



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

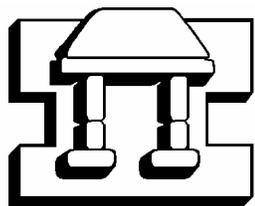
**“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE
BACTERIAS, MATERIA ORGÁNICA Y NUTRIENTES EN UN
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
MEDIANTE FILTROS PERCOLADORES”**

**T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
B I Ó L O G O**

PRESENTA:

Oswaldo Ramírez Mendoza

DIRECTORA DE TESIS: QFB. Esperanza Robles Valderrama



IZTACALA

TLALNEPANTLA, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO, 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

A mis padres:
El Sr. José Pedro Ramírez Hernández
y la Sra. Gabriela Luisa Mendoza Robles.

Por que gracias a ustedes y a su incondicional guía, impulso y apoyo, finalmente he podido llegar a esta instancia, por supuesto, este logro es también de ustedes, ya que capitaliza en parte, todos los sacrificios realizados con el objetivo de procurarnos a mis dos hermanas y a mí una educación profesional. Y aunque se que jamás podré resarcirles todos sus esfuerzos, honraré su ejemplo y seguiré sus enseñanzas por el resto de mi vida.

Con el mas profundo amor, respeto y admiración.
El más afortunado y agradecido de los hijos.

Oswaldo.

En una tesis profesional, siempre se acostumbra dedicar unas líneas a las personas más entrañables y desde luego no será, el que esta escribe, la excepción (Ramírez, 1979).

A mis amadas hermanas, Michelle y Adriana Ramírez Mendoza, quienes no solo han sido mis compañeras, sino mis mejores amigas y mis cómplices de toda la vida.

A mis abuelos, Asunción Ramírez[†], Enriqueta Hernández[†], Julio Mendoza[†] y Guadalupe Robles[†], por el cariño que me manifestaron y por que desearía que estuvieran aquí físicamente para que pudieran ser parte de este momento.

A Viridiana Vega, por la energía y fortaleza que me has procurado al permitirme compartir mi vida con la tuya y así descubrir todo un mundo nuevo de emociones y experiencias al vivir esta gran aventura que es estar a tu lado.

A todos mis grandes amigos de la FES Iztacala, a quines me es imposible enumerar (afortunadamente para mí), por temor de omitir a alguno, comenzando por los ROÑAS, a todos los de 1^a, 2^a y 3^a etapa y en general a todos aquellos con quienes he compartido momentos inolvidables e irrepetibles durante mi estancia en la facultad.

A mis camaradas que me han acompañado por años, Juan Pablo Domínguez, Hugo Olivares, Ivonne Pozos, Teresa Carrasco y Edith Ramírez, por todos esos fantásticos y en ocasiones inesperados momentos que hemos compartido y por permitirme enriquecer mi vida con su invaluable amistad.

A la QFB Esperanza Robles, por coordinar y supervisar este proyecto de tesis, que me permite cerrar el ciclo más importante de mi vida.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, la Facultad de Estudios Superiores Iztacala y todos sus profesores por la formación académica y profesional, que me han proporcionado.

A todas y cada una de las personas que para bien o para mal han pasado por mi vida. Por que cada uno de ustedes me ha dejado un aprendizaje y una experiencia diferente, que ha sido parte de la persona que soy.

Por ultimo y mas importante aun, a "DIOS", nuestro señor todo poderoso, por las bendiciones que ha tenido para conmigo, su bondad, su protección. Mismos que me demuestra con la vida que me ha concedido y con la maravillosa familia que me ha otorgado.

“A todos y cada uno de ustedes, les doy las gracias por permitirme ser parte de algo tan extraordinario, que no dudaría un solo segundo en volver a repetirlo”.

IN MEMORIAM

De nuestros queridos amigos, Antonio Zaragoza González† y Juan Carlos Martínez Gaspar†, a quienes la vida no les permitió concluir con sus estudios universitarios de biología, ni la realización de sus sueños y anhelos personales.



Antonio Zaragoza González†
(1982-2004)



Juan Carlos Martínez Gaspar†
(1979-2007)

Su recuerdo permanecerá por siempre con nosotros y nuestra amistad estará con ustedes, en donde sea que se encuentren. Atesoramos los momentos que pudimos compartir con ustedes, ya tendremos nuevos, cuando llegue el momento en que podamos volver a reunirnos.

“Descansen en paz”.

INDICE GENERAL

RESUMEN	10
1.- INTRODUCCIÓN	11
2.- MARCO TEÓRICO	14
2.1.- Filtro percolador	14
2.2.- Planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria (PTARCU)	16
2.3.- Indicadores bacteriológicos de contaminación fecal	20
2.4.- Parámetros fisicoquímicos	23
2.5.- Antecedentes	24
3.- JUSTIFICACIÓN	28
4.- OBJETIVOS	29
5.- ÁREA DE ESTUDIO	30
6.- MATERIALES Y MÉTODOS	33
7.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	35
7.1.- Resultados del influente y efluente durante el 2004	35
7.2.- Resultados del influente y efluente durante el 2005	47
7.3.- Comparación de resultados entre 2004 Y 2005	59
7.3.1.- Porcentajes de remoción	59
7.3.2.- Correlaciones	62
7.3.3.- Comparación con la NOM-003-ECOL-1997	73
8.- CONCLUSIONES	76
9.- Referencias	77

INDICE DE TABLAS

1.- Parámetros fisicoquímicos de campo en el influente durante el 2004	40
2.- Parámetros fisicoquímicos de campo en el efluente durante el 2004	40
3.- Parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos del influente durante el 2004	41
4.- Parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos del efluente durante el 2004	42
5.- Valores estadísticos de los parámetros fisicoquímicos del influente durante el 2004	43
6.- Valores estadísticos de los parámetros fisicoquímicos del efluente durante el 2004	44
7.- Logaritmos de los parámetros bacteriológicos del influente durante el 2004	45
8.- Logaritmos de los parámetros bacteriológicos del efluente durante el 2004	45
9.- Porcentajes de remoción durante el 2004	46
10.- Parámetros fisicoquímicos de campo en el influente durante el 2005	52
11.- Parámetros fisicoquímicos de campo en el efluente durante el 2005	52
12.- Parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos del influente durante el 2005	53
13.- Parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos del efluente durante el 2005	54
14.- Valores estadísticos de los parámetros fisicoquímicos del influente durante el 2005	55
15.- Valores estadísticos de los parámetros fisicoquímicos del efluente durante el 2005	56
16.- Logaritmos de los parámetros bacteriológicos del influente durante el 2005	57
17.- Logaritmos de los parámetros bacteriológicos del efluente durante el 2005	57

18.- Porcentajes de remoción durante el 2005	58
19.- Comparación de los porcentajes de remoción de los años 2004 y 2005	61
20.- Correlación de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos entre 2004 y 2005	62
21.- Parámetros establecidos en la NOM-003, comparados con los resultados obtenidos en los años 2004 y 2005	75

INDICE DE FIGURAS

1.- Esquema general de un filtro percolador	16
2.- Fachada principal de la PTARCU	18
3.- Sistemas de tratamiento biológico de la PTARCU Num 1	18
4.- Sistemas de tratamiento biológico de la PTARCU Num 2	19
5.- Descripción general de la PTARCU	19
6.- Sistema de filtro rociador (percolador) de la PTARCU	31
7.- Sistema de rocío del filtro percolador	31
8.- Torre percoladora del filtro rociador	32
9.- Comparación de los valores de pH del influyente y el efluente del 2004 y 2005	63
10.- Comparación de los valores del oxígeno disuelto el influente y del efluente del 2004 y 2005	64
11.- Comparación de los valores de coliformes totales el influente y del efluente del 2004 y 2005	65
12.- Comparación de los valores de coliformes fecales el influente y del efluente del 2004 y 2005	66
13.- Comparación de los valores de DBO ₅ del influente y el efluente del 2004 y 2005	67
14.- Comparación de los valores de DQO del influente y el efluente del 2004 y 2005	67
15.- Comparación de los valores de nitrógeno amoniacal del influente y el efluente del 2004 y 2005	68
16.- Comparación de los valores de nitratos del influente y el efluente del 2004 y 2005	69
17.- Comparación de los valores de nitritos del influente y el efluente del 2004 y 2005	69
18.- Comparación de los valores de ortofosfatos del influente y el efluente del 2004 y 2005	70
19.- Comparación de los valores de fosfatos totales	

del influente y el efluente del 2004 y 2005	70
20.- Comparación de los valores de conductividad del influente y el efluente del 2004 y 2005	71
21.- Comparación de los valores de sólidos suspendidos totales del influente y el efluente del 2004 y 2005	72
22.- Comparación de los valores de sólidos sedimentables del influente y el efluente del 2004 y 2005	72

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar la eficiencia del sistema de Filtro Percolador en Ciudad Universitaria, UNAM, Distrito Federal, desde el punto de vista de indicadores bacteriológicos de contaminación fecal y fisicoquímico. Durante los años 2004 y 2005 se determinó mensualmente en el Influyente y el Efluente del sistema: Coliformes Totales, Coliformes Fecales y los parámetros fisicoquímicos: DBO₅, DQO, Nitrógeno amoniacal, Conductividad, Sólidos suspendidos totales (SST), Sólidos sedimentables, Ortofosfatos, Fosfatos totales, Nitratos y Nitritos. Se obtuvieron los valores Mínimo, Máximo, Media y Porcentaje de remoción para cada uno de los parámetros a lo largo de los dos años que duró el muestreo. Los resultados nos indican que el año 2004 presentó una remoción ligeramente mayor a la obtenida en el 2005, con excepción de DQO₅, Nitritos y Nitratos en los que la remoción fue mayor en el 2005. Así mismo, en cada uno de los meses coincidentes del 2004 y 2005 se aplicó una prueba de correlación simple, para conocer el comportamiento del biofiltro en ambos años. En general, todos los parámetros fisicoquímicos presentaron un comportamiento similar en ambos años, en cambio los coliformes totales y fecales presentaron una correlación inversa. Finalmente, los porcentajes de remoción se compararon con la NOM-003-ECOL-1997, que nos indica que; la DBO₅ y los SST se encuentran por arriba de lo establecido por la norma para contacto directo, siendo los SST en el 2004 los únicos que alcanzan a ubicarse dentro de este margen. En lo que respecta a contacto indirecto, tanto la DBO₅ como los SST se encuentran ligeramente por arriba de los límites establecidos y únicamente la DBO₅ en el 2005 duplica este resultado. Por su parte los coliformes fecales en los dos años, se encuentran muy por arriba del margen máximo, aun así la disminución de contaminantes alcanzó entre 2 y 5 escalas logarítmicas. Los mejores resultados de remoción obtenidos en el 2004 se pueden deber principalmente a las frecuentes interrupciones de operación que tuvo el sistema, lo cual no permitió su estabilización.

Palabras clave: Filtros percoladores/ remoción/ tratamiento de aguas.

1. INTRODUCCION

El Agua es fundamental para todas las formas de vida, por lo que es un recurso esencial en la naturaleza. El volumen del agua en el mundo es de 1 360 trillones de litros, de la cual solo el 3% es agua dulce y solo el 50% de este es potable (Frers, 2005).

En la actualidad el problema de la contaminación del agua y de los volúmenes tan grandes que se demandan es alarmante, siendo uno de los problemas que mas preocupan a la humanidad por la gran cantidad de desechos que se vierten en ella (López, 1981)

Toda comunidad produce residuos tanto líquidos como sólidos. La parte líquida procede esencialmente de las aguas suministradas a la comunidad después de haber sido contaminada por los diversos usos a que fue sometida (Metcalf y Eddy, 1985).

Las diferentes fuentes de contaminación de las aguas residuales proceden de residencias, instituciones publicas, así como centros comerciales e industrias y que pueden definirse como una combinación de liquido o agua portadora de diferentes residuos (Metcalf y Eddy, 1985).

Las aguas residuales constituyen un problema sanitario por las enfermedades que propagan como diarreas (bacterianas y víricas) tifoidea, paratifoidea, cólera, hepatitis, amibiasis, etc. Dentro de los patógenos más comunes encontrados en aguas residuales están coliformes fecales, *Salmonella spp.*, *Shigella spp.* y *Vibrio cholerae* entre otros (López, 1981).

Como consecuencia de todo esto, el ingenio humano ha ideado a lo largo de la historia diferentes sistemas de tratamiento y aprovechamiento de las aguas, tanto en su aspecto energético como bajo el punto de vista de su uso y reúso en alimentación y en aplicaciones agrarias (Seoanes, 1995).

Los métodos de tratamiento en los que predomina la aplicación de fuerzas físicas son conocidos como Operaciones Unitarias. Aquellos en que la eliminación de los contaminantes se consigue mediante reacciones químicas o biológicas se conocen como Procesos Unitarios. En la actualidad las Operaciones y Procesos Unitarios se agrupan para constituir lo que se conoce como tratamientos Primario, Secundario y Terciario (Metcalf y Eddy, 1985).

El grado de tratamiento requerido para un agua residual depende fundamentalmente de los límites del vertido para el efluente (Ramalho, 1993). El tratamiento Primario utiliza operaciones físicas tales como separación de sólidos y precipitaciones para eliminar los sólidos sedimentables y flotantes presentes en el agua residual.

En el tratamiento Secundario, los procesos biológicos involucran microorganismos que se encargan de eliminar la mayoría de la materia orgánica (Lodos activados, biodiscos y filtros percoladores) y son muy utilizados debido a que son económicos, en comparación con métodos no biológicos específicos como adsorción con carbono activado, osmosis inversa, eficientes y no generan subproductos contaminantes (López, 1981; Metcalf y Eddy, 1985).

Finalmente el tratamiento Terciario o Químico utiliza combinaciones adicionales de los Procesos y Operaciones Unitarias para eliminar otros compuestos como Nitrógeno y Fósforo, que no son eliminados por los procesos secundarios (Metcalf y Eddy, 1985).

Dentro de los tratamientos secundarios se encuentran los filtros percoladores que están formados por un lecho de material consistente, en la mayoría de los casos de piedras o materiales sintéticos de diversas formas, sobre el cual son aplicadas las aguas residuales por medio de brazos distribuidores fijos o móviles. Alrededor de este lecho fijo se encuentran adheridas las poblaciones de bacterias, levaduras, hongos y protozoos que descomponen las aguas residuales a medida que estas percolan hacia el fondo del tanque (Internet¹).

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Filtro Percolador

El Filtro Percolador consiste en un lecho formado por un medio sumamente permeable al que se le adhieren los microorganismos y a través del cual se filtra el agua residual. El medio filtrante consiste generalmente en piedras cuyo tamaño oscila de 2.5 a 10 cm de diámetro y cuya profundidad varia con cada diseño particular, generalmente de 0.9 a 2.4 m. Actualmente existen filtros percoladores que utilizan unos medios filtrantes plásticos, que se construyen de sección cuadrada u otra cualquiera, con profundidades de 9 a 12 m. El lecho del filtro es generalmente circular y el líquido a tratar se rocía por encima del lecho mediante un distribuidor giratorio (Metcalf y Eddy, 1985).

Cada filtro posee un sistema de desagüe inferior muy importante para recoger el líquido tratado y los sólidos biológicos que se haya separado del medio, así como por su estructura porosa a través del cual puede circular el aire (Metcalf y Eddy, 1985).

El filtro percolador esta recomendado para caudales pequeños de aguas residuales, en donde la disminución estimada de la DBO_5 es aproximadamente de 60%, ya que es un proceso más económico que el de lodos activados, el cual tiene un costo muy elevado del material de relleno pero en el que se estima un aproximado de 90% en la disminución de la DBO_5 y se emplea en caudales mayores (Metcalf y Eddy, 1985).

La materia orgánica presente en el agua residual es degradada por una población de microorganismos adherida al medio. Dicha materia orgánica es adsorbida sobre la película biológica o capa viscosa, en cuyas capas externas es degradada. Cuando los microorganismos crecen, el espesor de la película aumenta y el oxigeno es consumido antes de que pueda penetrar en

todo el espesor de la película. Por tanto, se establece un ambiente anaerobio en la superficie del medio (Metcalf y Eddy, 1985).

Conforme la película aumenta de espesor, la materia orgánica, adsorbida es metabolizada antes de que pueda alcanzar los microorganismos situados cerca de la superficie del medio filtrante. La consecuencia de no disponer de una fuente de orgánica externa de carbono celular, es que los microorganismos situados cerca de la superficie del medio se encuentran en fase endógena de crecimiento, en la que pierden su capacidad de adherirse a la superficie del medio. En estas condiciones el líquido a su paso a través del medio arrastra la película y comienza el crecimiento de otra nueva. Este fenómeno de la pérdida de la película biológica es fundamentalmente función de la carga hidráulica y orgánica del filtro. La carga hidráulica origina las velocidades de arrastre y la carga orgánica influye en la velocidad del metabolismo en la película biológica (Metcalf y Eddy, 1985).

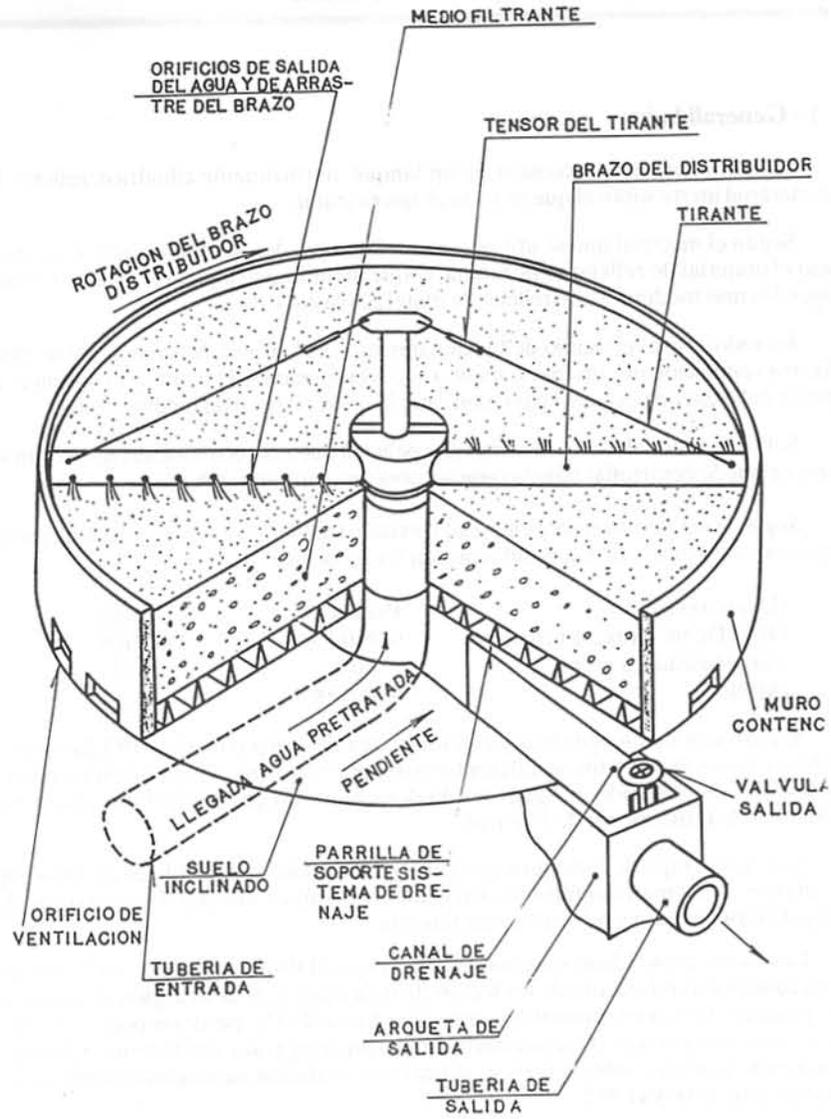


Fig. 1 Esquema general de un filtro percolador.

2.2 Planta de tratamiento de aguas residuales de ciudad universitaria (PTARCU)

Las autoridades universitarias, por medio de la Dirección General de Obras y Servicios Generales de la UNAM, encomendaron al Instituto de Ingeniería el proyecto de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ciudad Universitaria (PTARCU); en 1982 se terminó su construcción y en octubre del mismo año inicio operaciones.

Por sus características y alta eficiencia de operación, la PTARCU se considera como modelo a nivel nacional, por lo que es orgullo para la UNAM y de admiración para los numerosos visitantes nacionales y extranjeros que recibe cotidianamente.

La PTARCU se concibió y funciona actualmente bajo tres objetivos:

- Proporcionar agua tratada de excelente calidad para riego de las áreas verdes de C.U.
- Apoyar la investigación universitaria en el tratamiento de las aguas residuales, dando facilidades y proporcionando espacios físicos para la instalación de unidades experimentales.
- Operar, con fines didácticos y de investigación, tres sistemas biológicos aerobios, los cuales son de uso común: Lodos Activados, Discos Biológicos Rotatorios y Filtro Rociador (Percolador).

Existen varias técnicas de tratamiento de las aguas residuales, que se pueden aplicar solas o combinadas, según lo que se pretenda. El proceso más común es el que utiliza la propia naturaleza, es decir, la depuración biológica: proceso que consiste en utilizar las bacterias que contiene el agua residual en un medio controlado. Las Bacterias se alimentan de los residuos orgánicos existentes en las aguas residuales, convirtiendo las sustancias contaminantes en otras inocuas. Uno de los requerimientos básicos para la acción de las bacterias aeróbicas es la disponibilidad de oxígeno (Dirección General de Obras y Conservación, 2007).

La PTARCU cuenta con tres procesos de tratamiento en paralelo, para tratar 40 litros por segundo; el resto del caudal captado es descargado en la red de drenaje municipal de la ciudad: lodos activados (20 L/s), discos biológicos (10 L/s) y filtro percolador (10 L/s). Así como el recién construido sistema de drenaje para la recolección almacenamiento y conducción de las aguas

residuales generadas en la zona de la Investigación Científica, conocida como zona de los "GEOS" y que entro en operación en enero del 2004 (Noyola y Morgan-Sagastume, 2004).

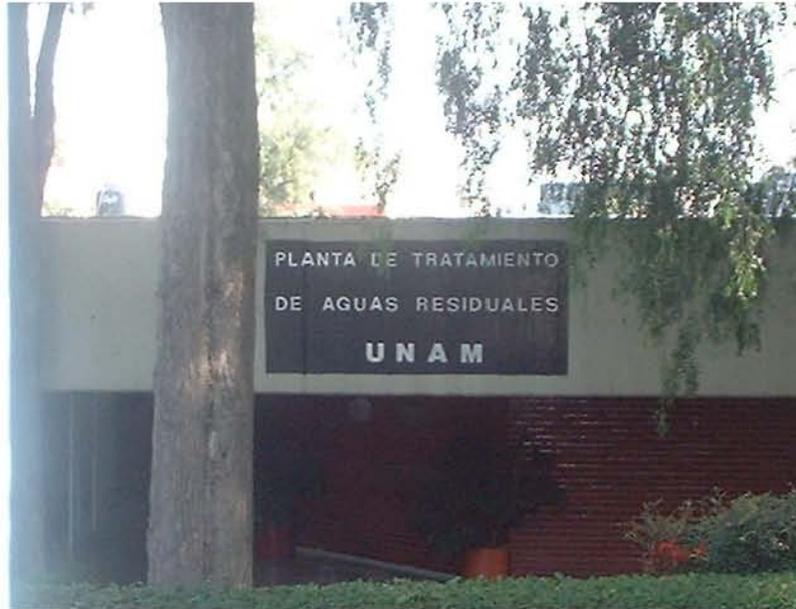


Fig. 2 Fachada principal de la PTARCU.

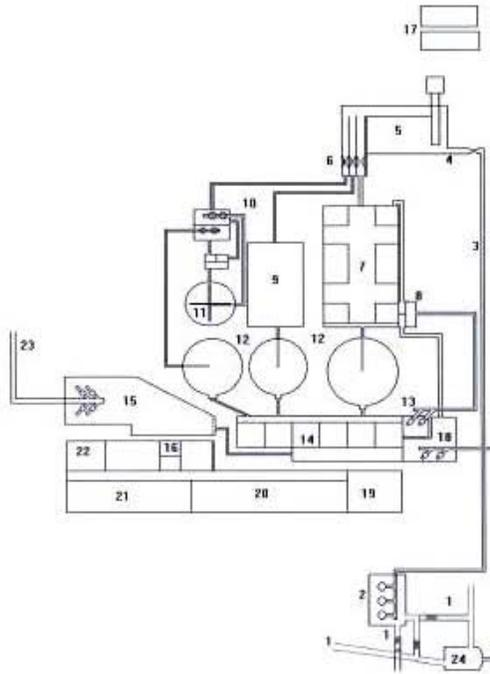


Fig. 3 Sistemas de tratamiento de la PTARCU, num 1



Fig. 4 Sistemas de tratamiento de la PTARCU, num 2

DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CIUDAD UNIVERSITARIA



1. Colectores (3), 2. Cárcamo de bombeo de agua cruda, 3. Tubería de alimentación, 4. Canal de entrada, 5. Tanque desarenador, 6. Medidores Parshall (3), 7. Tanque de aeración, 8. Caja partidora, 9. Discos biológicos rotatorios, 10. Cárcamo de bombeo, 11. Filtro biológico, 12. Sedimentadores secundarios (3), 13. Cárcamo de lodos, 14. Filtros de arena (6), 15. Tanque de contacto de cloro, 16. Dosificador de cloro, 17. Tanque de gas cloro, 18. Cárcamo de aguas de lavado y pluviales, 19. Cuarto de control, 20. Laboratorios, 21. Oficinas, 22. Subestación eléctrica, 23. Tubería de alimentación a cisternas, 24. Drenaje municipal.

Fig. 5 Descripción general de la PTARCU

2.3 Indicadores Bacteriológicos de contaminación fecal

Dentro de los microorganismos se encuentran las bacterias que juegan un papel importante en el medio acuático ya que algunas de ellas forman parte de la flora autóctona y otras pueden encontrarse como contaminantes (Volk, 1996)

Entre las bacterias que se encuentran en las aguas residuales se encuentran *Salmonella spp.*, *Shigella spp.*, *Vibrio cholerae*, *Campilobacter sp.*, *Escherichia coli*, *Leptospira sp* y *Yersinia sp* (Divo, 1990), siendo quizás las más comunes las tres primeras (Volk, 1996)

Dado que el número de organismos patógenos presentes en las aguas residuales y aguas contaminadas son pocos y difíciles de aislar, se han buscado bacterias o grupos de bacterias que puedan utilizarse como indicadores de la presencia de las bacterias patógenas, esto es, indicadores de contaminación fecal. (Gloyna, 1973; SARH, 1984; ASTM, 1992; Robles, 1994)

Los indicadores bacteriológicos de contaminación son organismos cuya presencia indica que ha ocurrido contaminación reciente del agua por organismos procedentes de los desechos de animales de sangre caliente, incluyendo al hombre (SARH, 1984; Robles, 1994)

Para que una bacteria o grupo de bacterias pueda considerarse como indicador, debe reunir las características siguientes:

1. Debe estar presente siempre que estén los patógenos
2. Su densidad debe estar asociada con la contaminación fecal
3. Debe sobrevivir en el agua más tiempo que los patógenos, pero su desaparición debe ser inmediatamente posterior a la de aquellos
4. No debe multiplicarse en el agua
5. Debe estar ausente en aguas bacteriológicamente potables
6. No debe ser patógena para el hombre ni animales domésticos
7. Las técnicas para su análisis deben ser sencillas, rápidas, aplicables en cualquier tipo de agua, y no deben presentarse interferencias con otras bacterias.

El grupo coliforme es uno de los grupos que más se acerca a un indicador ideal debido a que es habitante común en el tracto intestinal tanto de los humanos como de los animales de sangre caliente ya que existen ahí en gran número (Brock, 1978). La mayoría de los organismos coliformes no son dañinos

al hombre y, de hecho, son útiles para destruir la materia orgánica en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales (SARH, 1984).

Las heces de una persona "normal" contiene bacterias entéricas en una concentración aproximada de 10^{11} bacterias por gramo, lo que puede constituir hasta la tercera parte de su masa; de ellas aproximadamente 10^8 están representadas por *Escherichia coli* (Rosas *et al*, 1994). La presencia de estos organismos coliformes se interpreta como una indicación de que los organismos patógenos también pueden estar presentes y su ausencia indica que el agua está exenta de organismos productores de enfermedades (SARH, 1984)

Los grupos indicadores de la calidad bacteriológica del agua que se usan en pruebas de rutina son:

- Coliformes totales (CT)
- Coliformes fecales (CF)
- Streptococos fecales (EF) (ASTM, 1992).

Coliformes totales (CT)

Este grupo comprende tanto los coliformes fecales como los no fecales, son bacilos cortos, aerobios y anaerobios facultativos, gram-negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de acidez y gas, en 24-48 horas a 35°C. Los géneros comprendidos son: *Escherichia*, *Klebsiella* y *Enterobacter* (ASTM, 1992; Gloyna, 1973; Brock, 1978)

Coliformes Fecales (CF)

Son bacilos cortos, gram-negativos, aerobios y anaerobios facultativos, no esporulados, que fermentan la lactosa con producción de acidez y gas en 24-

48 horas a 35 y a 44.5°C (ASTM, 1992). La contaminación fecal se establece por medio del hallazgo de un microorganismo que solamente se encuentra en el excremento, nunca en forma libre en la naturaleza, este organismo es *Escherichia coli* (Volk, 1996)

Puesto que *E. coli* está presente en grandes cantidades en las heces fecales del hombre y de algunos animales de sangre caliente, es considerado un indicador fiable de contaminación fecal reciente en el agua (P.I.S.Ch., 2002)

Estos indicadores se aplican principalmente en el control de calidad del agua destinada a usos domésticos y sanitarios. También se emplean frecuentemente en las aguas canalizadas.

El control bacteriológico de la calidad Higiénico-sanitaria del agua se realiza mediante:

- Investigación de Bacterias Patógenas.
- Determinación de Bacterias de Origen Fecal.
- Determinación de Bacterias Exógenas.

El número de bacterias patógenas para el hombre y para los animales presentes en el agua es muy reducido y difícil de determinar. Por ello y dado que la mayoría de dichos gérmenes patógenos viven en el intestino del hombre y de los animales de sangre caliente, la detección de una contaminación fecal constituye una excelente señal de alarma (Seoanes, et. al., 1999).

2.4 Parámetros Físicoquímicos

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).** Expresa la cantidad de oxígeno (O₂) que requieren los microorganismos, para degradar la materia orgánica. Este parámetro permite apreciar la carga del agua en materias

putrescibles y su poder autodepurador y de ello se puede deducir la carga máxima aceptable (Seoanes y Gutiérrez, 1999).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO).** Esta medida, nos presenta una estimación de las materias oxidables presentes en el agua, al margen de todo proceso biológico, cualquiera que sea su origen orgánico o mineral (Hierro ferroso, Nitritos, Amoniacos, Sulfuros y Cloruros). Es función de las características de los compuestos presentes, de sus proporciones respectivas y de las posibilidades de oxidación (Seoanes y Gutiérrez, 1999).

- **Oxígeno Disuelto (OD).** La baja solubilidad del oxígeno en el agua es el factor principal que limita la capacidad de auto purificación de las aguas naturales. La presencia de oxígeno disuelto previene o reduce el inicio de putrefacción y la producción de cantidades objetables de sulfuros, mercaptanos y otros compuestos de mal olor, ya que los microorganismos lo usan para la oxidación de la materia orgánica e inorgánica. Concentraciones bajas se asocian a mala calidad de agua, mientras que las altas con buena (Robles *et al.*, 2004).

- **Sólidos Suspendidos (SST).** Impiden que la luz llegue hasta los microorganismos fotosintéticos, lo que reduce la producción de oxígeno. En grandes cantidades, aumenta la viscosidad efectiva del agua y perjudican el flujo de la corriente, reduciendo así la transferencia de oxígeno (Robles, *et al.*, 2004).

- **Nitrógeno como Nitratos (NO₃).** La toxicidad de los nitratos en los humanos se debe a la reducción de éstos en nitritos. Esta reacción toma lugar en la saliva de los humanos de todas las edades y en el tracto gastrointestinal de los infantes durante los 3 primeros meses de vida, y su toxicidad es demostrada por su efecto vasodilatador en el sistema cardiovascular (Robles *et al.*, 2004).

- **Nitrógeno como Nitritos (NO₂).** Cuando el agua usada para preparar alimentos contiene Nitritos se corre el riesgo de que se puedan formar sustancias carcinogénicas llamadas Nitrosamidas, por combinación con los compuestos de nitrógeno orgánico, que se forman a su vez por la descomposición de las proteínas presentes en los alimentos (Robles *et al.*, 2004).
- **Fósforo como Fosfatos (P).** La presencia de fosfatos en el agua, baja la eficiencia de los procesos de coagulación de tratamiento de aguas. Influye en los procesos de productividad acuática, puede causar fenómenos de eutrofización, lo que puede causar problemas de mal olor y sabor (Robles *et al.*, 2004).
- **Potencial de Hidrógeno (pH).** Los valores extremos del pH son letales o severamente inhibitorios para los organismos vivos y se pueden considerar como un envenenamiento por iones de hidrógeno o hidroxilo (Robles *et al.*, 2004).

2.5 Antecedentes

Ávila en 1987 evaluó y optimizó el sistema de filtro percolador de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria, y concluyó que para alcanzar concentraciones menores de 30mg/ L de DBO₅ en el efluente, el equipo no funcionaba adecuadamente, pero para concentraciones arriba de 50 mg/L el equipo muestra el perfil definido y amortigua las fluctuaciones de hasta 350 mg/L de DBO₅. Por otra parte menciona que a concentraciones altas de sustrato; se observa una remoción pronunciada en la parte media superior del equipo; mientras que a concentraciones bajas de sustrato la remoción es menor.

Parker en el año de 1997 realizó un estudio en la universidad de Carleton en Ottawa Canadá, en el que, trataba de identificar los rangos de biodegradación y volatilización en un filtro percolador, mediante un modelo predictivo, para determinar el momento más sensible de remoción; encontrando variaciones en los rangos de sensibilidad entre el proceso líquido y gaseoso.

Zsogi *et al.* 1997, del Departamento de Ingeniería Biológica y Agricultura, de la Universidad de Carolina del Norte, USA. Utilizaron un filtro percolador, al que se le adicionó 300 Kg. de carbonato para acelerar los procesos de nitrificación, fosforilación y remover la materia orgánica de un lago contaminado. Ellos obtuvieron muy buenos resultados en todos los parámetros analizados.

En el departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad del Estado de Louisiana, USA. Lin *et al.* (2000) realizaron un estudio que tenía como objetivo optimizar el tratamiento del agua de desecho en una planta de la comunidad de Baton Rouge, mediante un sistema de recirculación de un filtro percolador, el cual arrojó resultados positivos en la calidad del efluente y no se observó ningún impacto adverso hasta la fecha.

Vanhooren *et al.*, (2000), de la Universidad de Gent, en Bélgica, realizaron un monitoreo en un filtro percolador industrial, utilizando una línea de gas secundaria para el análisis con respirometría de la cantidad biodegradable de COD_{st} y de la cantidad de O₂ y CO₂ contenida en la línea, lo cual arrojó como resultado que de este modo no siempre el sistema estaba limitado en O₂ y que para calibrar el sistema se necesitan muy bajos niveles de difusión.

También en el año 2000 Schleheck *et al.*, probaron una α -proteobacteria transformadora del surfactante Alquilbenzensulfonato lineal (LAS; 0.5 mM), y un monoalquildifenileterdisulfonato (LADPEDS; 0.5 mM), que en medios salinos era fácilmente degradado en un filtro percolador en condiciones de laboratorio.

El producto final en el LAS fue exactamente igual al obtenido en el filtro percolador, sin embargo algunas cajas de cultivo que contenían LADPEDS-salinos, solidificaron con Agarosa y tuvieron que re-cultivarse individualmente en algunos medios selectivos y así aislar la bacteria Ds-1 que mostró 93% de homología con la α -proteobacteria transformadora.

En el 2002 Mijaylova *et al.* En el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) realizaron un tratamiento avanzado de aguas residuales y evaluaron su reutilización para uso primario, en el que utilizaron 3 sistemas biológicos (lodos activados, biodiscos y filtros percoladores) entre los que destaca el sistema de filtro percolador, encontrando que La combinación de todos los procesos biológicos con los tratamientos avanzados permite obtener agua apta para reúso potable indirecto (apta para recargar acuíferos a partir de efluentes secundarios).

Van den Akker *et al.* (2003), de la Universidad de Flinders Adelaide, del sur de Australia, realizaron un estudio piloto sobre la remoción de amonio en agua para consumo, utilizando un filtro percolador nitrificante, obteniendo resultados de remoción superiores al 90%, por lo que se plantea la posibilidad de utilizar este sistema en lugar de la utilización de manganeso.

Ponniah *et al.*, en el 2003, investigaron la relación existente entre las comunidades de enterobacterias y el procesamiento del agua residual, mediante el método de microcopia de epifluorescencia, para la caracterización del perfil de proteínas presentes en una célula en agua residual. En el que encontraron 2 proteínas relacionadas al crecimiento de las enterobacterias en agua residual, mismas que variaban según fuera el tratamiento que se le diera al agua.

Huub H. J *et al.*, del departamento de Ingeniería Ambiental de la Universidad de California, USA, en el 2003 realizaron un estudio, en el que utilizaron un

proceso químico de retrolavado para la remoción de H_2S , amonio y compuestos orgánicos volátiles, utilizando previamente un filtro percolador, lo que aceleró el proceso y arrojó buenos resultados, en el control de olores y demás desechos, que utilizando solo los procesos químicos.

Ramírez *et al.*, de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, Distrito Federal, en el 2006 realizaron un estudio en Chilpancingo, Guerrero donde diseñaron un sistema de tratamiento con filtros percoladores para las aguas residuales de ese municipio, así como una solución viable desde el punto de vista técnico y económico, logrando del 72 y 80% en la remoción de DBO_5 y SST respectivamente.

3. JUSTIFICACION

La escasez de agua que enfrenta la humanidad, ha provocado que se busquen alternativas para solucionar el gran desabasto de este líquido. Una de las posibles soluciones es el reúso del agua residual previamente tratada. (Jiménez, 2002).

Entre los sistemas tradicionales, utilizados para el tratamiento del agua residual, se encuentran los Lodos Activados, Biodiscos y Filtros percoladores, que basan su funcionamiento en la acción de microorganismos que degradan la materia orgánica que se encuentra contaminando el agua (Ramírez, 1998; Jiménez, 2002; Alarid, 2007).

Por otro lado tenemos que la UNAM, cuenta con aproximadamente 220,000 estudiantes, en donde alrededor del 80% asisten a las instalaciones de Ciudad Universitaria, misma que demanda 160 litros por segundo (L/s) de agua potable y genera aproximadamente 110 litros por segundo de aguas residuales. 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 CU (PTARCU), (Noyola y Morgan-Sagastume, 2004).

Ante este panorama, resulta importante conocer si los sistemas biológicos, en este caso el Filtro Rociador o Percolador, es capaz de remover los contaminantes del agua residual que se genera en CU en forma eficiente y en que porcentajes.

4. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL.

Evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes y materia orgánica, Coliformes totales y Coliformes fecales del sistema de filtro percolador de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria (PTARCU).

OBJETIVOS PARTICULARES.

- Realizar muestreos mensuales durante los años 2004 y 2005 en la planta de tratamiento de aguas residuales de CU, tomando muestras en el influente y efluente del sistema de Filtro Percolador.
- Determinar en la PTARCU los parámetros: pH, Temperatura, y Óxígeno Disuelto en cada uno de los muestreos mensuales.
- Determinar en el laboratorio los parámetros fisicoquímicos: DBO₅, DQO, Nitrógeno Amoniacal, Nitratos, Nitritos, Fosfatos Totales, Ortofosfatos, Sólidos sedimentables, Solidos Suspendidos Totales en cada una de los muestreos mensuales.
- Determinar los indicadores bacteriológicos de contaminación: Coliformes totales y Coliformes fecales en cada una de los muestreos mensuales.
- Establecer los porcentajes de remoción de contaminantes para cada uno de los parámetros analizados.
- Comparar los resultados de remoción en los años 2004 y 2005 con la NOM-003-ECOL-1997.

5. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO.

La PTARCU está ubicada en la parte mas baja de Ciudad Universitaria, al noroeste del *campus*, en la esquina que forman la Avenida Cerro de Agua y el Circuito Escolar, frente a la facultad de Medicina y abastece de agua residual tratada, doce cisternas que están distribuidas en el *campus* universitario.

El sistema de filtro percolador, está diseñado para tratar 10 l/s de agua residual, presenta una eficiencia estimada de entre 70 y 85% de remoción de la materia orgánica. Consta de dos cárcamos de bombeo, torre percoladora, caja partidora y sedimentadora (Figuras 6-8), (Dirección General de Obras y Conservación, 2007).

El agua residual llega al cárcamo de alimentación y de ahí al filtro y se bombea hacia un rociador instalado en la parte superior del biofiltro, el cual se encuentra empacado de un material plástico y sobre la superficie de este se encuentran adheridos los microorganismos. El agua se escurre sobre la superficie del empaque y se pone en contacto con los microorganismos, de tal forma que al escurrirse hasta la parte inferior, los microorganismos ya degradaron la materia orgánica (Dirección General de Obras y Conservación, 2007).



Fig. 6 Sistema de filtro rociador (percolador) de la PTARCU.



Fig. 7 Sistema de rocío del filtro percolador.



Fig. 8 Torre percoladora del Filtro Rociador.

6. MATERIALES Y METODOS

Se realizaron 24 muestreos en la planta de tratamiento de Ciudad Universitaria de la UNAM, durante los meses de enero de 2004 a diciembre de 2005. Se colectaron muestras del agua residual en el Influyente y el Efluente del sistema de Filtro Percolador, antes de que se le sometiera al agua el proceso de cloración.

Mensualmente con excepción de los meses de enero de 2004 y julio, agosto, septiembre y diciembre de 2005, se determinaron "in situ" oxígeno disuelto, pH y Temperatura, y se tomaron muestras para los análisis bacteriológicos en bolsas estériles de 250 ml y fisicoquímicos en envases de plástico de distintas capacidades. Para posteriormente ser trasladadas en refrigeración al laboratorio de Calidad del Agua de la FES- Iztacala, UNAM.

Los parámetros fisicoquímicos a evaluar se determinaron con las siguientes técnicas (APHA *et al.*, 1998).

PARÁMETRO	TÉCNICA
pH	Potenciómetro
Temperatura	Termómetro
Oxígeno disuelto	Winkler
DBO ₅	Dilución
DQO	Reflujo Abierto
Nitrógeno Amoniacal	Destilación Kjeldahl
Nitratos	Brucina
Nitritos	Diazotización
Sólidos suspendidos	Gravimétrica
Sólidos sedimentables	Cono Imhoff
Conductividad	Conductímetro
Fosfatos Totales	Cloruro estanoso
Ortofosfatos	Hidrólisis

Para la determinación de los Coliformes totales y Coliformes fecales se utilizó la técnica del NMP (Número más probable) (APHA *et al.*, 1998).

Con los resultados obtenidos se calcularon la media, desv. estándar, valor mínimo y valor máximo y se calculò el porcentaje de remoción de cada parámetro y para cada año.

Posteriormente y para hacer una comparación de los resultados entre los años 2004 y 2005, se sometió a un tratamiento Estadístico de Correlación Simple (Correlación de Pearson), tanto a los porcentajes de remoción anuales así como a los parámetros analizados.

Se empleó el modelo de correlación lineal simple (ρ), por que este método nos presenta una medida de la correlación o relación lineal entre dos variables que existe en una población bivariante. Puede asumir valores entre -1 y +1. Si la relación entre dos variables es perfectamente lineal e inversa, $\rho = -1$ y si la relación entre dos variables es perfectamente lineal y directa $\rho = +1$. En cambio cuando dos variables no están correlacionadas $\rho = 0$ (Daniel, 1984).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 PRIMERA PARTE

Resultados del influente y efluente del sistema de filtro percolador durante el 2004

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos determinados en el campo durante el año 2004 se presentan en las tablas 1 y 2. Mismos que nos indican que en el influente, el pH tuvo un intervalo de entre 8.09 y 10.27 en tanto que la temperatura se encontró entre los 16 y 20°C, por su parte el oxígeno disuelto tuvo valores de entre 1 y 2.2 mg/L

En el efluente, el pH presento valores de entre 7.69 y 9.84, la temperatura oscilo entre los 15.1 y 19°C, en tanto que el oxígeno disuelto, se encontró entre 0.6 y 7.48 mg/L

Estos resultados, son característicos de aguas residuales, por ejemplo el pH es básico en el influente y en el efluente pero tendiendo hacia la neutralidad en este ultimo, la temperatura tuvo una ligera disminución al pasar por el sistema, en cambio el oxígeno disuelto aumenta en algunos meses, pero eso es favorable para los microorganismos que degradan la materia orgánica.

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del periodo 2004, se presentan en las tablas 3 y 4. Con ellos se calculó la media, media geométrica para los coliformes totales y fecales, desviación estándar, valor mínimo y valor máximo (Tablas 5 y 6).

De acuerdo con las tablas 5 y 6, los coliformes totales presentaron una media geométrica de $7.9E^{20}$ NMP/100ml en el influente, con un valor mínimo de $1.8E^{19}$ y un valor máximo de $5.4E^{22}$. Y los coliformes fecales de

5.6E²⁰ NMP/100ml como media geométrica, además 3.3E¹⁸ y 5.4E²² para los valores mínimos y máximos.

En el efluente la media geométrica para los coliformes totales fue de 5.6E¹⁴ NMP/100ml, con un valor mínimo de 9.2E⁹ y un máximo de 2.4E¹⁹. Para los coliformes fecales, su media geométrica fue de 2.9E¹⁴ NMP/100ml y sus valores mínimos y máximos de 2.8E⁰⁹ y 2.4E¹⁸ respectivamente.

En el sistema de filtro percolador durante el 2004, tanto los coliformes totales como fecales, presentaron una remoción de 6 escalas logarítmicas en promedio. La remoción en las Coliformes totales fue de 29.86% en tanto que el de Coliformes fecales fue de 29.82 % aproximadamente (Tabla 9). Estos resultados a pesar de ser considerados bajos, muestran un buen funcionamiento del sistema, si se toma en cuenta la elevada remoción que presento, misma que es muy similar a lo reportado por Mijaylova *et al.* en el año 2002, quienes obtuvieron porcentajes de remoción en estos parámetros de 32.8 y 32% aproximadamente.

En el influente, la DBO₅ mostró un valor promedio de 215.45 mg/L así como valores mínimos y máximos de 315 y 111.16 mg/L respectivamente. Por otro lado la DQO presento valores promedio, mínimo y máximo de 467.18, 666.5 y 247 mg/L respectivamente.

Estos parámetros, en el efluente presentaron valores promedio de 36.19 y 136.05 mg/L para DBO₅ y DQO respectivamente, así como valores mínimos y máximos de 11.41 y 69.5 mg/L para DBO₅ y de 39 y 416 mg/L para DQO.

En cuanto a los promedios de sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables y conductividad en el influente, estos fueron de 139.18 mg/L para sólidos suspendidos totales, 4.51 mg/L para sólidos sedimentables y de 1172.63 μ siems/cm en la conductividad. Así mismo, se obtuvieron valores mínimos y máximos de 94 y 240 mg/L en sólidos suspendidos totales, 0 y 40 mg/L en los sólidos sedimentables y de 889 y 1529 en la conductividad.

Los promedios en el efluente de sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables y conductividad fueron de 18.88 mg/L, 0.004 mg/L y 824.72 μ siems/cm respectivamente. Mismos que presentaron valores mínimos y máximos de, 12 y 42 mg/L en los sólidos suspendidos totales, 0 y 0.01 en los sólidos sedimentables y 553 y 1281 μ siems/cm en la conductividad.

Los valores presentes en el influente durante el 2004 son valores característicos de agua residual "cruda" con una elevada carga de materia orgánica y de bacterias. Mientras que los valores obtenidos en el efluente del sistema de filtros percoladores son característicos de un agua residual tratada aunque con valores todavía altos que se encuentran por arriba de los límites máximos establecidos en la NOM 03 (tabla 21).

Tanto la DBO₅, la DQO y los SST presentan valores promedio característicos del agua residual de tipo domestico, tanto en el influente como en efluente, siendo solo un poco elevados para DQO en enero y febrero, sin embargo estos tres parámetros alcanzan remociones promedio o mas elevados que los que se estiman para un sistema similar a este que es de entre 60 a 80%, por lo que en este caso la remoción de estos parámetros se considera como muy buena.

Mijailova *et al.* (2002), establecen en su estudio que en el filtro percolador se registraron remociones aproximadas de 70-82% en los sólidos suspendidos totales y turbiedad, así como de entre 30-40% de demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno. Estos resultados también son similares a los obtenidos en la planta de tratamiento de CU, salvo que los porcentajes de remoción reportados en este estudio son un poco más elevados, En sólidos suspendidos totales, se obtuvo una remoción de 86.43%, en tanto que la DBO₅, presenta un porcentaje de remoción de 83.20 % y la DQO 70.87%.

Ramírez *et al.* en el 2006 en un estudio realizado por la UAM-Azcapotzalco en una planta de tratamiento de Chilpancingo Guerrero, reportan porcentajes de remoción promedio de 72-80% para DBO y SST en un sistema de filtro percolador.

El nitrógeno amoniacal, presento un valor promedio de 42.37 mg/L N-NH₃, los ortofosfatos de 4.76 mg/L, los fosfatos totales de 9.10 mg/L, los Nitratos de 0.786 mg/L y los Nitritos de 0.395 mg/L en el influente del sistema. Estos mismos parámetros, en este mismo punto mostraron valores máximos y mínimos de 72.02 y de 21.5 mg/L N-NH₃ para nitrógeno amoniacal, 6.49 y 1.74 mg/L para ortofosfatos, 20.58 y 4.76 mg/L para fosfatos totales, 1.94 y 0.001 mg/L para nitratos y 1.02 y 0.02 mg/L en los nitritos.

El promedio en el efluente de nitrógeno amoniacal fue de 25.68 mg/L N-NH₃, 2.96 mg/L para ortofosfatos, 4.14 mg/L en fosfatos totales, 0.597 mg/L en nitratos y 0.385 mg/L para nitritos. A su vez los valores mínimos y máximos en cada uno de estos parámetros fueron de, 7.41 y 61.7 mg/L N-NH₃ para nitrógeno amoniacal, 0.4 y 5.22 mg/L para ortofosfatos, 1.03 y 8.51 mg/L para fosfatos totales, 0.001 y 2.1 mg/L para nitratos y 0.029 y 0.78 mg/L para nitritos.

Por su parte el nitrógeno amoniacal, mostró un porcentaje de remoción de 39.38%, los nitratos de 24.03% y los nitritos de 2.53%. Resultados que también coinciden con lo reportado por Mijailova *et al.*, en el que el nitrógeno amoniacal presentó remociones apenas superiores al 20%, en tanto que el nitrógeno total de tan solo 5 o 7% aproximadamente, esto debido a procesos naturales de nitrificación y desnitrificación, que se volatiliza a la atmósfera y que originan la transformación de nitrógeno amoniacal en nitratos y posteriormente en nitritos, proceso que en el filtro percolador es auxiliado por algunas bacterias autótrofas, las cuales requieren de oxigenación constante y niveles bajos de carbón orgánico, así como de un pH básico.

En lo que respecta a los ortofosfatos y fosfatos totales los porcentajes de remoción fueron de 37.74 y 52.42% respectivamente, coincidiendo este ultimo con lo reportado por Zsogi, et al, en 1997 en su estudio de tratamiento de agua fangosa con un sistema de filtración media (precolación), en el que reportan porcentajes de remoción de entre el 37 y 52% en el sistema de filtro percolador.

En este caso, contrario al nitrógeno, el fósforo en forma de fosfatos y de ortofosfatos, no puede ser degradado en la atmósfera y permanece en forma de solución aunado a la materia sólida suspendida en el agua residual. De este modo el tratamiento de estos parámetros y su buena remoción, se debe a la adecuada absorción y precipitación de sólidos del sustrato del filtro percolador.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos de campo en el influente durante el, 2004

Influente 2004	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Julio	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
pH	10.27	8.61	8.27	8.09	7.99	8.62	8.61	9.01	9.38	8.25	8.4
Temperatura (°C)	16	18	19	19	20	19	19	19	19	20	18
Oxígeno Disuelto (mg/L)	1.4	1.0	1.2	1.7	2.2	2.4	1.8	2.0	2.0	0.8	1.2

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos de campo en el efluente durante el, 2004

Efluente 2004	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Julio	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
pH	9.84	7.88	7.7	7.71	7.69	7.63	8.46	8.99	8.81	8.81	8.4
Temperatura (°C)	15.1	18	19	19	19	19	19	19	19	19	18
Oxígeno Disuelto (mg/L)	0.6	0.4	1.6	1.2	1.4	2.5	1.7	0.8	1.2	7.48	0.4

Tabla 3. Parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos del influente durante el 2004

Influente 2004	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Coliformes totales NMP/100ml	180 x 10 ¹⁸	>2400 x 10 ¹⁷	26 x 10 ¹⁹	1600 x 10 ¹⁹	< 2 x 10 ¹⁹	> 2400 x 10 ¹⁷	180 x 10 ¹⁷	220 x 10 ¹⁸	2.4 x 10 ²²	1.7 x 10 ²²	5.4 x 10 ²²
Coliformes fecales NMP/100ml	180 x 10 ¹⁸	>2400 x 10 ¹⁷	26 x 10 ¹⁹	1600 x 10 ¹⁹	< 2 x 10 ¹⁹	> 2400 x 10 ¹⁷	33 x 10 ¹⁷	110 x 10 ¹⁸	2.4 x 10 ²²	4.6 x 10 ²¹	5.4 x 10 ²²
DBO ₅ mg/L	315	160.24	148	293	183.2	146.17	111.16	194.5	297	244.2	222.31
DQO mg/L	656	624	426	336.5	247	330	320	410.6	666.5	553	569.4
Nitrógeno amoniacal mg/L	31.2	56.5	45.36	33.43	21.5	34.26	34.13	37.02	49.12	72.018	51.6
Conductividad μ siems/cm	910	1370	983	1211	889	1001	1055	1079	1509	1529	1363
Sólidos suspendidos totales mg/L	160	240	196	145	94	100	108	104	108	110	166
Sólidos sedimentables ml/L	0	0	2.5	0.01	0.7	0.5	0.9	0.8	3.5	0.8	40
Ortofosfatos mg/L	6.14	6.49	5.93	5.11	1.98	1.74	2.75	5.3	5.52	5.81	5.60
Fosfatos totales mg/L	11.24	20.58	7.83	7.49	4.93	7.39	4.76	6.49	9.15	8.18	12.12
Nitratos mg/L	1.65	0.515	0.02	1.30	0.049	0.9	0.001	0.55	0.641	1.081	1.948
Nitritos mg/L	0.401	0.022	1.02	0.523	0.182	0.387	0.466	0.334	0.507	0.066	0.431

Nota: en el mes de enero no se tomo muestra porque no estaba funcionando el sistema

Tabla 4. Parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos del efluente durante el 2004

Efluente 2004	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Coliformes totales NMP/100ml	920 x 10 ⁷	31 x 10 ⁹	1600 x 10 ¹⁰	2 x 10 ¹²	1600 x 10 ¹²	34 x 10 ¹³	1600 x 10 ¹³	220 x 10 ¹³	2.4 x 10 ¹⁸	1.7 x 10 ¹⁷	2.4 x 10 ¹⁸
Coliformes fecales NMP/100ml	280 x 10 ⁷	26 x 10 ⁹	1600 x 10 ¹⁰	<2 x 10 ¹²	1600 x 10 ¹²	7 x 10 ¹³	1600 x 10 ¹³	63 x 10 ¹³	2.4 x 10 ¹⁸	1 x 10 ¹⁷	2.4 x 10 ¹⁸
DBO ₅ mg/L	31.8	0	36.49	39.53	31.11	11.41	30.88	21.62	69.5	40.18	49.4
DQO mg/L	86.94	416	39	60.89	82.78	43.58	80.59	124.9	266.6	113.27	182
Nitrógeno amoniacal mg/L	15.2	28.20	14.58	13.68	12.79	7.41	27.60	45.9	61.7	21.28	34.22
Conductividad μ siems/cm	566	850	553	859	591	570	828	987	1281	936	1051
Sólidos suspendidos totales mg/L	14	28	16.5	14.25	12	12	23	20	14	12	42
Sólidos sedimentables ml/L	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.1	0	0	0
Ortofosfatos mg/L	3.15	3.38	1.83	2.88	0.426	0.400	1.85	3.37	5.22	5.03	5.07
Fosfatos totales mg/L	4.63	8.51	2.64	2.98	1.033	1.033	2.61	3.49	6.29	5.14	7.29
Nitratos mg/L	0.28	0.13	0.5	1.38	0.594	2.1	0.001	0.23	0.181	1.061	0.118
Nitritos mg/L	0.492	0.044	0.78	0.399	0.237	0.626	0.470	0.450	0.4567	0.254	0.029

Nota: en el mes de enero no se tomo muestra porque no estaba funcionando el sistema

Tabla 5. Valores estadísticos de los parámetros fisicoquímicos del influente durante el 2004

Influente Filtro Percolador 2004	Media	Valor máximo	Valor mínimo	Desviación estándar.
Coliformes totales NMP/100ml	(media geométrica) 7.90442E+20	5.4E+22	1.8E+19	1.70096E+22
Coliformes fecales NMP/100ml	(media geométrica) 5.64829E+20	5.4E+22	3.3E+18	1.6931E+22
DBO ₅ mg/L	215.45	315	111.1	70.83
DQO mg/L	467.18	666.5	247	151.2
Nitrógeno amoniacal mg/L	42.37	72.02	21.5	14.21
Conductividad μ siems/cm	1172.6	1529	889	235.42
Sólidos suspendidos totales mg/L	139.18	240	94	47.10
Sólidos sedimentables ml/L	4.52	40	0	11.81
Ortofosfatos mg/L	4.76	6.49	1.74	1.73
Fosfatos totales mg/L	9.10	20.58	4.76	4.43
Nitratos mg/L	0.787	1.94	0.001	0.66
Nitritos mg/L	0.395	1.02	0.022	0.268

Tabla 6. Valores estadísticos de los parámetros fisicoquímicos del efluente durante el 2004

Efluente Filtro Percolador 2004	Media	Valor máximo	Valor mínimo	Desviación estándar.
Coliformes totales NMP/100ml	(media geométrica) 5.6038E+14	2.4E+19	9200000000	7.19384E+18
Coliformes fecales NMP/100ml	(media geométrica) 2.95763E+14	2.40E+18	2.80E+09	9.6598E+17
DBO ₅ mg/L	36.19	69.5	11.41	15.67
DQO mg/L	136.05	416	39	114
Nitrógeno amoniacal mg/L	25.68	61.7	7.41	15.62
Conductividad μ siems/cm	824.7	1281	553	236.6
Sólidos suspendidos totales mg/L	18.88	42	12	9.23
Sólidos sedimentables ml/L	0.005	0.01	0	0.005
Ortofosfatos mg/L	2.96	5.22	0.4	1.72
Fosfatos totales mg/L	4.14	8.51	1.033	2.46
Nitratos mg/L	0.597	2.1	0.001	0.656
Nitritos mg/L	0.385	0.78	0.029	0.229

Tabla 7. Logaritmos de los parámetros bacteriológicos del influente durante el 2004

Influente Filtro 2004	02-Feb	01-Mar	13-Abr	11-May	09-Jun	28-Jun	10-Ago	14-Sep	05-Oct	03-Nov	29-Dic
Coliformes totales NMP/100ml	20.2552	20.3802	20.4149	22.2041	19.301	20.3802	19.2552	20.3424	22.3802	22.2304	22.7323
Coliformes fecales NMP/100ml	20.2552	20.3802	20.4149	22.2041	19.301	20.3802	18.5185	20.0413	22.3802	21.6627	22.7323

Tabla 8. Logaritmos de los parámetros bacteriológicos del efluente durante el 2004

Efluente Filtro 2004	02-Feb	01-Mar	13-Abr	11-May	09-Jun	28-Jun	10-Ago	14-Sep	05-Oct	03-Nov	29-Dic
Coliformes totales en log	9.9637	10.4913	13.2041	12.301	15.2041	14.5314	16.2041	15.3424	18.3802	17.2304	18.3802
Coliformes fecales en log.	9.4471	11.4149	13.2041	12.301	15.2041	13.845	16.2041	14.7993	18.3802	17	18.3802

Tabla 9. Porcentajes de remoción durante 2004

Filtro Percolador 2004	Σ Influyente	Σ Efluente	Media de Influyente	Media de Efluente	Diferencia, meses	% Remoción
pH	95.5	91.92	8.68	8.35	0.33	3.8%
Oxígeno Disuelto mg/L	17.7	19.28	1.6	1.75	-0.15	9.37%
Coliformes totales en log	229.8	161.2	20.89	14.65	6.24	29.86%
Coliformes fecales en log	228.2	160.1	20.75	14.56	6.19	29.82%
DBO ₅ mg/L	2154	361.9	215.4	36.19	179.2	83.20%
DQO mg/L	5139	1496	467.1	136.0	331.1	70.87%
Nitrógeno amoniacal mg/L	466.1	282.5	42.37	25.68	16.68	39.38%
Conductividad μ siems/cm	12899	9072	1172	824.7	347.9	29.66%
Sólidos suspendidos totales mg/L	1531	207.7	139.1	18.88	120.4	86.43%
Sólidos sedimentables ml/L	49.71	0.05	4.51	0.004	4.51	99.90%
Ortofosfatos mg/L	52.37	32.60	4.76	2.96	1.79	37.74%
Fosfatos totales mg/L	100.1	45.64	9.10	4.14	4.95	54.42%
Nitratos mg/L	8.65	6.57	0.786	0.597	0.189	24.03%
Nitritos mg/L	4.34	4.23	0.395	0.385	0.001	2.53%

7.2 SEGUNDA PARTE

Resultados del influente y efluente del sistema de filtro percolador durante el 2005

En los meses de junio, agosto, septiembre y diciembre no se tomaron muestras por que el sistema no se encontraba funcionando.

Los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del periodo 2005 se presentan en las tablas 12 y 13. Con ellos se calculó la media para todos los fisicoquímicos y la media geométrica para los coliformes totales y fecales, desviación estándar, valor mínimo y valor máximo (Tablas 14 y 15).

En las tablas 10 y 11 se presentan los resultados de los parámetros analizados en el campo, que nos indican que en el influente, el pH tuvo un intervalo de entre 8.02 y 10.6 en tanto que la temperatura se encontró entre los 17 y 20°C, por su parte el oxígeno disuelto tuvo valores de entre 1.0 y 1.8 mg/L

En el efluente, el pH presento valores de entre 7.35 y 9.46, la temperatura oscilo nuevamente entre los 17 y 20°C, en tanto que el oxígeno disuelto, se encontró entre 0.2 y 2.0 mg/L

Estos resultados, al igual que en el 2004 son característicos de aguas residuales, de tipo domesticas, por ejemplo el pH es básico en el influente y en el efluente pero tendiendo hacia la neutralidad en este ultimo, la temperatura en este caso tuvo ligeras variaciones en solo algunos meses y el oxígeno disuelto aumento solo en los meses de enero y julio, probablemente a que en este año el sistema presento diversas fallas en su funcionamiento.

De igual forma que en el 2004, para calcular los porcentajes de remoción los datos de las bacterias coliformes totales y fecales obtenidas en el 2005 se

convirtieron en logaritmos y con éstos se calculó la media y a su vez el porcentaje de remoción (Tablas 16 y 17).

De acuerdo con las tablas 14 y 15, los coliformes totales presentaron una media geométrica de $8.73E^9$ NMP/100 ml en el influente, con un valor mínimo de $8.738E^9$ y un valor máximo de $2.4E^{24}$. Los coliformes fecales de $3.494E^8$ NMP/100 ml como media geométrica, además $1.7E^4$ y $2.4E^{24}$ para los valores mínimos y máximos.

En el efluente la media geométrica para los coliformes totales fue de $1.96E^8$ NMP/100 ml, con un valor mínimo de $5.00E^4$ y un máximo de $2.4E^{20}$. Para los coliformes fecales, su media geométrica fue de $6.133E^6$ NMP/100 ml y sus valores mínimos y máximos de $1.70E^3$ y $2.40E^{20}$ respectivamente.

En el sistema de filtro percolador durante el 2005, las coliformes totales presentaron una remoción de solo una escala logarítmica, en tanto que las coliformes fecales, presentaron una remoción de 2 escalas. En esta ocasión, en la tabla 18 se puede apreciar que la remoción bacteriana en las Coliformes totales disminuyó un 16.58% en tanto que el número de Coliformes fecales lo hizo en un 20.54% aproximadamente. Estos resultados, si pueden ser considerados bajos, ya que no coinciden con lo reportado en el 2004, al estar muy por debajo del promedio de ese año, ni por Mijaylova *et al.*, en el año 2002, en el que obtuvieron porcentajes de remoción del 32.8 y 32%,18.

Para los parámetros fisicoquímicos se utilizó la media aritmética para calcular el porcentaje de remoción (Tablas 14 y 15).

En el influente, la DBO_5 mostró un valor promedio de 237.6 mg/L así como valores mínimos y máximos de 213 y 248.1 mg/L respectivamente. Por otro lado la DQO presentó valores promedio, mínimo y máximo de 551.66, 437.4 y 636.44 mg/L respectivamente (Tabla 12).

Estos parámetros, en el efluente presentaron valores promedio de 60.19 y 142.2 mg/L para DBO₅ y DQO respectivamente, así como valores mínimos y máximos de 20.22 y 156.7 mg/L para DBO₅ y de 46.6 y 230 mg/L para DQO (Tabla 13).

En cuanto a los promedios de sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables y conductividad en el influente, estos fueron de 172.62 mg/L para sólidos suspendidos totales, 1.2 mg/L para sólidos sedimentables y de 1125.6 μ siems/cm en la conductividad. Así mismo, se obtuvieron valores mínimos y máximos de 116 y 230 mg/L en sólidos suspendidos totales, 0.4 y 2 mg/L en los sólidos sedimentables y de 866 y 1318 en la conductividad.

Los promedios en el efluente de sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables y conductividad fueron de 39.68 mg/L, 0.0875 mg/L y 926.75 μ siems/cm respectivamente. Mismos que presentaron valores mínimos y máximos de, 10 y 61.5 mg/L en los sólidos suspendidos totales, 0 y 0.1 en los sólidos sedimentables y 535 y 1370 μ siems/cm en la conductividad.

Los valores presentes en el influente durante el 2005, al igual que en el 2004, son valores característicos de agua residual "cruda" con una elevada carga de materia orgánica y de bacterias. Mientras que los valores obtenidos en el efluente del sistema de filtros percoladores son característicos de un agua residual tratada aunque con valores todavía altos que se encuentran por arriba de los límites máximos establecidos en la NOM 03 (tabla 21).

Tanto la DBO₅, la DQO y los SST presentan valores promedio característicos del agua residual de tipo doméstico, tanto en el influente como en efluente, siendo solo un poco elevados para DQO en enero y febrero, sin embargo estos tres parámetros alcanzan remociones promedio o más elevados que los que se estiman para un sistema similar a este que es de entre 60 a 80%, por lo

que en este caso la remoción de estos parámetros se considera como muy buena.

Como ya se había mencionado en los resultados de 2004, Mijailova *et al.*, establecen en su estudio que, el filtro percolador arrojaba remociones aproximadas de 70-82% en los sólidos suspendidos totales y turbiedad, así como entre 30-40% de demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno. De igual forma Ramírez *et al.*, reportan porcentajes de remoción promedio de 72-80% para DBO y SST en un sistema de filtro percolador. Por su parte los resultados obtenidos en el filtro percolador de CU durante el 2005 para sólidos suspendidos totales fue de 77%, demanda bioquímica de oxígeno 74.66% y demanda química de oxígeno 74.21%, bastante cercanos o superiores a los anteriormente reportados.

El nitrógeno amoniacal, presentó un valor promedio de 42.54 mg/L N-NH₃, los ortofosfatos de 5.96 mg/L, los fosfatos totales de 8.79 mg/L, los nitratos de 1.40 mg/L y los nitritos de 0.401 mg/L en el influente del sistema. Estos mismos parámetros, en este mismo punto mostraron valores máximos y mínimos de 69.7 y de 11.82 mg/L N-NH₃ para nitrógeno amoniacal, 7.4 y 3.8 mg/L para ortofosfatos, 11.8 y 6 mg/L para fosfatos totales, 6.53 y 0.179 mg/L para nitratos y 0.756 y 0.0285 mg/L en los nitritos.

Los resultados promedio en el efluente de nitrógeno amoniacal fueron de 40.45 mg/L N-NH₃, 4.045 mg/l para ortofosfatos, 4.85 mg/L en fosfatos totales, 0.369 mg/L en nitratos y 0.197 mg/L para nitritos. A su vez los valores mínimos y máximos en cada uno de estos parámetros fueron de, 11 y 71.15 mg/L N-NH₃ para nitrógeno amoniacal, 0.28 y 7.4 mg/L para ortofosfatos, 1.07 y 7.6 mg/L para fosfatos totales, 0.03 y 1.43 mg/L para nitratos y 0.005 y 0.62 mg/L para nitritos.

Por su parte el nitrógeno amoniacal, mostró un porcentaje de remoción de 4.9%, los nitratos de 73.68% y los nitritos de 50.83%. Resultados que también se encuentran muy por debajo a lo reportado por Mijailova *et al.*, en el que el nitrógeno amoniacal presento remociones a del 20% aproximadamente, en cambio el nitrógeno total tuvo una remoción de tan solo 5 o 7% aproximadamente, esto debido al igual que en el 2004 se debe a procesos naturales de nitrificación y desnitrificación, que se volatiliza a la atmósfera y que originan la transformación de nitrógeno amoniacal en nitratos y posteriormente en nitritos, proceso que en el filtro percolador es auxiliado por algunas bacterias autótrofas, las cuales requieren de oxigenación constante y niveles bajos de carbón orgánico, así como de un pH básico, mismo que posteriormente tiende a la neutralidad y que puede apreciarse en las tablas 10 y 11.

En lo que respecta a los ortofosfatos y fosfatos totales los porcentajes de remoción fueron de 32.18 y 44.82% respectivamente, coincidiendo con lo reportado por Zsogi, *et al.*, en 1997, salvo por los ortofosfatos que se hayan escasamente por debajo del margen anteriormente reportado que es de entre el 37 y 52% de remoción en el sistema de filtro percolador.

En este caso, al igual que en el 2004, contrario al nitrógeno, el fósforo en forma de fosfatos y de ortofosfatos, no puede ser degradado en la atmósfera y permanece en forma de solución aunado a la materia sólida suspendida en el agua residual. De este modo el tratamiento de estos parámetros y su buena remoción, se debe a la adecuada absorción y precipitación de sólidos del sustrato del filtro percolador.

Cabe mencionar que a lo largo del 2005, el sistema de filtro percolador se encontró parado y sin funcionamiento, durante los meses de junio, agosto y diciembre, aunado a esto, en el mes de septiembre no se pudo realizar tampoco el muestreo.

Tabla 10. Parámetros fisicoquímicos de campo en el influente durante el, 2005

Influente 2005	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jul	Oct	Nov
pH	8.02	8.12	8.25	8.17	8.34	8.03	8.03	10.6
Temperatura (°C)	17	20	17	19	20	19	19	18
Oxigeno Disuelto (mg/L)	1.4	1.6	1.8	1.0	1.2	1.6	1.2	1.8

Tabla 11. Parámetros fisicoquímicos de campo en el efluente durante el, 2005

Efluente 2005	12-Ene	09-Feb	09-Mar	Abril	Mayo	28-Jun	26-Oct	23-Nov
pH	7.58	7.47	7.75	7.95	7.5	7.35	7.58	9.46
Temperatura (°C)	17	19	17	19	20	19	19	18
Oxigeno Disuelto (mg/L)	2.0	0.2	0.8	0.4	0.4	2.2	0.4	0.6

Tabla 12. Parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos del influente durante el 2005

Filtro Percolador 2005	12 Enero	9 Febrero	9 Marzo	Abril	Mayo	28 Junio	26 Octubre	23 Noviembre
Coliformes totales NMP/100ml		> 2400 x 10 ²¹	10 ⁷	33 x 10 ⁶	17 x 10 ⁶	34 x 10 ⁶	170 x 10 ⁵	500 x 10 ⁵
Coliformes fecales NMP/100ml		> 2400 x 10 ²¹	10 ⁶	13 x 10 ⁶	6 x 10 ⁶	2 x 10 ⁵	10 ⁴	17 x 10 ³
DBO ₅ mg/L	237.58	236.79	248.17	239	243.46	213	239	244
DQO mg/L	608	636.44	523	584.6	607.85	437.4	470.5	545.5
Nitrógeno amoniacal mg/L	31.78	38.08	69.7	47.43	11.82	31.18	61.9	48.43
Conductividad Msiems/cm	1194	1318	1303	949	1111	866	1209	1055
Sólidos suspendidos totales mg/L	150	184	166	230	198	116	192	145
Sólidos sedimentables ml/L	1.0	2	1	2	0.9	0.4	1.5	0.8
Ortofosfatos mg/L	6.09	6.66	4.25	5.81	7.16	3.8	6.55	7.40
Fosfatos totales mg/l	8.49	8.46	6.25	9.40	10.5	6.0	9.44	11.8
Nitratos mg/l	6.53	1.55	0.222	0.179	0.503	1.424	0.415	0.396
Nitritos mg/l	0.756	0.318	0.07	0.289	0.728	0.44	0.0285	0.581

Tabla 13. Parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos del efluente durante el 2005

Filtro Percolador 2005	12 Enero	9 Febrero	9 Marzo	Abril	Mayo	28 Junio	26 Octubre	23 Noviembre
Coliformes totales NMP/100ml		$> 2400 \times 10^{17}$	10^6	2×10^6	42×10^6	240×10^4	50×10^3	46×10^4
Coliformes fecales NMP/100ml		$> 2400 \times 10^{17}$	10^5	10^5	1×10^5	2×10^3	4×10^3	17×10^2
DBO ₅ mg/L	28.97	156.7	79.01	57.33	57.30	20.22	57.5	24.54
DQO mg/L	109.03	218.2	230	138.45	146.52	46.6	176.4	72.73
Nitrógeno amoniacal mg/L	19.36	57.23	71.15	47.02	26.58	11.0	60.8	30.5
Conductividad Msiems/cm	804	1150	1370	795	825	535	1202	733
Sólidos suspendidos totales mg/L	28	61.5	58	44	36	20	60	10
Sólidos sedimentables ml/L	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Ortofosfatos mg/L	2.88	6.77	4.0	4.58	3.29	0.280	7.4	3.16
Fosfatos totales mg/L	3.17	7.56	5.22	5.93	4.47	1.07	7.60	3.79
Nitratos mg/L	0.367	0.069	0.096	0.030	0.128	1.433	0.126	0.703
Nitritos mg/L	0.395	0.005	0.027	0.023	0.025	0.620	0.0064	0.477

Tabla 14. Valores estadísticos de los parámetros fisicoquímicos del influente durante el 2005

Influente Filtro Percolador 2005	Media	Valor máximo	Valor mínimo	Desviación estándar.
Coliformes totales NMP/100ml	8.738E ⁹	2.4E ²⁴	8.738E ⁹	9.071E ²³
Coliformes fecales NMP/100ml	3.494E ⁸	2.4E ²⁴	1.7E ⁴	9.071E ²³
DBO ₅ mg/L	237.6	248.1	213	10.66
DQO mg/L	551.6	636.4	437.4	70.81
Nitrógeno amoniaco mg/L	42.54	69.7	11.82	18.43
Conductividad µsiems/cm	1125	1318	866	162
Sólidos suspendidos totales mg/L	172.6	230	116	35.78
Sólidos sedimentables ml/L	1.2	2	0.4	0.578
Ortofosfatos mg/L	5.96	7.4	3.8	1.30
Fosfatos totales mg/L	8.79	11.8	6	1.97
Nitratos mg/L	1.40	6.53	0.179	2.13
Nitritos mg/L	.40	.75	0.028	0.276

Tabla 15. Valores estadísticos de los parámetros fisicoquímicos del efluente durante el 2005

Efluente Filtro Percolador 2005	Media	Valor máximo	Valor mínimo	Desviación estándar.
Coliformes totales NMP/100ml	1.96E ⁸	2.4E ²⁰	5.00E ⁴	9.071E ¹⁹
Coliformes fecales NMP/100ml	6.133E ⁶	2.40E ²⁰	1.70E ³	9.071E ¹⁹
DBO ₅ mg/L	60.19	156.7	20.22	43.97
DQO mg/L	142.2	230	46.6	65.19
Nitrógeno amoniacal mg/L	40.45	71.15	11	21.66
Conductividad μ siems/cm	926.75	1370	535	281.7
Sólidos suspendidos totales mg/L	39.68	61.5	10	19.49
Sólidos sedimentables ml/L	0.087	0.1	0	0.035
Ortofosfatos mg/L	4.045	7.4	0.28	2.263
Fosfatos totales mg/L	4.851	7.6	1.07	2.222
Nitratos mg/L	0.369	1.43	0.03	0.484
Nitritos mg/L	0.197	0.62	0.005	0.255

Tabla 16. Logaritmos de los parámetros bacteriológicos del influente durante el 2005

Influente Filtro 2005	09-Feb	09-Mar	Abril	Mayo	28-Jun	26-Oct	23-Nov
Coliformes totales NMP/100ml	24.3802	8	7.5185	7.2304	7.5314	7.2304	7.6989
Coliformes fecales NMP/100ml	24.3802	7	7.1139	6.7781	5.301	5	4.2304

Tabla 17. Logaritmos de los parámetros bacteriológicos del efluente durante el 2005

Efluente Filtro 2005	09-Feb	09-Mar	Abril	Mayo	28-Jun	26-Oct	23-Nov
Coliformes totales NMP/100ml	20.3802	7	6.301	7.6232	6.3802	4.6989	5.6627
Coliformes fecales NMP/100ml	20.3802	6	6	5	3.301	3.6023	3.2304

Tabla 18. Porcentajes de remoción durante 2005

Filtro Percolador 2005	Σ Influyente	Σ Efluente	Media de entrada, meses muestreados	Media de Salida, meses muestreados	Diferencia, meses muestreados	% Remoción, meses muestreados
pH	67.56	62.64	8.44	7.83	0.61	7.22%
Oxígeno Disuelto mg/L	11.6	7	1.45	0.87	0.58	40%
Coliformes totales NMP/100ml	69.58	58.04	9.941	8.292	1.649	16.58%
Coliformes fecales NMP/100ml	59.80	47.51	8.54	6.787	1.755	20.54%
DBO ₅ mg/L	1901	481.57	237.6	60.19	177.42	74.66%
DQO mg/L	4413.2	1137.9	551.6	142.2	409.4	74.21%
Nitrógeno amoniacal mg/L	340.3	323.6	42.54	40.45	2.08	4.9%
Conductividad Msiems/cm	9005	7414	1125.6	926.7	198.8	17.66%
Sólidos suspendidos totales mg/L	1381	317.5	172.625	39.68	133.93	77%
Sólidos sedimentables ml/L	9.6	0.7	1.2	0.087	1.112	92.70%
Ortofosfatos mg/L	47.72	32.36	5.965	4.045	1.92	32.18%
Fosfatos totales mg/L	70.34	38.81	8.792	4.851	3.941	44.82%
Nitratos mg/L	11.21	2.952	1.402	0.369	1.03	73.68%
Nitritos mg/L	3.21	1.578	0.401	0.197	0.204	50.83%

7.3 TERCERA PARTE

COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS ENTRE EL 2004 Y EL 2005

7.3.1 Porcentajes de remoción

Como se puede observar en la Tabla 19, el porcentaje de remoción durante el año 2004 en cada uno de los parámetros fue mayor al obtenido en el año 2005, con excepción de la DQO, nitritos y nitratos en el que se obtuvieron porcentajes de remoción mas altos que en el 2005.

En lo que respecta al nitrógeno amoniacal en el 2005, la remoción de este fue mínima con tan solo el 4.9% comparado con lo obtenido en el 2004, (39.38 %). Lo anterior, aunado a que la remoción de nitritos y nitratos haya sido mayor en el 2005, se puede explicar como consecuencia de los procesos decrecientes naturales de oxidación del Nitrógeno (Nitrógeno Orgánico → Amoniacal → Nitrito → Nitrato) ya que al haber una mayor remoción de nitrógeno amoniacal en 2004, éste ya no requirió de una oxidación mayor, por lo que el nitrógeno ya no alcanzo grandes cantidades en forma de nitratos y nitritos. En tanto que en el 2005, la materia degradada en un mínimo porcentaje a nitrógeno amoniacal continuo su fase de oxidación a nitritos y nitratos y por lo tanto las concentraciones iniciales de estos parámetros se ven incrementadas por lo que la remoción de nitrógeno en el sistema en este año se realiza en esta fase.

En el caso de la DQO la diferencia fue poca pudiendo considerarse que esta remoción fue casi igual en ambos años, sin embargo como se menciona anteriormente, por la oxidación del nitrógeno en año 2005, la demanda de oxígeno por este agente incrementan. Aunado a esto, el oxígeno disuelto presente en el agua en este año es mucho menor a lo que se reporta en el

2004, debido a la demanda de oxígeno de este para su conversión a nitratos y nitritos.

En general se puede decir que la baja remoción de contaminantes obtenida en el 2005 se debió principalmente, por la situación irregular que el sistema presentó en su funcionamiento durante ese año. En el que tuvo que parar en diferentes meses para su mantenimiento, evitando con esas interrupciones una estabilidad del sistema y que por lo mismo no operara como en el 2004.

En el 2004, cuando el sistema se encontraba funcionando adecuadamente se muestra el único parámetro que presenta un aumento en su concentración que es el Oxígeno Disuelto. El incremento en la concentración de este parámetro, lejos de ser malo, previene o reduce la putrefacción y la producción de cantidades objetables de sulfuros, mercaptanos y otros compuestos de mal olor, ya que los microorganismos aerobios lo utilizan para la degradación de la materia orgánica y su aumento se produce por el sistema de rociamiento que posee el filtro percolador.

Finalmente, los niveles de remoción que se alcanzaron en ambos años, como ya se mencionó en los apartados 7.1 y 7.2 coinciden en gran medida en cada uno de los parámetros analizados con otros estudios similares. De igual forma, esta remoción, concuerda con los valores promedio estimado de entre 70 y 85% en la eficiencia de la remoción de materia orgánica que tiene la Dirección General de Obras y Conservación de la UNAM, dependencia que se encarga de la operación de la PTARCU.

Los parámetros que en ambos años alcanzan estos valores estimados como se aprecia en la tabla 19, son los mismos que se establecen en la NOM-003-ECOL-1997, con excepción de coliformes fecales. Los SST presentaron una remoción de 86.43% en el 2004 y 77% en el 2005, la DBO₅ registró 83.20% en 2004 y 74.66 en 2005. En el caso de las coliformes la remoción obtenida en el

2004 fue de apenas el 29.82% y de 20.54% en el 2005, aunque cabe mencionar que a pesar de estos bajos porcentajes, la remoción de este parámetro alcanzo entre 2 y 5 escalas logaritmicas, por lo que aun así se considera buena.

Otros parámetros que alcanzaron los niveles previstos por la Dirección General de Obras y Conservación son: DQO con 70.87% y 74.66%, sólidos sedimentables 99.90% y 92.70% y Nitrogeno y Fosforo en sus diferentes formas para 2004 y 2005 respectivamente para cada uno.

Tabla 19. Comparación de los porcentajes de remoción de los años 2004 y 2005.

Parámetros	2004	2005
Coliformes totales NMP/100ml en log.	29.86%	16.58%
Coliformes fecales NMP/100ml en log.	29.82%	20.54%
DBO ₅ mg/L	83.20%	74.66%
DQO mg/L	70.87%	74.21%
Nitrógeno amoniacal mg/L	39.38%	4.9%
Conductividad Msiems/cm	29.66%	17.66%
Sólidos suspendidos totales mg/L	86.43%	77%
Sólidos sedimentables ml/L	99.90%	92.70%
Ortofosfatos mg/L	37.74%	32.18%
Fosfatos totales mg/L	54.42%	44.82%
Nitratos mg/L	24.03%	73.68%
Nitritos mg/L	2.53%	50.83%

7.3.2 Correlaciones

Con el objeto de conocer el comportamiento del sistema durante los dos años, se graficaron los resultados obtenidos en cada año por cada parámetro. (Figuras 9 a 22) y también se calculo el coeficiente de correlación de Pearson para cada uno de los parámetros (Tabla 20).

Tabla 20. Correlación de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos entre el 2004 y el 2005.

Parámetro	Valor de correlación
pH	0.1680
Oxigeno disuelto mg/L	0.1323
Coliformes totales NMP/100ml	-0.5336
Coliformes fecales NMP/100ml	-0.7020
DBO ₅ mg/L	0.650
DQO mg/L	0.6027
Nitrógeno amoniacal mg/L	0.5801
Conductividad Msiems/cm	0.4022
Sólidos suspendidos totales mg/L	0.5020
Sólidos sedimentables ml/L	-0.3856
Ortofosfatos mg/L	0.6228
Fosfatos totales mg/L	0.5197
Nitratos mg/L	0.8276
Nitritos mg/L	0.0735

En la figura 9 se aprecia el comportamiento temporal del pH registrado en el 2004 y en el 2005. Se puede observar que en general no hubo correlación importante a lo largo de los meses muestreados entre el 2004 y el 2005. Lo anterior se corroboró con el valor del coeficiente de correlación obtenido (0.1680), Por otro lado los valores oscilaron mas hacia lo alcalino, salvo en el efluente de diciembre del 2004, resultado al que se puede atribuir un error en la toma de la muestra o en el registro de valores, ya que este resultado, de ser real seria altamente ácido. Los valores de pH fueron ligeramente más alcalinos en el 2004

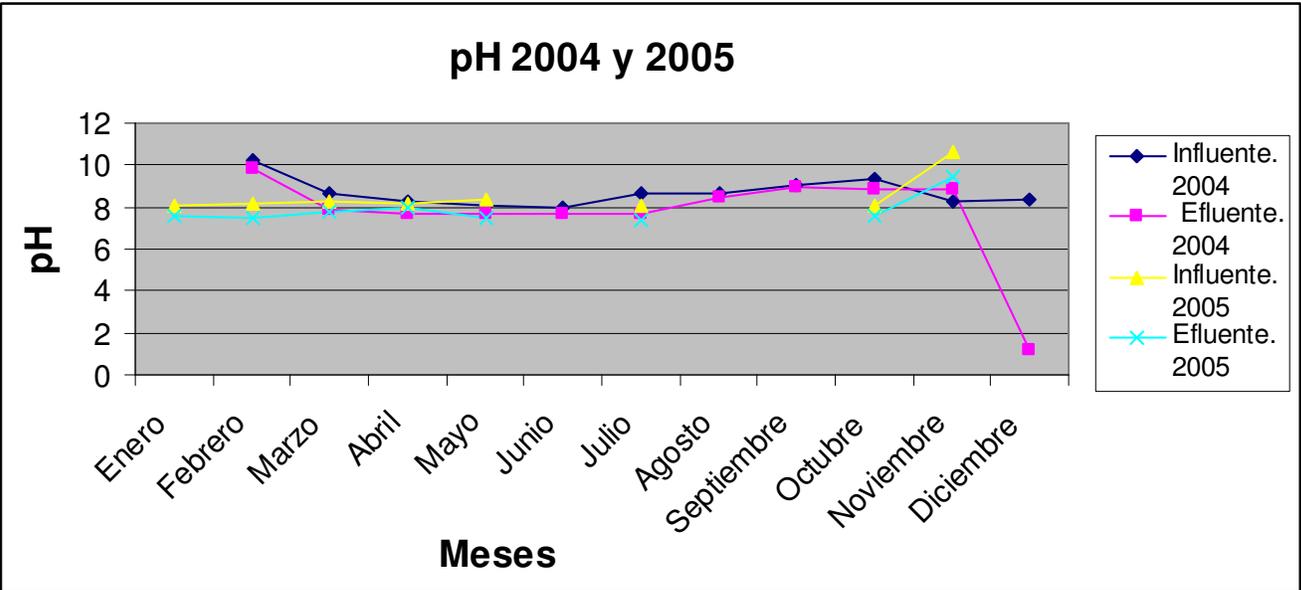


Figura 9. Comparación de los valores de pH del influente y el efluente del 2004 y 2005.

En lo que respecta al Oxígeno disuelto, se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.1323 lo cual nos indica que no hubo diferencias significativas en los dos años en relación al comportamiento temporal, lo que se puede apreciar también en la figura 10. Aunque los valores fueron bajos (menores o ligeramente mayores de 2 mg/L), se noto un decremento mayor en el 2005 sobretodo en el efluente, lo que nos indica las condiciones muy bajas de

oxígeno pero suficientes para las bacterias para llevar a cabo la degradación de la materia orgánica.

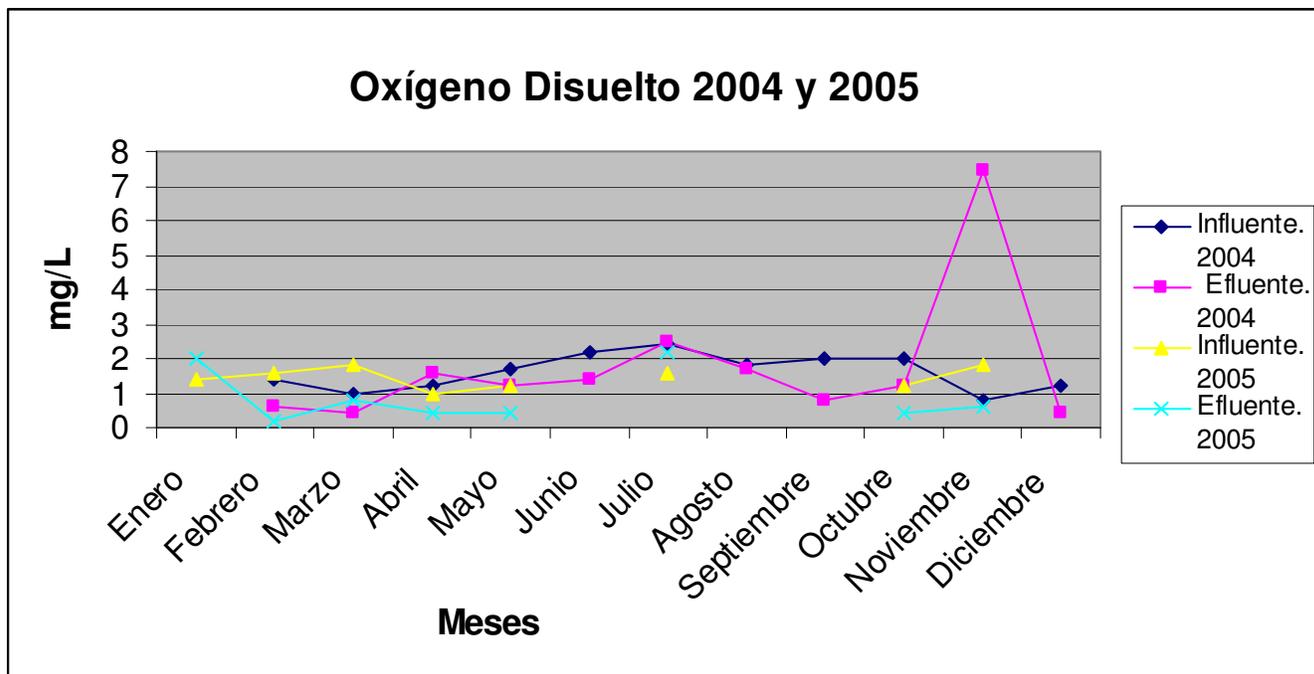


Figura 10. Comparación de los valores de oxígeno disuelto del influente y el efluente del 2004 y 2005.

En la figura 11 se observa como los coliformes totales del efluente presentaron concentraciones mas altas en el 2004 Sin embargo también hay que considerar que el influente de ese año presentó cargas bacterianas mucho más altas con respecto al influente del 2005. De acuerdo al coeficiente de correlación se pudo apreciar cierta correlación inversa (- 0.533), la cual puede también apreciarse en la figura 11.

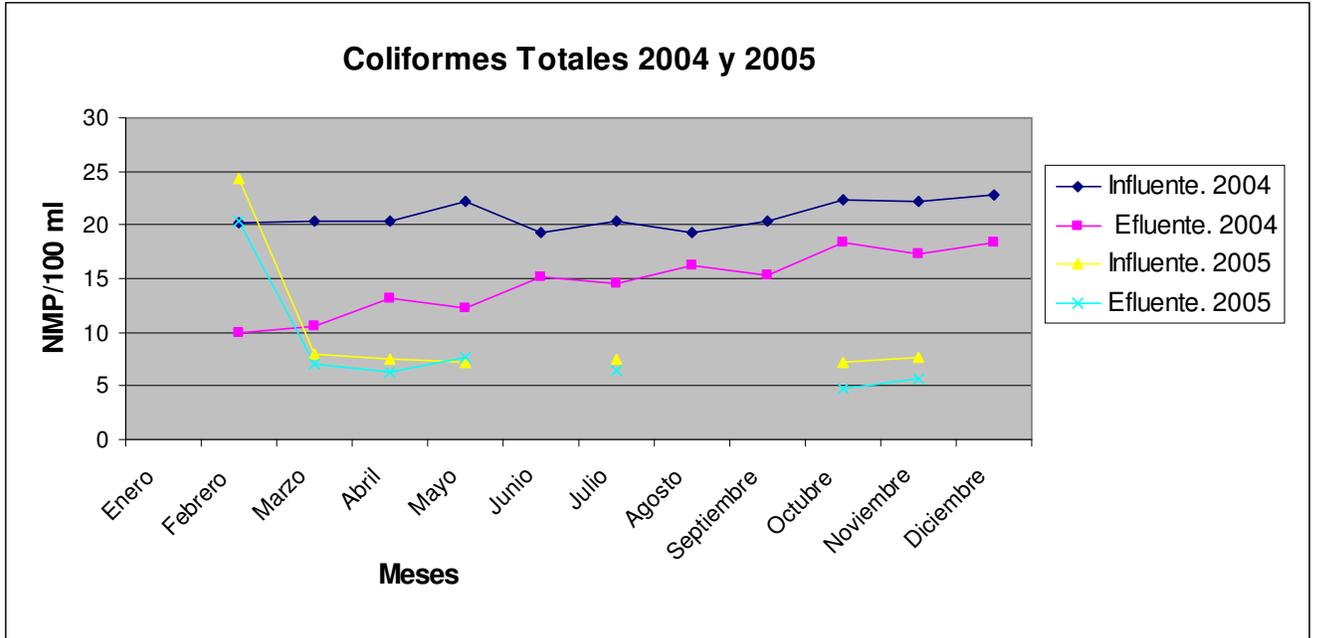


Figura 11. Comparación de los valores de coliformes totales del influente y el efluente del 2004 y 2005.

En el caso de coliformes fecales (Figura 12), se presenta el mismo caso que en coliformes totales, en donde la concentración es mayor en el 2004 que en el 2005, sin embargo en este ultimo año la carga bacteriana fue mucho menor. Aun así los coliformes fecales no presentaron diferencias significativas en la distribución temporal entre los dos años pues presentaron un coeficiente de Pearson, que nos muestra una correlación inversa mayor que en el parámetro anterior (-0.7020).

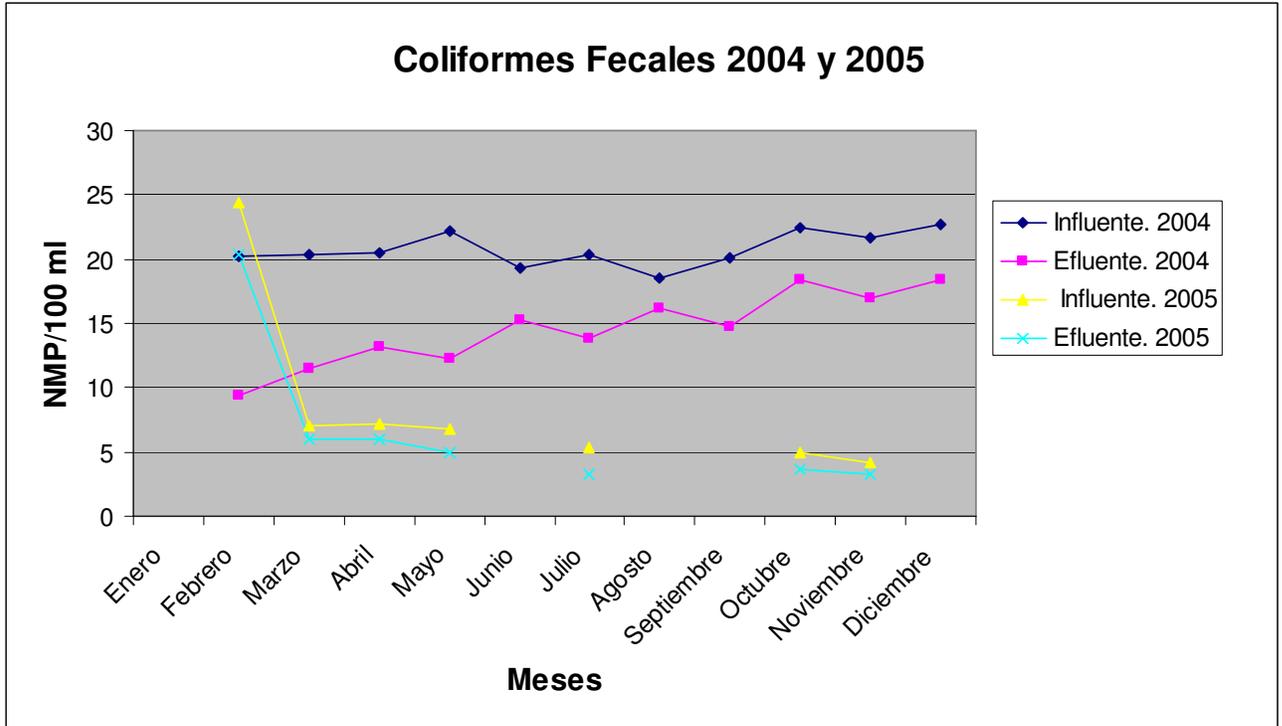


Figura 12. Comparación de los valores de coliformes fecales del influente y el efluente del 2004 y 2005.

En la figura 13 la demanda bioquímica de oxígeno y en la 14 la demanda química de oxígeno presento cierta correlación en sus efluentes en ambos años, lo cual se corrobora con el valor del coeficiente obtenido de 0.650 y 0.6027 respectivamente. Los valores mas altos los presento el efluente del 2005.

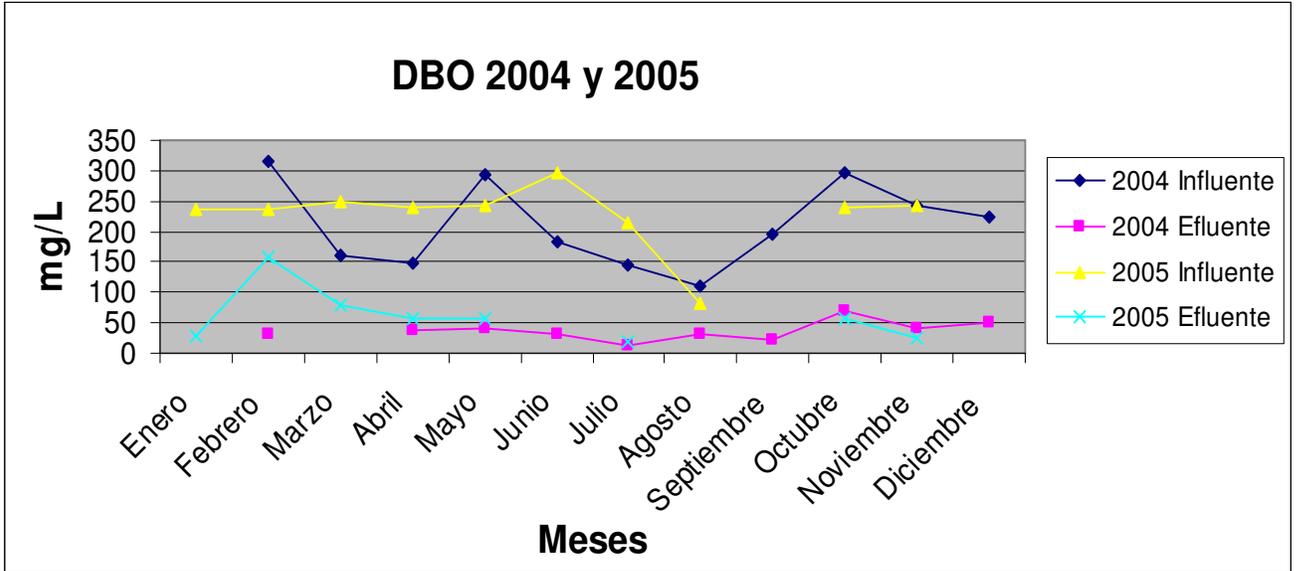


Figura 13. Comparación de los valores de DBO₅ del influente y el efluente del 2004 y 2005.

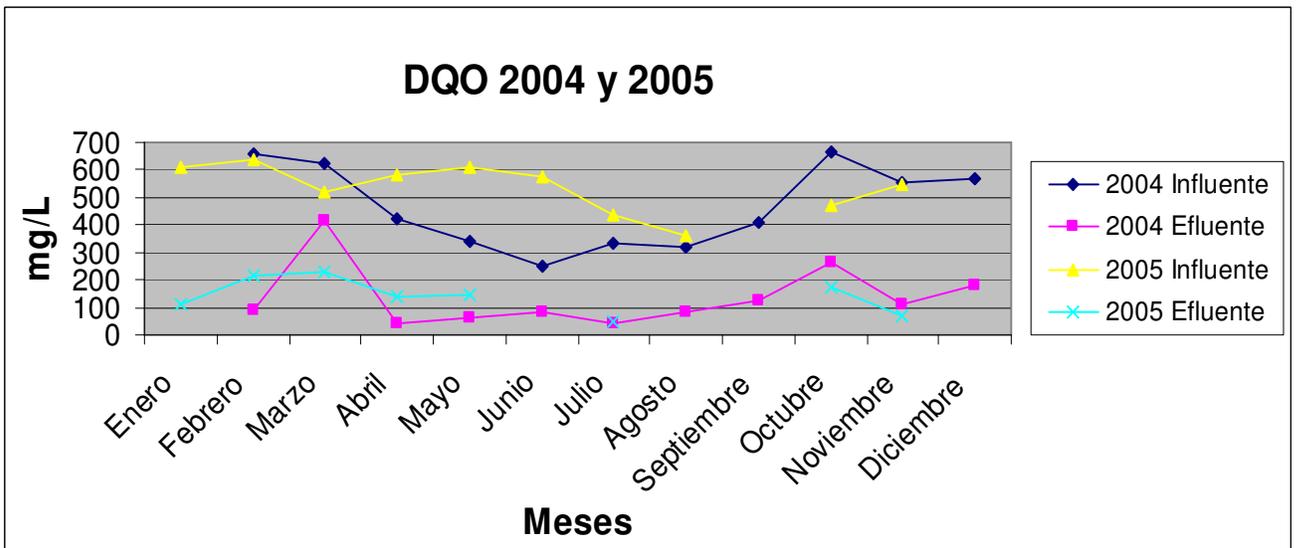


Figura 14. Comparación de los valores de DQO del influente y el efluente del 2004 y 2005.

En lo que respecta al nitrógeno amoniacal, este, mostró un coeficiente de correlación de 0.5801, lo que nos indica que hay cierta correlación significativa en el comportamiento espacial de los valores de los efluentes, mismos que pueden apreciarse en la figura 15.

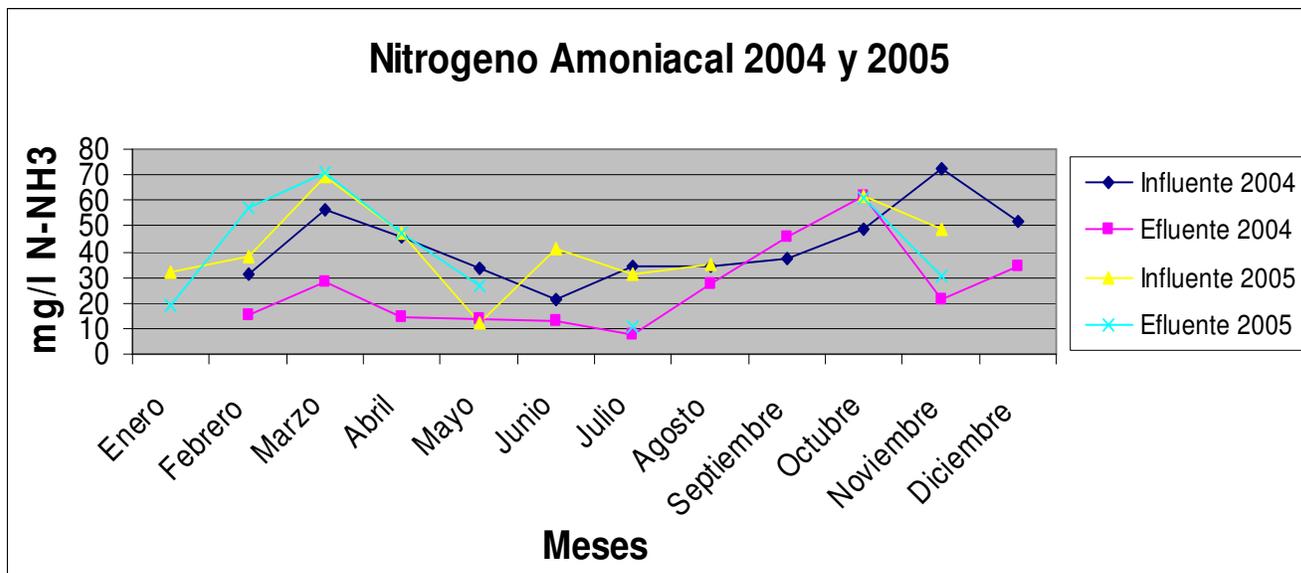


Figura 15. Comparación de los valores de nitrógeno amoniacal del influente y el efluente del 2004 y 2005.

En la figura 16, podemos apreciar que los efluentes de los nitratos se comportaron de manera muy similar a lo largo de los meses del estudio y en el que prácticamente no hubo diferencias significativas entre los años 2004 y 2005 de acuerdo con el resultado de su coeficiente de correlación que fue de 0.8276.

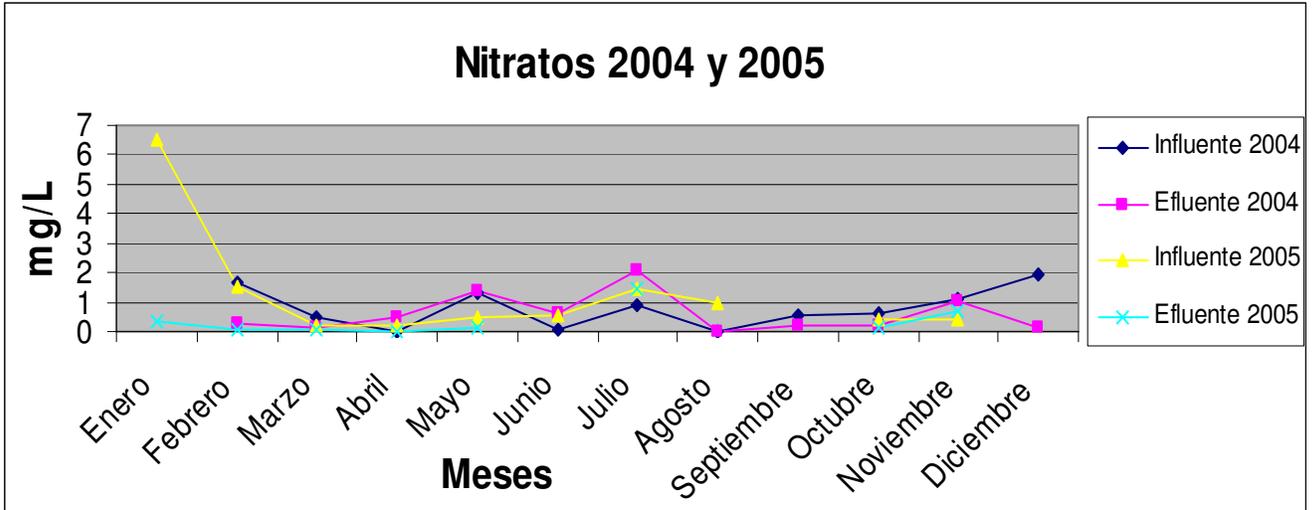


Figura 16. Comparación de los valores de nitratos del influente y el efluente del 2004 y 2005.

Por su parte los nitritos, en la figura 17, muestran diferencias significativas respecto a ambos años, presentando también un coeficiente de apenas 0.0735.

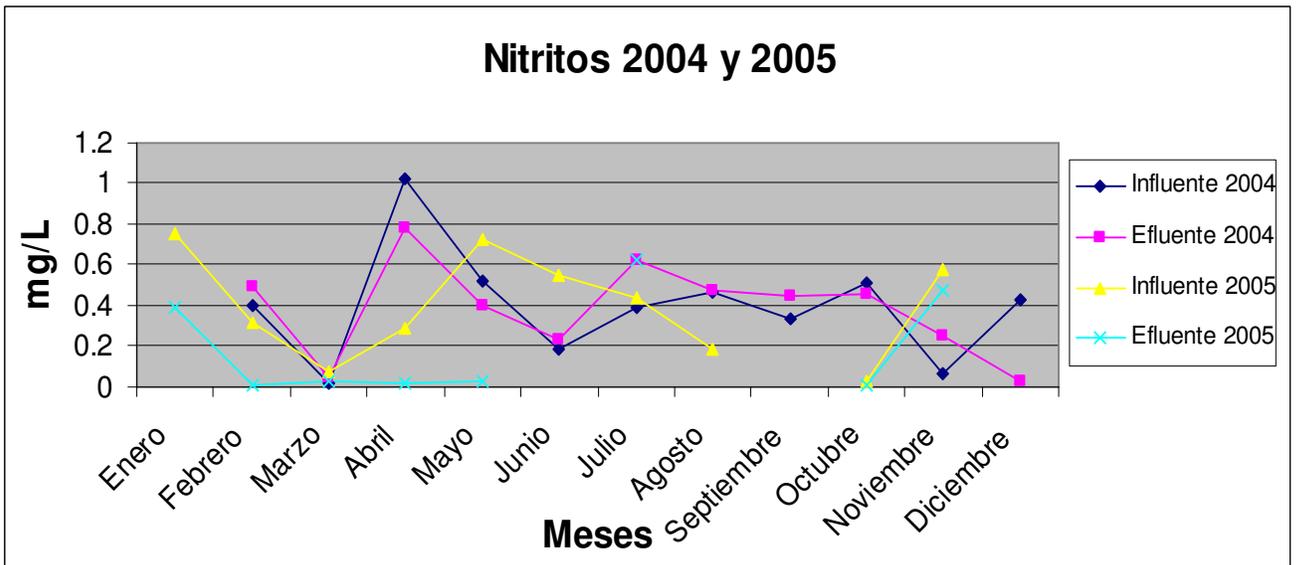


Figura 17. Comparación de los valores de nitritos del influente y el efluente del 2004 y 2005.

Los ortofosfatos, en la figura 18, y los fosfatos totales en la figura 19, también presentaron una cierta correlación presentando coeficientes de 0.622 para los primeros y de 0.519 para los segundos.

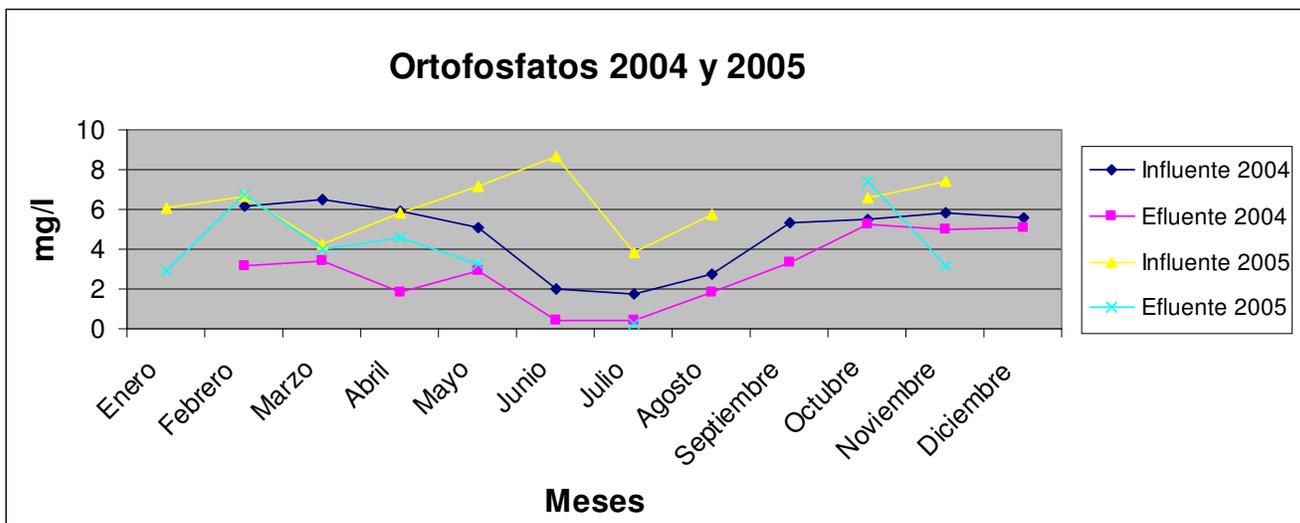


Figura 18. Comparación de los valores de ortofosfatos del influente y el efluente del 2004 y 2005.

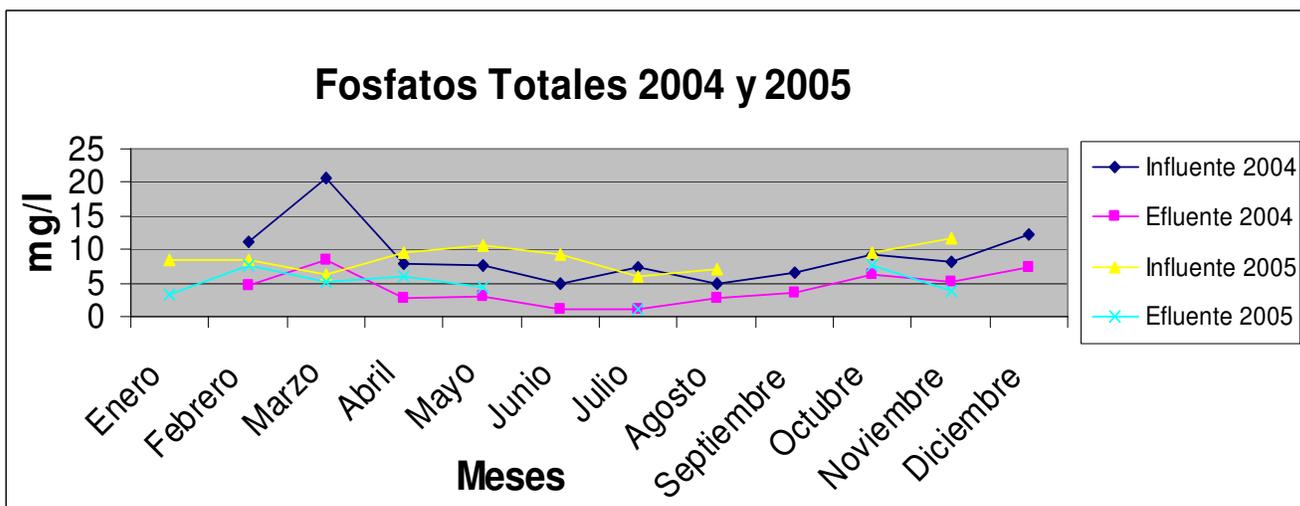


Figura 19. Comparación de los valores de fosfatos totales del influente y el efluente del 2004 y 2005.

La conductividad, nos da una idea de la concentración de sales disueltas y estas en los efluentes en ambos años presentaron una baja correlación (0.4022) apreciándose esto en la figura 20.

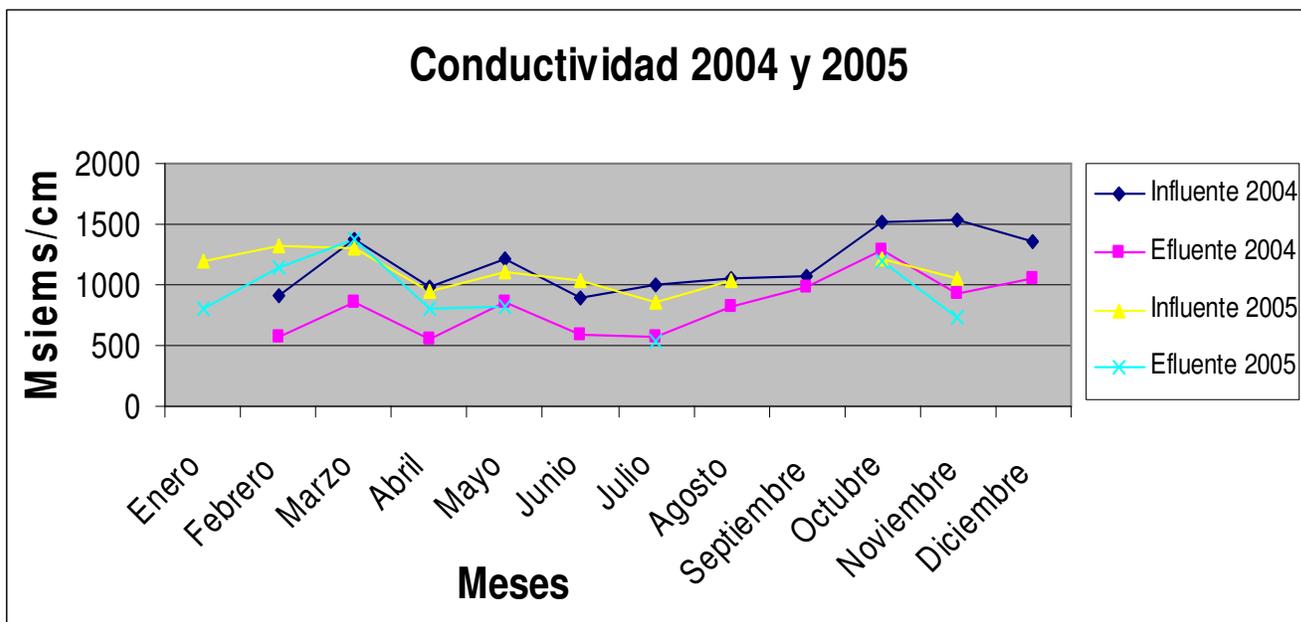


Figura 20. Comparación de los valores de conductividad del influente y el efluente del 2004 y 2005.

De igual forma, los sólidos suspendidos totales, como se puede observar en la figura 21, presentaron cierta correlación (0.5020), siendo los valores mas altos en el 2005.

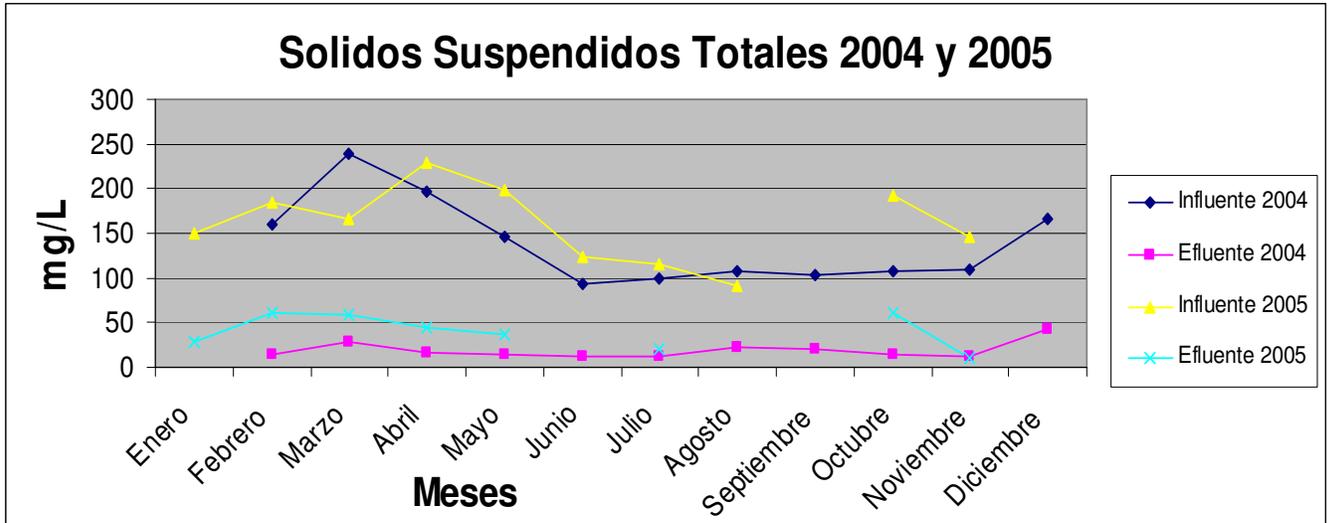


Figura 21. Comparación de los valores de sólidos suspendidos totales del influente y el efluente del 2004 y 2005.

Para finalizar, los sólidos sedimentables, contrario a los sólidos suspendidos totales, no presentan una correlación (-038), lo que indica que si hubo diferencias significativas entre los años 2004 y 2005. Lo anterior no puede apreciarse claramente en la figura 22.

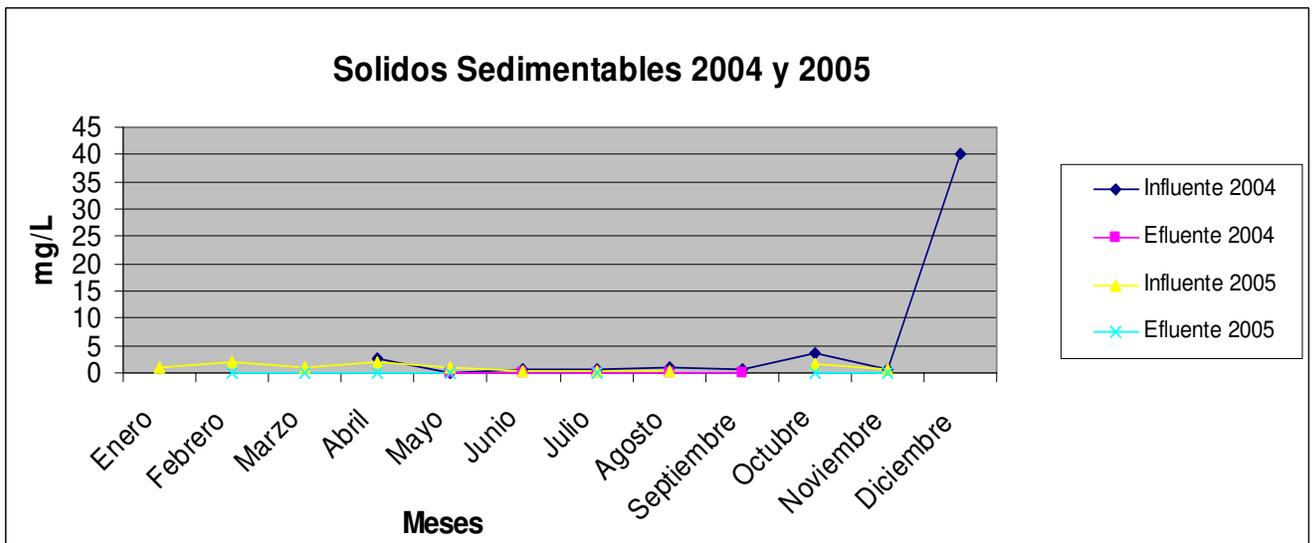


Figura 22. Comparación de los valores de sólidos sedimentables del influente y el efluente del 2004 y 2005.

7.3.3 Comparación de resultados en los años 2004 y 2005 con la NOM-003-ECOL-1997

Comparando los resultados obtenidos después del tratamiento en el sistema de filtro percolador con los límites máximos permisibles de contaminantes especificados en la NOM-003-ECOL-1997 para aguas residuales tratadas, se observó que la media anual del 2004 de DBO₅ apenas supera ligeramente el promedio aceptado para servicios al público con contacto indirecto u ocasional (30 mg/L) en el año 2004, al presentar un valor medio de 36.19 mg/L. En cambio en el 2005, su valor se encuentra muy por encima del valor máximo permisible por la NOM, al obtener valores que duplican los especificados y presentar un valor medio anual de 60.19 mg/L. En el caso del contacto directo, en ambos años estuvo muy por encima de la NOM (tabla 21).

Sin embargo si comparamos los límites máximos y mínimos obtenidos en ambos años, podemos observar que existe una gran diferencia en cada uno de ellos, probablemente debido a variaciones estacionales en ambos años y en los que a pesar de que los límites máximos se encuentran muy por arriba de la NOM-003, los límites mínimos en ambos casos se pueden apreciar muy por debajo de lo establecido en la norma ya mencionada.

En lo que respecta a los sólidos suspendidos totales, podemos apreciar que la media de este parámetro en el 2004, se encontró por debajo de los límites permisibles, tanto en el apartado para contacto directo como en el indirecto u ocasional al presentar un valor anual de 18.88 mg/L. En el 2005 tanto para contacto directo como para el ocasional o indirecto los valores superan a lo establecido en la norma, solo que en este caso su valor medio anual apenas se encuentra por arriba por un margen muy escaso al mostrar un valor de 39.68 mg/L.

El caso de las Coliformes fecales la media anual tanto el año 2004 como del 2005 se encuentran muy por arriba del límite máximo permitido tanto para contacto directo, así como Indirecto u ocasional, siendo el 2005 donde las medias fueron menores que el 2004, (6.133E⁶ NMP/100ml y de 2.957E¹⁴ NMP/100ml respectivamente).

Sin embargo y a pesar de los valores elevados mostrados en los dos años, en general debemos considerar que también los influentes fueron muy altos, (5.648E²⁰ en el 2004 y de 3.494E⁸ en el 2005), ya un así se logro una reducción exponencial del NMP/100 de 5 escalas logarítmicas en el 2004 y de 2 escalas logarítmicas en el 2005.

A pesar de que esta remoción no fue suficiente para alcanzar los límites establecidos por la norma NOM-003-ECOL-1997, para contacto directo. En general la remoción de materia orgánica, puede calificarse como apropiada, tomando en cuenta los valores tan elevados de contaminantes que presenta el agua en un inicio y aunque no es excelente, la remoción media anual se encuentra cercano a los valores límites establecidos para contacto indirecto u ocasional en ambos años, con excepción de coliformes fecales en ambos años y la DBO en el 2005, que como ya se había mencionado, fue durante este año que se presentaron algunos inconvenientes para realizar adecuadamente el análisis o toma de las muestras.

Es conveniente recordar que la muestra del agua tratada se tomo antes de que el agua pasara por el proceso de cloracion al que se le somete en la PTARCU, pues el objetivo fue evaluar la eficiencia del sistema de filtro percolador.

Tabla 21. Parámetros establecidos en la NOM-003, comparados con los resultados obtenidos en los años 2004 y 2005.

	DBO ₅ mg/l		SST mg/l		Coliformes fecales NMP/100ml	
	2004	2005	2004	2005	2004	2005
Media	36.192	60.1962	18.8863	39.6875	2.957E ¹⁴	6.133E ⁶
Máximo	69.5	156.7	42	61.5	2.4E ¹⁸	2.4E ²⁰
Mínimo	11.41	20.22	12	10	2.8E ⁹	1.7E ³
NOM-003 con contacto directo.	20		20		240	
NOM-003 con contacto indirecto.	30		30		1000	

8. CONCLUSIONES

- En el año 2004 se obtuvo una remoción de contaminantes ligeramente mayor que el año 2005, con excepción de los parámetros fisicoquímicos DQO, nitratos y nitritos.
- Debido a las irregularidades del funcionamiento del sistema en el año 2005 fue imposible afirmar que en este año el sistema fue menos eficiente en cuanto a remoción de contaminantes o que el sistema de filtro percolador presentó fallas en el proceso durante ese año.
- En general, todos los parámetros fisicoquímicos analizados presentaron un comportamiento similar en ambos años.
- Al comparar los resultados de la remoción de bacterias coliformes fecales en el 2004 y 2005 con la NOM-003, en ambos la remoción se considera buena por haber presentado una disminución aproximada de entre 5 y 2 escalas logarítmicas respectivamente. Sin embargo, sus valores superan por mucho los límites establecidos tanto para contacto directo como para contacto indirecto.
- Los valores de la DBO_5 como los de SST se encontraron por arriba de lo establecido por la NOM-003 para contacto directo, siendo los SST en el 2004 los únicos que alcanzaron a ubicarse dentro de este margen. En lo que respecta a contacto indirecto, tanto la DBO_5 como los SST se encontraron ligeramente por arriba de los límites establecidos y únicamente la DBO_5 en el 2005 duplicó este resultado.
- A pesar de que no se logra alcanzar los límites establecidos por la NOM-003-ECOL-1997, la mayoría de los parámetros se ubican dentro del porcentaje de remoción previsto por la Dirección General de la PTARCU debido a que el sistema trabaja con una sobrecarga de contaminantes
- El funcionamiento del sistema biológico de filtro percolador en la PTARCU, puede considerarse como bueno, debido a que presenta una efectiva remoción de contaminantes en general.

9. REFERENCIAS

- Alarid. 2007. Determinación de bacterias patógenas (*Salmonella* y *Shigella*) y de los indicadores bacteriológicos de contaminación (Coliformes totales y fecales), en agua residual tratada. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. Estado de México. México.
- APHA-AWWA-WEF. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20^{ava} ed. Estados Unidos.
- ASTM (American Society of Testing and Materials). 1992. Manual de aguas para usos industriales. Limusa. México. P 202. Vol. 3.
- Ávila. 1987. Evaluación y optimización del sistema filtro percolador de la planta de tratamiento de aguas residuales de CU. Tesis de Ingeniería Química, Facultad de Química, UNAM.
- Brock. 1978. Biología de los microorganismos. 2^a edición. Omega. México. 906 pp.
- Daniel. 1984. Estadística con Aplicaciones a las Ciencias Sociales y la Educación. Mc Graw-Hill. 2^a edición. Edo de Méx. México. P: 341-345. pp 504.
- Dirección General de Obras y Conservación. 2007. Información proporcionada por el Ingeniero, Juan Hilario García, Director General de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales de Ciudad Universitaria. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Finamore, Blanco y López. 2000. Constantes Cinéticas en un sistema de Lodos Activados a Escala de Laboratorio Universidad Central de Venezuela XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental ABES Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- Frers. 2005. Aguas que lloran por los humanos. Argenpress. Info. Buenos Aires. Argentina. (<http://www.argenpress.info/nota.asp?num=017769>)

- Gloyna. 1973. Estanques de estabilización de aguas residuales. Organización Mundial de la Salud. Suiza. 191 p.
- González y Valdivia. 2003. Tratamiento de los Lixiviados de un Vertedero en un Sistema de Lodos Activados Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- Huub. *et al.* 2003. Retrofitting existing chemical scrubbers to biotrickling filters for H₂S emission control. University of California. Riverside. CA. Vol. 100. No. 11. P 6308-6312. United States of America.
- Jiménez. 2002. La Contaminacion Ambiental en México. Ed. Limusa. México.
- Lin, Malone y Sansalone. 2000. Optimization of wastewater treatment plant performance in BATON ROUGE. C. Onu, P. Carriere, Department of Civil Engineering, Southern University, 127 Eng. West, Baton Rouge, Louisiana 70813 USA
- López. 1981. Tratamiento biológico de aguas residuales en perspectiva de la biotecnología en México. Ed. ICyT. México.
- Mansur, Boamorte, Bona y Hamilton. 2000. Sistema de Reactor UASB y Lodos Activados en el Tratamiento de Residuos Líquidos Domésticos Universidad Católica de Panamá. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
- Metcalf y Eddy. 1985. Ingeniería Sanitaria, Tratamiento, Evaluación y Reutilización de Aguas Residuales. 2ª Edición. Labor. Barcelona. España. Pag 1-3. 969pp.
- Mijaylova, Sandoval, González, Garzón, Moeller, Fuentes, Gomes y García 2002 Tratamiento Avanzado de Aguas Residuales y su Reutilización como Fuente para Uso Primario Instituto Mexicano de Tecnología del Agua XXVII Congresso Interamericano de Engenharia

Sanitária e Ambiental ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental

- Noyola y Morgan-Sagastume. (2004) Planta de pretratamiento de Aguas Residuales en Ciudad Universitaria/UNAM con Control de Olores: Un Desarrollo Tecnológico en Aplicación. Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS) seminario interamericano 2004. Agua Latinoamericana. Sao Paulo Brasil.
- P.I.S.Ch. (Programme International Sur la Sécurité Chimique). 2002. Directives de Qualité pour l'eau de boisson. V. 2. 12^a. Organisation Mondiale de la Santé. Genève. P, 11-17 ; 24-29 ; 87-95.
- Parker 1997. A Multi-Parameter Sensitivity Analysis of a Model Describing the Fate of Volatile Organic Compounds in Trickle Filters. J. Air & Waste Manage. Assoc. 47:871-880 Air & Waste Management Association.
- Ponniah, Chen, Michielutti, Salonen y Blum 2003. Single-Cell Protein Profiling of Wastewater Enterobacterial Communities Predicts Disinfection Efficiency. Applied and Environmental Microbiology. Vol. 69, No. 7 p. 4227-4235.
- Ramalho. 1993. Tratamiento de Aguas Residuales. 2^a Edición. Reverte. Barcelona. España. P 8,9, 253, 254. 705pp.
- Ramírez. 1979 Diseño estructural del monumento al agua. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería. UNAM. Ciudad de México. México.
- Ramírez, Mijaylova, Cruz, Evangelista y Rodríguez 2003 Aporte de Diferentes Mecanismos en la Remoción de Sustancias Orgánicas Tóxicas Presentes en Aguas Residuales Industriales Universidad Autónoma de Morelos XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
- Ramírez, Alonso, Molina, González y Achec. L.R. 2006. Alternativa de Tratamiento Para el Agua Residual de Chilpancingo Guerrero. Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. División de CBI.

Departamento de Energía. XV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales. Guadalajara. Jalisco. México.

- Robles. 1994. Contaminación de moluscos. Cuidado con los ostiones. Información Científica y Tecnológica. Octubre.16: (217) p. 39-41.
- Robles, González y Castillo. P. 2004. Contaminantes Físicos y Químicos del Agua, Sus Efectos en el Hombre y en el Medio Ambiente. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Tlalnepantla. Estado de México. México.
- Romero. y Rodriguez. 1982. Niveles actuales de contaminación coliforme en el sistema lagunar del Carmen-Machona. Tabasco. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. 9(1); p 121-126
- Rosas, Yela, Salinas, y Calva. 1994. "Bacterias Entericas en la Atmósfera" Ciencia y Desarrollo. 118 pag. 52-57 p.
- SARH. 1984. Manual de microbiología del agua. México. D.F.
- Schleheck, Dong, Denger, Heinzle y Cook. 2000. An α -proteobacterium Converts Linear Alkylbenzenesulfonate Surfactants into Sulfophenylcarboxylates and Linear Alkyldiphenyletherdisulfonate Surfactants into Sulfodiphenylethercarboxylates. Applied and Environmental Microbiology, p. 1911–1916. Vol. 66. No. 5. American Society for Microbiology.
- Seoanes. 1995. Aguas residuales y urbanas, tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. Mundi Prensa. Madrid. España. P 11, 21 y 22. 368pp.
- Seoanes y Gutierrez. 1999. Aguas Residuales: Tratamiento por Humedales Artificiales. Mundi Prensa. P, 59-73. 326 pp. Madrid España.
- Seoanes. *et al.* 1999. Ingeniería del Medio Ambiente. 2ª Edicion. Mundi Prensa. P, 338- 342. 702 pp. Madrid España.
- Van den Akker, Holmes, Pearce and Fallowfield. 2003. A pilot study to investigate ammonia removal from drinking water using a nitrifying trickling filter. Flinders University, Adelaide, South Australia, United Water

International, Adelaide, South Australia, and Thames Water Utilities Ltd³, Spencer House Reading, UK.

- Vanhooren, Demey, Vannijvel y Vanrolleghem. 2000. Monitoring and modelling an industrial trickling filter using on-line off-gas analysis and respirometry. Water Science and Technology Vol 41 No 12 pp 139–148 © IWA Publishing. Gent. Bélgica.
- Volk. 1996. Microbiología básica. 7ª edición. Haria. México. 819 pp.
- Zsogi, Humenik, Rice y Hunt. 1997. Swine wastewater treatment by media filtration. J. Environ. Sci. Health. B32 (5). P831-843. North Carolina State University. United States of America.

Webliografía:

- Internet¹ Cundinamarca. s/a. Planta de tratamiento del Municipio de Funza. Ingeniería Ambiental. Madrid.