma, previo aviso a la Comisión Nacional del Agua.

4.5. Los responsables de las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales deben cumplir con la presente Norma Oficial Mexicana de acuerdo con lo siguiente:

a) Las descargas municipales tendrán como límite las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 4. 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.

b) Las descargas no municipales tendrán como plazo límite hasta las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 5. El cumplimiento es gradual y progresivo, dependiendo de la mayor carga contaminante, expresada como demanda bioquímica de oxígeno₅ (DBO₅) o sólidos suspendidos totales (SST), según las cargas del agua residual, manifestadas en la solicitud de permiso de descarga, presentada a la Comisión Nacional del Agua.

T A B L A 2

Límites máximos permisibles para contaminantes básicos

Parámetros (miligramos por litro, excepto cuando se especifica)	Ríos						Embalses naturales y artificiales				Aguas costeras						Suelo		HUMEDALES NATURALES (B)		
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)				
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	
Materia Flotante (3)	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.	1	2	
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	100	175	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125	
Demanda Bioquímica de Oxígeno ₅	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	100	200	75	150	75	150	N.A.	N.A.	75	150	
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	

(1) Instantáneo

(2) Muestra Simple Promedio Ponderado

(3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006.

T A B L A 3

Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros

Parámetros (*) (Miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	Ríos						Embalses naturales y artificiales				Aguas costeras						Suelo		Humedales naturales (b)	
	Uso en riego agrícola (a)		Uso público urbano (b)		Protección de vida acuática (c)		Uso en riego agrícola (b)		Uso público urbano (c)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (a)		Recreación (b)		Estuarios (b)		Uso en riego agrícola (a)			
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuro	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

(*) Medidos de manera total.

P.D. = Promedio Diario P.M. = Promedio Mensual N.A. = No es aplicable

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

T A B L A 4

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

T A B L A 5

DESCARGAS NO MUNICIPALES		
FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:	CARGA CONTAMINANTE	
	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO₅ t/d (toneladas/día)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)
1 enero 2000	mayor de 3.0	mayor de 3.0
1 enero 2005	de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0
1 enero 2010	menor de 1.2	menor de 1.2

4.6 Las fechas de cumplimiento establecidas en las Tablas 4 y 5 de esta Norma Oficial Mexicana podrán ser adelantadas por la Comisión Nacional del Agua para un cuerpo receptor en específico, siempre y cuando exista el estudio correspondiente que valide tal modificación.

4.7. Los responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales cuya concentración de contaminantes en cualquiera de los parámetros básicos, metales pesados y cianuros, que rebasen los límites máximos permisibles señalados en las Tablas 2 y 3 de esta Norma Oficial Mexicana, multiplicados por cinco, para cuerpos receptores tipo B (ríos, uso público urbano), quedan obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad del agua de sus descargas a la Comisión Nacional del Agua, en un plazo no mayor de 180 días naturales, a partir de la publicación de esta Norma en el Diario Oficial de la Federación.

Los demás responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales, quedan obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad de sus descargas a la Comisión Nacional del Agua, en los plazos establecidos en las tablas 6 y 7.

Lo anterior, sin perjuicio del pago de derechos a que se refiere la Ley Federal de Derechos y a las multas y sanciones que establecen las leyes y reglamentos en la materia.

T A B L A 6

DESCARGAS MUNICIPALES	
RANGO DE POBLACIÓN	FECHA LÍMITE PARA PRESENTAR PROGRAMA DE ACCIONES
mayor de 50,000 habitantes	30 de junio de 1997
de 20,001 a 50,000 habitantes	31 de diciembre de 1998
de 2,501 a 20,000 habitantes	31 de diciembre de 1999

T A B L A 7

CARGA CONTAMINANTE DE LAS DESCARGAS NO MUNICIPALES

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO₅ Y/O SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)	FECHA LÍMITE PARA PRESENTAR PROGRAMA DE ACCIONES
mayor de 3.0	30 de junio de 1997
de 1.2 a 3.0	31 de diciembre de 1998
menor de 1.2	31 de diciembre de 1999

4.8 El responsable de la descarga queda obligado a realizar el monitoreo de las descargas de aguas residuales para determinar el promedio diario y mensual. La periodicidad de análisis y reportes se indican en la Tabla 8 para descargas de tipo municipal y en la Tabla 9 para descargas no municipales. En situaciones que justifiquen un mayor control, como protección de fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano, emergencias hidroecológicas o procesos productivos fuera de control, la Comisión Nacional del Agua podrá modificar la periodicidad de análisis y reportes. Los registros del monitoreo deberán mantenerse para su consulta por un período de tres años posteriores a su realización.

T A B L A 8

RANGO DE POBLACIÓN	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS	FRECUENCIA DE REPORTE
mayor de 50,000 habitantes	UNO MENSUAL	UNO TRIMESTRAL
de 20,001 a 50,000 habitantes	UNO TRIMESTRAL	UNO SEMESTRAL
de 2,501 a 20,000 habitantes	UNO SEMESTRAL	UNO ANUAL

T A B L A 9

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO₅ t/d (toneladas/día)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS	FRECUENCIA DE REPORTE
mayor de 3.0	mayor de 3.0	UNO MENSUAL	UNO TRIMESTRAL
de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0	UNO TRIMESTRAL	UNO SEMESTRAL
menor de 1.2	menor de 1.2	UNO SEMESTRAL	UNO ANUAL

4.9 El responsable de la descarga estará exento de realizar el análisis de alguno o varios de los parámetros que se señalan en la presente Norma Oficial Mexicana, cuando demuestre que, por las características del proceso productivo o el uso que le dé al agua, no genera o concentra los contaminantes a exentar, manifestándolo ante la Comisión Nacional del Agua, por escrito y bajo protesta de decir verdad. La autoridad podrá verificar la veracidad de lo manifestado por el usuario. En caso de falsedad el responsable quedará sujeto a lo dispuesto en los ordenamientos legales aplicables.

4.10 En el caso de que el agua de abastecimiento registre alguna concentración promedio mensual de los parámetros referidos en los puntos 4.1, 4.2 y 4.3 de la presente Norma Oficial Mexicana, la suma de esta concentración al límite máximo permisible promedio mensual, es el valor que el responsable de la descarga está obligado a cumplir, siempre y cuando lo notifique por escrito a la Comisión Nacional del Agua, para que ésta dictamine lo procedente.

4.11 Cuando se presenten aguas pluviales en los sistemas de drenaje y alcantarillado combinado, el responsable de la descarga tiene la obligación de operar su planta de tratamiento y cumplir con los límites máximos permisibles de esta Norma Oficial Mexicana, o en su caso con sus condiciones particulares de descarga, y podrá a través de una obra de desvío derivar el caudal excedente. El responsable de la descarga tiene la obligación de reportar a la Comisión Nacional del Agua el caudal derivado.

4.12 El responsable de la descarga de aguas residuales que, como consecuencia de implementar un programa de uso eficiente y/o reciclaje del agua en sus procesos productivos, concentre los contaminantes

en su descarga, y en consecuencia rebase los límites máximos permisibles establecidos en la presente Norma, deberá solicitar ante la Comisión Nacional del Agua se analice su caso particular, a fin de que ésta le fije condiciones particulares de descarga.

5. MÉTODOS DE PRUEBA

Para determinar los valores y concentraciones de los parámetros establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, se deberán aplicar los métodos de prueba indicados en el punto 2 de esta Norma Oficial Mexicana. El responsable de la descarga podrá solicitar a la Comisión Nacional del Agua, la aprobación de métodos de prueba alternos. En caso de aprobarse, dichos métodos podrán ser autorizados a otros responsables de descarga en situaciones similares.

Para la determinación de huevos de helminto se deberán aplicar las técnicas de análisis y muestreo que se presentan en el Anexo 1 de esta Norma Oficial Mexicana.

6. VERIFICACIÓN

La Comisión Nacional del Agua llevará a cabo muestreos y análisis de las descargas de aguas residuales, de manera periódica o aleatoria, con objeto de verificar el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos para los parámetros señalados en la presente Norma Oficial Mexicana.

7. GRADO DE CONCORDANCIA CON NORMAS Y RECOMENDACIONES INTERNACIONALES

7.1 No hay normas equivalentes, las disposiciones de carácter interno que existen en otros países no reúnen los elementos y preceptos de orden técnico y jurídico que en esta Norma Oficial Mexicana se integran y complementan de manera coherente, con base en los fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente.

8. BIBLIOGRAFÍA

- 8.1** APHA, AWWA, WPCF, 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. USA. (Métodos normalizados para el análisis del agua y aguas residuales. 19ª Edición. E.U.A.).
- 8.2** Code of Federal Regulations. Title 40. Parts 100 to 149; 400 to 424; and 425 to 629. Protection of Environment 1992. USA. (Código de Normas Federales. Título 40. Partes 100 a 149; 400 a 424; y 425 a 629. Protección al Ambiente. E.U.A.)
- 8.3** Ingeniería sanitaria y de aguas residuales, 1988. Gordon M. Fair, John Ch. Geyer, Limusa, México.
- 8.4** Industrial Water Pollution Control, 1989. 2nd Edition. USA. (Control de la contaminación industrial del agua Eckenfelder W.W. Jr. 2ª Edición Mcgraw-Hill International Editions. E.U.A.)
- 8.5** Manual de Agua para Usos Industriales, 1988. Sheppard T. Powell. Ediciones Ciencia y Técnica, S.A. 1ª edición. Volúmenes 1 al 4. México.
- 8.6** Manual de Agua, 1989. Frank N. Kemmer, John McCallion Ed. Mcgraw-Hill. Volúmenes 1 al 3. México.
- 8.7** U.S.E.P.A. Development Document for Effluent Limitation Guidelines And New Source Performance Standard For The 1974 (Documento de Desarrollo de La U.S.E.P.A. para guías de límites de efluentes y estándares de evaluación de nuevas fuentes para 1974).
- 8.8** Water Treatment Chemicals. An Industrial Guide, 1991. (Tratamiento químico del agua. Una guía industrial) Flick, Ernest W. Noyes Publications. E.U.A.
- 8.9** Water Treatment Handbook, 1991. (Manual de tratamiento de agua. Degremont 6ª Edición Vol. I Y II. E.U.A.)
- 8.10** Wastewater Engineering Treatment. Disposal, Reuse, 1991. 3rd Edition. USA. (Ingeniería en el tratamiento de aguas residuales. Disposición y reúso. Metcalf And Eddy. Mcgraw-Hill International Editions. 3ª Edición. E.U.A.)
- 8.11** Estudio de Factibilidad del Saneamiento del Valle de México. Informe Final. Dic. 1995. Comisión Nacional del Agua, Departamento del Distrito Federal, Estado de Hidalgo y Estado de México.
- 8.12** Guía Para el Manejo, Tratamiento y Disposición de Lodos Residuales de Plantas de Tratamiento Municipales. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial. México, 1994.
- 8.13** Sistemas Alternativos de Tratamiento de Aguas Residuales y Lodos Producidos. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial. México, 1994.
- 8.14** Impact of Wastewater Reuse on Groundwater In The Mezquital Valley, Hidalgo State, Mexico. Overseas Development Administration. Phase 1, Report - February 1995.
- 8.15** Evaluación de la Toxicidad de Descargas Municipales. Comisión Nacional del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Noviembre de 1993.
- 8.16** Tratabilidad del Agua Residual Mediante el Proceso Primario Avanzado. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1994-1995.
- 8.17** Estudio de la Desinfección del Efluente Primario Avanzado. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1994-1995.

- 8.18 Formación y Migración de Compuestos Organoclorados a través de Columnas Empaquetadas con Suelo de la Zona de Tula-Mezquital-Actopan. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995-1996.
- 8.19 Estudio de Calidad y Suministro del Agua para Consumo Doméstico del Valle del Mezquital. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995-1996.
- 8.20 Estudio de Impacto Ambiental Asociado al Proyecto de Saneamiento del Valle de México. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995-1996.
- 8.21 Proyecto de Normatividad Integral para Mejorar la Calidad del Agua en México. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995-1996.
- 8.22 Estudio de Disponibilidad de Agua en México en Función del Uso, Calidad y Cantidad. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995.
- 8.23 Cost - Effective Water Pollution Control in The Northern Border Of Mexico. Institute For Applied Environmental Economics (Tme), 1995.
- 8.24 XI Censo General de Población y Vivienda. INEGI / CONAPO 1990
- 8.25 Normas Oficiales Mexicanas para descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores: NOM-001-ECOL/1993 a NOM-033-ECOL/1993, publicadas en el **Diario Oficial de la Federación el 18 de octubre de 1993**; NOM-063-ECOL/1994 a NOM-065-ECOL/1994 publicadas en el **Diario Oficial de la Federación el 5 de enero de 1995**; NOM-066- ECOL/1994 a NOM-068-ECOL-1994, publicadas en el **Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1995**; NOM-069- ECOL/1994 y NOM-070-ECOL /1994, publicadas en el **Diario Oficial de la Federación el 9 de enero de 1995**; y NOM-071-ECOL-1994 a NOM-073-ECOL-1994, publicadas en el **Diario Oficial de la Federación el 11 de enero de 1995**.
- 8.26 Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. SEMARNAP. Instituto de Ecología. México, D.F.
- 8.27 Catálogo Oficial de Plaguicidas Control Intersectorial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas. SARH, SEDESOL, SSA y SECOFI. México, D.F. 1994.
- 8.28 Indicadores Socioeconómicos e Índice de Marginación Municipal 1990. CONAPO/CNA.
- 8.29 Bases para el Manejo Integral de la Cantidad y Calidad del Agua en México. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 1995.
- 8.30 Manejando las Aguas Residuales en Zonas Urbanas Costeras. Reporte 1993. EUA. Comité Sobre el Manejo de las Aguas Residuales en Zonas Urbanas Costeras. Consejo de Ciencia y Tecnología sobre Agua. Comisión de Sistemas Técnicos e Ingeniería. Consejo Nacional de Investigación.
- 8.31 NMX-AA-087-1995-SCFI. Análisis de Agua.- Evaluación de Toxicidad Aguda con Daphnia Magna Straus (Crustacea-Cladocera).- Método de Prueba).
- 8.32 NMX-AA-110-1995-SCFI. Análisis de Agua.- Evaluación de Toxicidad Aguda con Artemia Franciscana Kellogs (Crustacea-Anostraca).- Método de Prueba.
- 8.33 NMX-AA-112-1995-SCFI. Análisis de Agua y Sedimento.- Evaluación de Toxicidad aguda con Photobacterium Phosphoreum.- Método de Prueba.

9. OBSERVANCIA DE ESTA NORMA

9.1 La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, por conducto de la Comisión Nacional del Agua, y a la Secretaría de Marina en el ámbito de sus respectivas atribuciones, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

9.2 La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**.

9.3 Se abrogan Las Normas Oficiales Mexicanas que a continuación se indican:

Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de las centrales termoeléctricas convencionales.

Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria productora de azúcar de caña.

Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de refinación de petróleo y petroquímica.

Norma Oficial Mexicana NOM-004-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de fabricación de fertilizantes excepto la que produzca ácido fosfórico como producto intermedio.

Norma Oficial Mexicana NOM-005-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de fabricación de productos plásticos y polímeros sintéticos.

Norma Oficial Mexicana NOM-006-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de fabricación de harinas.

Norma Oficial Mexicana NOM-007-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de la cerveza y de la malta.

Norma Oficial Mexicana NOM-008-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de fabricación de asbestos de construcción.

Norma Oficial Mexicana NOM-009-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria elaboradora de leche y sus derivados.

Norma Oficial Mexicana NOM-010-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de las industrias de manufactura de vidrio plano y de fibra de vidrio.

Norma Oficial Mexicana NOM-011-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de productos de vidrio prensado y soplado.

Norma Oficial Mexicana NOM-012-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria hulera.

Norma Oficial Mexicana NOM-013-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria del hierro y del acero.

Norma Oficial Mexicana NOM-014-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria textil.

Norma Oficial Mexicana NOM-015-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de la celulosa y el papel.

Norma Oficial Mexicana NOM-016-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de bebidas gaseosas.

Norma Oficial Mexicana NOM-017-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de acabados metálicos.

Norma Oficial Mexicana NOM-018-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de laminación, extrusión y estiraje de cobre y sus aleaciones.

Norma Oficial Mexicana NOM-019-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de impregnación de productos de aserradero.

Norma Oficial Mexicana NOM-020-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de asbestos textiles, materiales de fricción y selladores.

Norma Oficial Mexicana NOM-021-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria del curtido y acabado en pieles.

Norma Oficial Mexicana NOM-022-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de matanza de animales y empaqueo de cárnicos.

Norma Oficial Mexicana NOM-023-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de envasado de conservas alimenticias.

Norma Oficial Mexicana NOM-024-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria elaboradora de papel a partir de celulosa virgen.

Norma Oficial Mexicana NOM-025-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria elaboradora de papel a partir de fibra celulósica reciclada.

Norma Oficial Mexicana NOM-026-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de restaurantes o de hoteles.

Norma Oficial Mexicana NOM-027-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria del beneficio del café.

Norma Oficial Mexicana NOM-028-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de preparación y envasado de conservas de pescados y mariscos y de la industria de producción de harina y aceite de pescado.

Norma Oficial Mexicana NOM-029-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de hospitales.

Norma Oficial Mexicana NOM-030-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de jabones y detergentes.

Norma Oficial Mexicana NOM-032-ECOL-1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola.

Norma Oficial Mexicana NOM-033-ECOL-1993, que establece las condiciones bacteriológicas para el uso de las aguas residuales de origen urbano o municipal o de la mezcla de éstas con la de los cuerpos de agua, en el riego de hortalizas y productos hortofrutícolas.

Publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el 18 de octubre de 1993.

La nomenclatura de las Normas Oficiales Mexicanas antes citadas está en términos del Acuerdo por el que se reforma la nomenclatura de 58 Normas Oficiales Mexicanas en materia de Protección Ambiental, publicado en el **Diario Oficial de la Federación** el 29 de noviembre de 1994.

Asimismo se abrogan las siguientes Normas Oficiales Mexicanas:

Norma Oficial Mexicana NOM-063-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria vinícola.

Norma Oficial Mexicana NOM-064-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de la destilería.

Norma Oficial Mexicana NOM-065-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de las industrias de pigmentos y colorantes.

Norma Oficial Mexicana NOM-066-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de la galvanoplastia.

Norma Oficial Mexicana NOM-067-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal.

Norma Oficial Mexicana NOM-068-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de aceites y grasas comestibles de origen animal y vegetal, publicadas en el **Diario Oficial de la Federación el 5 de enero de 1995**.

Norma Oficial Mexicana NOM-069-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de componentes eléctricos y electrónicos.

Norma Oficial Mexicana NOM-070-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de preparación, conservación y envasado de frutas, verduras y legumbres en fresco y/o congelados, publicadas en el **Diario Oficial de la Federación el 9 de enero de 1995**.

Norma Oficial Mexicana NOM-071-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de la industria de productos químicos inorgánicos.

Norma Oficial Mexicana NOM-072-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de las industrias de fertilizantes fosfatados, fosfatos, polifosfatos, ácido fosfórico, productos químicos inorgánicos fosfatados, exceptuando a los fabricantes de ácido fosfórico por el proceso de vía húmeda.

Norma Oficial Mexicana NOM-073-ECOL-1994, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, provenientes de las industrias farmacéutica y farmoquímica, publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el 11 de enero de 1995.

TRANSITORIO

ÚNICO. A partir de la entrada en vigor de esta Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, el responsable de la descarga de aguas residuales:

- 1) Que cuente con planta de tratamiento de aguas residuales, está obligado a operar y mantener dicha infraestructura de saneamiento, cuando su descarga no cumpla con los límites máximos permisibles de esta Norma.
Puede optar por cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, o los establecidos en sus condiciones particulares de descarga, previa notificación a la Comisión Nacional del Agua.
En el caso de que la calidad de la descarga que se obtenga con dicha infraestructura no cumpla con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, debe presentar a la Comisión Nacional del Agua en los plazos establecidos en las Tablas 6 y 7, su programa de acciones u obras a realizar para cumplir en las fechas establecidas en las Tablas 4 y 5, según le corresponda.
Los que no cumplan, quedarán sujetos a lo dispuesto en la Ley Federal de Derechos.
En el caso de que el responsable de la descarga opte por cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana y que descargue una mejor calidad de agua residual que la establecida en esta Norma, puede gozar de los beneficios e incentivos que para tal efecto establece la Ley Federal de Derechos.
- 2) Que se hubiere acogido a los Decretos Presidenciales que otorgan facilidades administrativas y fiscales a los usuarios de Aguas Nacionales y sus Bienes Públicos inherentes, publicados en el Diario Oficial de la Federación el 11 de octubre de 1995, en la materia, quedará sujeto a lo dispuesto en los mismos y en lo conducente a la Ley Federal de Derechos.
- 3) No debe descargar concentraciones de contaminantes mayores a las que descargó durante los últimos tres años o menos, si empezó a descargar posteriormente, de acuerdo con sus registros y/o con los informes presentados ante la Comisión Nacional del Agua en ese período si su descarga tiene concentraciones mayores a las establecidas como límite máximo permisible en esta Norma. Los responsables que no cumplan con esta especificación, quedarán sujetos a lo dispuesto en la Ley Federal de Derechos.
- 4) Que establezca una nueva instalación industrial, posterior a la publicación de esta Norma Oficial Mexicana en el Diario Oficial de la Federación, no podrá acogerse a las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 5 de esta Norma y debe cumplir con los límites máximos permisibles para su descarga, 90 días calendario después de iniciar la operación del proceso generador, debiendo notificar a la Comisión Nacional del Agua dicha fecha.
- 5) Que incremente su capacidad o amplíe sus instalaciones productivas, posterior a la publicación de esta Norma Oficial Mexicana en el Diario Oficial de la Federación, éstas nuevas descargas no podrán acogerse a las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 5 de esta Norma y debe cumplir con los límites máximos permisibles para éstas, 90 días calendario después de iniciar la operación del proceso generador, debiendo notificar a la Comisión Nacional del Agua dicha fecha.
- 6) Que no se encuentre en alguno de los supuestos anteriores, deberá cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, sujeto a lo dispuesto en la Ley Federal de Derechos, en lo conducente.

México., Distrito Federal, a los once días del mes de diciembre de mil novecientos noventa y seis.

LA SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE, RECURSOS NATURALES Y PESCA.

JULIA CARABIAS LILLO

ANEXO 1

Técnica para la determinación y cuantificación de huevos de helminto

1. Objetivo

Determinar y cuantificar huevos de helminto en lodos, afluentes y efluentes tratados.

2. Campo de aplicación

Es aplicable para la cuantificación de huevos de helminto en muestras de lodos, afluentes y efluentes de plantas de tratamiento.

3. Definiciones

3.1 Helminto: término designado a un amplio grupo de organismos que incluye a todos los gusanos parásitos (de humanos, animales y vegetales) y de vida libre, con formas y tamaños variados.

3.2 Platyhelminetos: gusano dorsoventralmente aplanado, algunos de interés médico son: Taenia solium, Hymenolepis nana e H. diminuta, entre otros.

3.3 Nematelminetos: gusanos de cuerpo alargado y forma cilíndrica. Algunas especies entroparásitas de humanos y animales son: Ascaris lumbricoides, Toxocara canis, Enterobius vermicularis y Trichuris trichiura, entre otros.

3.4 Método difásico: técnica de concentración que utiliza la combinación de dos reactivos no miscibles y donde las partículas (huevos, detritus), se orientan en función de su balance hidrofílico-lipofílico.

3.5 Método de flotación: técnica de concentración donde las partículas de interés permanecen en la superficie de soluciones cuya densidad es mayor. Por ejemplo la densidad de huevos de helminto se encuentra entre 1.05 a 1.18, mientras que los líquidos de flotación se sitúan entre 1.1 a 1.4.

4 Fundamento

Utiliza la combinación de los principios del método difásico y del método de flotación, obteniendo un rendimiento de un 90%, a partir de muestras artificiales contaminadas con huevos de helminto de Ascaris.

5 Equipo

Centrífuga: Con intervalos de operación de 1000 a 2500 revoluciones por minuto

Períodos de operación de 1 a 3 minutos

Temperatura de operación 20 a 28 °C

Bomba de vacío: Adaptada para control de velocidad de succión
1/3 hp

Microscopio óptico: Con iluminación Köheler

Aumentos de 10 a 100X; Platina móvil; Sistema de microfotografía

Agitador de tubos: Automático

Adaptable con control de velocidad

Parrilla eléctrica: Con agitación

Hidrómetro: Con intervalo de medición de 1.1 a 1.4 g/cm³

Temperatura de operación: 0 a 4 °C

6 REACTIVOS

- Sulfato de zinc heptahidratado
- Acido sulfúrico
- Eter etílico
- Etanol
- Agua destilada
- Formaldehído

6.1 Solución de sulfato de zinc, gravedad específica de 1.3

- Fórmula
- Sulfato de zinc 800 g
- Agua destilada 1,000 ml

Preparación

Disolver 800 g de sulfato de zinc en 1,000 ml de agua destilada y agitar en la parrilla eléctrica hasta homogeneizar, medir la densidad con hidrómetro. Para lograr la densidad deseada agregar reactivo o agua según sea el caso.

6.2 Solución de alcohol-ácido

- Fórmula
- Acido sulfúrico 0.1 N 750 ml
- Etanol 350 ml

Preparación

Homogeneizar 750 ml del ácido sulfúrico al 0.1 N, con 350 ml del etanol para obtener un litro de la solución alcohol-ácida. Almacenarla en recipiente hermético.

7. MATERIAL

- Garrafrones de 8 litros
- Tamiz de 160 mm (micras) de poro
- Probetas graduadas (1 litro y 50 ml)
- Gradillas para tubos de centrífuga de 50 ml
- Pipetas de 10 ml de plástico
- Aplicadores de madera
- Recipientes de plástico de 2 litros
- Guantes de plástico
- Vasos de precipitado de 1 litro
- Bulbo de goma
- Magneto
- Cámara de conteo Doncaster
- Celda Sedwich-Rafter

8 CONDICIONES DE LA MUESTRA

- 1 Se transportarán al laboratorio en hieleras con bolsas refrigerantes o bolsas de hielo.
- 2 Los tiempos de conservación en refrigeración y transporte deben reducirse al mínimo
- 3 Si no es posible refrigerar la muestra líquida, debe fijarse con 10 ml de formaldehído al 4% o procesarse dentro de las 48 horas de su toma.
- 4 Una muestra sólida debe refrigerarse y procesarse en el menor tiempo posible.

9 INTERFERENCIAS

La sobreposición de estructuras y/o del detritus no eliminado en el sedimento, puede dificultar su lectura, en especial cuando se trata de muestras de lodo. En tal caso, es importante dividir el volumen en alícuotas que se consideren adecuadas.

10 PRECAUCIONES

- 1 Durante el procesado de la muestra, el analista debe utilizar guantes de plástico para evitar riesgo de infección.
- 2 Lavar y desinfectar el área de trabajo, así como el material utilizado por el analista.

11 PROCEDIMIENTO

- 1 Muestreo
 - a) Preparar recipientes de 8 litros, desinfectándolos con cloro, enjuagándolos con agua potable a chorro y con agua destilada.
 - b) Tomar 5 litros de la muestra (ya sea del afluente o efluente).
 - c) En el caso de que la muestra se trate de lodo, preparar en las mismas condiciones recipientes de plástico de 1 litro con boca ancha.
 - d) Tomar X gramos de materia fresca (húmeda) que corresponda a 10 g de materia seca.
- 2 Concentrado y centrifugado de la muestra
- 3 La muestra se deja sedimentar durante 3 horas o toda la noche.
- 4 El sobrenadante se aspira por vacío sin agitar el sedimento.
- 5 Filtrar el sedimento sobre un tamiz de 160 mm (micras), enjuagando también el recipiente donde se encontraba originalmente la muestra y lavar enseguida con 5 litros de agua (potable o destilada).
- 6 Recibir el filtrado en los mismos recipientes de 8 litros.
- 7 En caso de tratarse de lodos, la muestra se filtrará y enjuagará en las mismas condiciones iniciando a partir del inciso c.
- 8 Dejar sedimentar durante 3 horas o toda la noche.
- 9 Aspirar el sobrenadante al máximo y depositar el sedimento en una botella de centrífuga de 250 ml, incluyendo de 2 a 3 enjuagues del recipiente de 8 litros.
- 10 Centrifugar a 400 g por 3 minutos (1,400 - 2,000 rpm por 3 minutos, según la centrífuga).
- 11 Decantar el sobrenadante por vacío (asegurarse de que exista la pastilla) y resuspender la pastilla en 150 ml de ZnSO₄ con una densidad de 1.3.
- 12 Homogeneizar la pastilla con el agitador automático, o aplicador de madera.
- 13 Centrifugar a 400 g por 3 minutos (1,400 - 2,000 rpm por 3 minutos).
- 14 Recuperar el sobrenadante vertiéndolo en un frasco de 2 litros y diluir cuando menos en un litro de agua destilada.
- 15 Dejar sedimentar 3 horas o toda la noche.

- 16 Aspirar al máximo el sobrenadante por vacío y resuspender el sedimento agitando, verter el líquido resultante en 2 tubos de centrífuga de 50 ml y lavar de 2 a 3 veces con agua destilada el recipiente de 2 litros.
- 17 Centrifugar a 480 g por 3 minutos (2,000 - 2,500 rpm por 3 minutos, según la centrífuga).
- 18 Reagrupar las pastillas en un tubo de 50 ml y centrifugar a 480 g por minutos (2,000 - 2,500 rpm por 3 minutos).
- 19 Resuspender la pastilla en 15 ml de solución de alcohol-ácido (H_2SO_4 0.1 N) + C_2H_5OH a 33-35% y adicionar 10 ml de éter etílico.
- 20 Agitar suavemente y abrir de vez en cuando los tubos para dejar escapar el gas (considerar que el éter es sumamente inflamable y tóxico).
- 21 Centrifugar a 660 g por 3 minutos (2,500 - 3,000 rpm por 3 minutos, según la centrífuga).
- 22 Aspirar al máximo el sobrenadante para dejar menos de 1 ml de líquido, homogeneizar la pastilla y proceder a cuantificar.
- 23 Identificación y Cuantificación de la Muestra
 - a) Distribuir todo el sedimento en una celda de Sedgwich-Rafter o bien en una cámara de conteo de Doncaster.
 - b) Realizar un barrido total al microscopio.

12 CÁLCULOS

- 1 Para determinar los rpm de la centrífuga utilizada, la fórmula es:

$$\sqrt{\frac{Kg}{r}} \quad \text{¡Error! Argumento de modificador no especificado.}$$

Donde:

- g:** fuerza relativa de centrifugación
K: constante cuyo valor es 89,456
r: radio de la centrífuga (spindle to the centre of the bracker) en cm

La fórmula para calcular g es:

$$g = \frac{r (rpm)^2}{K} \quad \text{¡Error! Argumento de modificador no especificado.}$$

- 2 Para expresar los resultados en número de huevecillos por litro es importante tomar en cuenta el volumen y tipo de la muestra analizada.

LA SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE, RECURSOS NATURALES Y PESCA.

JULIA CARABIAS LILLO

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997 QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REÚSEN EN SERVICIOS AL PÚBLICO. (Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de septiembre de 1998)

JULIA CARABIAS LILLO, Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, con fundamento en lo dispuesto en los artículos 32 Bis fracciones I, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 5° fracciones V y XI, 6o, 36, 37, 37 Bis, 117, 118 fracción I, 119, 121, 126, 171 y 173 la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 118 fracción III y 122 de la Ley General de Salud; 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 45, 46 y 47 fracciones III y IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, y

C O N S I D E R A N D O

Que en cumplimiento a lo dispuesto en la fracción I del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, se publicó en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de enero de 1998, a fin de que los interesados en un plazo de 60 días naturales presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, sito en avenida Revolución 1425, Mezaninne planta alta, colonia Tlacopac, Delegación Álvaro Obregón, código postal 01040, de esta ciudad.

Que durante el plazo a que se refiere el considerando anterior y de conformidad con lo dispuesto en el artículo 45 del ordenamiento legal citado, estuvieron a disposición del público los documentos a que se refiere dicho precepto.

Que de acuerdo con lo que disponen las fracciones II y III del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, los comentarios presentados por los interesados fueron analizados en el seno del citado Comité, realizándose las modificaciones procedentes a dicha Norma; las respuestas a los comentarios de referencia fueron publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de agosto de 1998.

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de Normas Oficiales Mexicanas, el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 22 de abril de 1998, aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, por lo que he tenido a bien expedir la siguiente

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REÚSEN EN SERVICIOS AL PÚBLICO.

Í N D I C E

1. Objetivo y campo de aplicación
2. Referencias
3. Definiciones
4. Especificaciones
5. Muestreo
6. Métodos de prueba
7. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales y con las normas mexicanas tomadas como base para su elaboración.
8. Bibliografía
9. Observancia de esta Norma

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reuso.

En el caso de que el servicio al público se realice por terceros, éstos serán responsables del cumplimiento de la presente Norma, desde la producción del agua tratada hasta su reuso o entrega, incluyendo la conducción o transporte de la misma.

2. REFERENCIAS

Norma Mexicana NMX-AA-003 Aguas residuales-Muestreo, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 25 de marzo de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-005 Aguas-Determinación de grasas y aceites-Método de extracción solhlet, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 8 de agosto de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-006 Aguas-Determinación de materia flotante-Método visual con malla específica, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 5 de diciembre de 1973.

Norma Mexicana NMX-AA-028 Aguas-Determinación de demanda bioquímica de oxígeno.- Método de incubación por diluciones, publicada en **Diario Oficial de la Federación** el 6 de julio de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-034 Aguas-Determinación de sólidos en agua.- Método gravimétrico, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 3 de julio de 1981.

Norma Mexicana NMX-AA-42 Aguas -Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales. - Método de tubos múltiples de fermentación, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 22 de junio de 1987.

Norma Mexicana NMX-AA-102-1987 Calidad del Agua- Detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* presuntiva.-Método de filtración en membrana, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 28 de agosto de 1987.

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, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 6 de enero de 1997 y su aclaración, publicada en el citado Órgano Informativo el 30 de abril de 1997.

3. DEFINICIONES

3.1 Aguas residuales Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

3.2 Aguas crudas Son las aguas residuales sin tratamiento.

3.3 Aguas residuales tratadas Son aquéllas que mediante procesos individuales o combinados de tipo físicos, químicos, biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reuso en servicios al público.

3.4 Contaminantes básicos Son aquellos compuestos o parámetros que pueden ser removidos o estabilizados mediante procesos convencionales. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, demanda bioquímica de oxígeno₅ y sólidos suspendidos totales.

3.5 Contaminantes patógenos y parasitarios Son los microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los coliformes fecales medidos como NMP o UFC/100 ml (número más probable o unidades formadoras de colonias por cada 100 mililitros) y los huevos de helminto medidos como h/l (huevos por litro).

3.6 Entidad pública. Los Gobiernos de los Estados, del Distrito Federal, y de los Municipios, por sí o a través de sus organismos públicos que administren el agua.

3.7 Lago artificial recreativo Es el vaso de formación artificial alimentado con aguas residuales tratadas con acceso al público para paseos en lancha, prácticas de remo y canotaje donde el usuario tenga contacto directo con el agua.

3.8 Lago artificial no recreativo Es el vaso de formación artificial alimentado con aguas residuales tratadas que sirve únicamente de ornato, como lagos en campos de golf y parques a los que no tiene acceso el público.

3.9 Límite máximo permisible Valor o rango asignado a un parámetro, que no debe ser excedido por el responsable del suministro de agua residual tratada.

3.10 Promedio mensual (P.M.) Es el valor que resulta del promedio de los resultados de los análisis practicados a por lo menos dos muestras simples en un mes.

Para los coliformes fecales es la media geométrica; y para los huevos de helminto, demanda bioquímica de oxígeno₅, sólidos suspendidos totales, metales pesados y cianuros y grasas y aceites, es la media aritmética.

3.11 Reuso en servicios al público con contacto directo Es el que se destina a actividades donde el público usuario esté expuesto directamente o en contacto físico. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana se consideran los siguientes reusos: llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines.

3.12 Reuso en servicios al público con contacto indirecto u ocasional Es el que se destina a actividades donde el público en general esté expuesto indirectamente o en contacto físico incidental y que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana se consideran los siguientes reusos: riego de jardines y camellones en autopistas; camellones en avenidas; fuentes de ornato, campos de golf, abastecimiento de hidrantes de sistemas contra incendio, lagos artificiales no recreativos, barreras hidráulicas de seguridad y panteones.

4. ESPECIFICACIONES

4.1 Los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas son los establecidos en

la Tabla 1 de esta Norma Oficial Mexicana.

T A B L A 1
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES

TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes Fecales NMP/100 ml	Huevos de Helminto (h/l)	Grasas y Aceites mg/l	DBO ₅ mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	≤ 1	15	20	20
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	≤ 5	15	30	30

4.2 La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada, de acuerdo al método de prueba establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-006, referida en el punto 2 de esta Norma Oficial Mexicana.

4.3 El agua residual tratada reusada en servicios al público no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la columna que corresponde a embalses naturales y artificiales con uso en riego agrícola de la Tabla 3 de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, referida en el punto 2 de esta Norma.

4.4 Las entidades públicas responsables del tratamiento de las aguas residuales que reusen en servicios al público, tienen la obligación de realizar el monitoreo de las aguas tratadas en los términos de la presente Norma Oficial Mexicana y de conservar al menos durante los últimos tres años los registros de la información resultante del muestreo y análisis, al momento en que la información sea requerida por la autoridad competente.

5. MUESTREO

Los responsables del tratamiento y reuso de las aguas residuales tratadas, tienen la obligación de realizar los muestreos como se establece en la Norma Mexicana NMX-AA-003, referida en el punto 2 de esta Norma Oficial Mexicana. La periodicidad y número de muestras será:

5.1 Para los coliformes fecales, materia flotante, demanda bioquímica de oxígeno₅, sólidos suspendidos totales y grasa y aceites, al menos 4 (cuatro) muestras simples tomadas en días representativos mensualmente.

5.2 Para los huevos de helminto, al menos 2 (dos) muestras compuestas tomadas en días representativos mensualmente.

5.3 Para los metales pesados y cianuros, al menos 2 (dos) muestras simples tomadas en días representativos anualmente.

6. MÉTODOS DE PRUEBA

Para determinar los valores y concentraciones de los parámetros establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, se deben aplicar los métodos de prueba indicados en las Normas Mexicanas a que se refiere el punto 2 de esta Norma. Para coliformes fecales, el responsable del tratamiento y reuso del agua residual, podrá realizar los análisis de laboratorio de acuerdo con la NMX-AA-102-1987, siempre y cuando demuestre a la autoridad competente que los resultados de las pruebas guardan una estrecha correlación o son equivalentes a los obtenidos mediante el método de tubos múltiples que se establece en la NMX-AA-42-1987. El responsable del tratamiento y reuso del agua residual puede solicitar a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, la aprobación de métodos de prueba alternos. En caso de aprobarse, éstos pueden ser aplicados por otros responsables en situaciones similares. Para la determinación de huevos de helminto se deben aplicar las técnicas de análisis que se señalan en el anexo 1 de esta Norma.

7. GRADO DE CONCORDANCIA CON NORMAS Y LINEAMIENTOS INTERNACIONALES Y CON LAS NORMAS MEXICANAS TOMADAS COMO BASE PARA SU ELABORACIÓN

7.1 No hay normas equivalentes, las disposiciones de carácter interno que existen en otros países no reúnen los elementos y preceptos de orden técnico y jurídico que en esta Norma Oficial Mexicana se

integran y complementan de manera coherente, con base en los fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente; tampoco existen normas mexicanas que hayan servido de base para su elaboración.

8. BIBLIOGRAFÍA

- 8.1 APHA, AWWA, WPCF, 1994. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 19th Edition. U.S.A. (Métodos normalizados para el análisis del agua y aguas residuales 19a. Edición. E.U.A.)
- 8.2 Code of Federal Regulations 40. Protection of Environmental 1992. (Código de Normas Federales 40. Protección al Ambiente) E.U.A.
- 8.3 Ingeniería sanitaria y de aguas residuales, 1988. Gordon M. Fair, John Ch. Gerey, Limusa, México.
- 8.4 Manual de agua, 1989. Frank N. Kemmer, John McCallion Ed. McGraw-Hill. Volúmenes 1 al 3. México.
- 8.5 Development Document for Effluent Limitation Guidelines and New Source Performance Standard for the 1974. (Documento de desarrollo de la U.S.E.P.A. para guías de límites de efluentes y estándares de evaluación de nuevas fuentes para 1974).
- 8.6 Water Treatment Handbook, 1991. Degremont 6th Edition Vol. I y II. U.S.A. (Manual de tratamiento de agua 1991) 6a. Edición Vol. I y II. E.U.A.
- 8.7 Wastewater Engineering Treatment. Disposal and Reuse, 1991. 3rd. Edition. U.S.A. (Ingeniería en el tratamiento de aguas residuales. Disposición y reúso) Metcalf and Eddy. McGraw-Hill International Editions. 3a. Edición. E.U.A.
- 8.8 Municipal Wastewater Reuse-Selected Readings on Water Reuse - United States Environmental Protection Agency - EPA 430/09-91-022 September, 1991. (Reuso de aguas residuales municipales-lecturas selectivas sobre el reuso del agua-Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América- EPA 430/09-91-022 septiembre 1991).

9. OBSERVANCIA DE ESTA NORMA

9.1 La vigilancia del cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, a través de la Comisión Nacional del Agua, y a la Secretaría de Salud, en el ámbito de sus respectivas atribuciones, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley General de Salud y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

9.2 La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**. Las plantas de tratamiento de aguas residuales referidas en esta Norma que antes de su entrada en vigor ya estuvieran en servicio y que no cumplan con los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en ella, tendrán un plazo de un año para cumplir con los lineamientos establecidos en la presente Norma.

México, Distrito Federal, a los diecisiete días del mes de julio de mil novecientos noventa y ocho.

JULIA CARABIAS LILLO