



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**CALIDAD DEL AGUA DE REUSO: GENERACIÓN-
ALMACENAMIENTO-DISTRIBUCIÓN, POSTERIOR A LA
RENOVACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO
“CERRO DEL AGUA”**

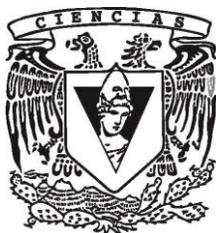
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

P R E S E N T A :

JORGE JESÚS CÁZARES VENEGAS



DIRECTORA DE TESIS:

M. en C. ISAURA YÁÑEZ NOGUEZ

2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Hoja de Datos del Jurado

1. Datos del alumno

Cázares

Venegas

Jorge Jesús

58 44 45 75

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Biología

098189142

2. Datos del tutor

M. en C.

Isaura

Yáñez

Noguez

3. Datos del sinodal 1

Dra.

Ana Cecilia

Espinosa

García

4. Datos del sinodal 2

Dr.

Rodolfo Omar

Arellano

Aguilar

5. Datos del sinodal 3

Dra.

María Teresa

Orta

Ledesma

6. Datos del sinodal 4

Dra.

Beatriz Mónica

Pérez

Ibarra

7. Datos del trabajo escrito

Calidad del agua de reuso: generación-almacenamiento-distribución, posterior a la renovación de la planta de tratamiento "Cerro del Agua"

128 p

2014

Dedicatoria

A mis padres y hermanos

Francisca Venegas Beltrán

Concepción Cázares Torres

Marcelino Cázares Venegas

Francisco Cázares Venegas y esposa Lilitiana Odette Canseco Reza

Por todo el apoyo y comprensión en los momentos más difíciles de mi vida. Por ayudarme a enfrentar todo lo que he tenido que vivir y enseñarme que:

“Lo que no me mata, me fortalece”

Friedrich Nietzsche

Agradecimientos

A Isaac Rodríguez, Marina, Roberto, Christian, Luis Miguel, Sharif, Alejandra Escamilla, Lizet Serna, Adriana, Fernando Silva, Magali Galván, Cynthia García, Fernanda Ruíz, Raúl, Mariano, Janet, Carlos Duran, Perla Neria, Miguel Hernández, Marlem Zenteno, Jazmín Velásquez, Rubén, Israel, Tania, Julieta, Mariana, Lintzy, Pedro, Gabriela Ramírez, Viridiana, Marina Ruíz, Paulina, David Suarez, Karina Osorio, Karina Márquez, Ángeles, Víctor Ávila, Mildred, Hilda, Naxdllely Negrete, Brenda Hernández, Claudia, Sandra, Michelle, Jessica, Mónica, Sonia y a todos aquellos a quienes me falta mencionar. Por permitirme vivir grandes momentos junto a ustedes a lo largo de la carrera de Biología.

A la M. en C. Ma. Estela Pérez Cruz y al M. en C. Ignacio Andrés Morales Salas, que además de ser mis profesores de la materia optativa de Acuicultura han sido unos grandes amigos.

Al proyecto PUMAGUA y al Instituto de Ingeniería de la UNAM, por permitirme realizar la tesis de licenciatura además del apoyo y la beca otorgada.

A la Dra. María Teresa Orta Ledesma y a su grupo de trabajo, en especial a la M. en C. Isaura Yáñez Noguez por tenerme la paciencia necesaria, brindarme su confianza y apoyo, además de guiarme en la realización y culminación de este trabajo.

Al Ingeniero Leonardo Isidoro Toscano Vélez por compartir conmigo sus experiencias y comentarios, por la ayuda brindada en el laboratorio, pero sobre todo por el gran apoyo otorgado para llevar a cabo todo lo que implicó la elaboración de este documento.

Al personal de la Coordinación de Áreas Verdes y Forestación de la DGO y C de la Universidad Nacional Autónoma de México, por la aportación de la información requerida para realizar los muestreos, así como por permitirme el acceso a las áreas analizadas.

A mis amigos y compañeros de los Institutos de Ingeniería, Ecología y de la Torre de Investigaciones de la Facultad de Medicina:

Mayra Itzel, Andrea, Tere, Adriana, Elisa, Stephanie, Miriam, Eunice, Reyna, Lilia, Gaby, Verónica, Arturo, Octavio, Gabriel, Daniel, Erick, Isaac, Jonás, Eduardo, Pablo, Hugo, Alberto, Iván, Betty, Ramón, Jafte, Maribel y a la Dra. Beatriz Mónica Pérez Ibarra por su valiosa ayuda.

ÍNDICE

ABREVIATURAS

RESUMEN

1. MARCO TEÓRICO	1
1.1 EL AGUA EN EL MUNDO	1
1.2 EL AGUA EN MÉXICO.....	2
1.2.1 <i>Recursos hídricos de México</i>	3
1.2.2 <i>Situación del agua en México</i>	4
1.3 NORMATIVIDAD DEL AGUA EN MÉXICO	6
1.4 NORMATIVIDAD DE AGUAS RESIDUALES EN MÉXICO	7
1.4.1 <i>NOM-003-SEMARNAT-1997</i>	10
1.5 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MÉXICO.....	11
1.6 REÚSO DE AGUAS RESIDUALES EN MÉXICO	14
1.7 CALIDAD DEL AGUA	16
1.8 INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA	16
1.8.1 <i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</i>	17
1.8.2 <i>Sólidos Suspendedos Totales (SST)</i>	18
1.8.3 <i>Coliformes</i>	18
1.8.4 <i>Huevos de helminto</i>	20
1.8.5 <i>Grasas y aceites</i>	22
1.9 ORGANISMOS PATÓGENOS EN AGUA.....	23
2. ANTECEDENTES	24
2.1 DESALOJO DE AGUAS RESIDUALES DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO (ZMVM)	24
2.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL DISTRITO FEDERAL.....	25
2.3 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN CIUDAD UNIVERSITARIA	27
2.3.1 <i>Red de alcantarillado y drenaje</i>	27
2.4 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES “CERRO DEL AGUA” (PTAR-CA)	27
2.5 CISTERNAS DE ALMACENAMIENTO DE AGUA RESIDUAL TRATADA (CAART).....	30
2.6 SISTEMA DE RIEGO DE AGUA RESIDUAL TRATADA.....	31
3. OBJETIVOS	32
4. JUSTIFICACIÓN	33
5. ÁREA DE ESTUDIO	34
5.1 CAMPUS DE CIUDAD UNIVERSITARIA UNAM.....	34
6. MATERIALES Y METODOS.....	36
6.1 COLECTA DE MUESTRAS	38
6.1.1 <i>Muestreo en la Planta de Tratamiento de Agua Residual Cerro del Agua (PTAR- CA)</i>	38
6.1.2 <i>Muestreo en cisternas de almacenamiento de agua residual tratada (CAART)</i>	40
6.1.3 <i>Muestreo en aspersores de agua residual tratada</i>	41
6.2 ANÁLISIS DE MUESTRAS	42
6.2.1 <i>Análisis Microbiológicos</i>	42
6.2.2 <i>Análisis Fisicoquímicos</i>	55

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
7.1 EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL CERRO DEL AGUA (PTAR-CA) ...	58
7.1.1 <i>Coliformes fecales</i>	58
7.1.2 <i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)</i>	60
7.1.3 <i>Sólidos Suspendidos Totales (SST)</i>	61
7.1.4 <i>Huevos de helminto</i>	61
7.2 CISTERNAS DE ALMACENAMIENTO DE AGUA RESIDUAL TRATADA (CAART).....	62
7.2.1 <i>Coliformes fecales</i>	62
7.2.2 <i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)</i>	65
7.2.3 <i>Sólidos Suspendidos Totales (SST)</i>	67
7.2.4 <i>Huevos de helminto</i>	67
7.3 ASPERSORES DE AGUA RESIDUAL TRATADA.....	68
7.3.1 <i>Coliformes fecales</i>	69
7.3.2 <i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)</i>	70
7.3.3 <i>Sólidos Suspendidos Totales (SST)</i>	71
7.4 CALIDAD BACTERIOLÓGICA DEL AGUA RESIDUAL TRATADA	72
7.5 CLORO LIBRE RESIDUAL.....	80
8. CONCLUSIONES	82
9. RECOMENDACIONES.....	84
BIBLIOGRAFÍA.....	85
ANEXO 1. MANUAL DE ACCIONES PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS DE LAS CAART.....	91
ANEXO 2. FUNDAMENTOS DE LAS TÉCNICAS Y PRUEBAS REALIZADAS	106
ANEXO 3. COMPOSICIÓN DE MEDIOS DE CULTIVO Y REACTIVOS UTILIZADOS.....	114
ANEXO 4. TABLAS DE MUESTREO Y DATOS.....	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de la PTAR-CA antes de su renovación.	29
Figura 2. Ubicación de la PTAR-CA y de las CAART, así como sus áreas de riego.	35
Figura 3. Tren de tratamiento del agua residual desde su captación en la PTAR-CA, hasta su reúso para riego de áreas verdes dentro del campus de Ciudad Universitaria-UNAM.	36
Figura 4 a, b. Influyente de la PTAR-CA.....	39
Figura 5 a, b. Efluente de la PTAR-CA.....	39
Figura 6 a, b. Toma de muestra de agua residual tratada.....	40
Figura 7 a, b. Muestreo en cisternas de agua residual tratada.....	40
Figura 8 a, b. Muestreo en aspersores de agua residual tratada.....	41
Figura 9. Esquema de diluciones seriadas y volúmenes filtrados.....	43
Figura 10 a, b. Equipo de filtración y materiales utilizados en el método de filtración de membrana.....	45
Figura 11. Medios selectivos preparados.....	46
Figura 12. a) Agar de Sulfito de Bismuto, b) Agar Endo, c) Agar Mc Conkey, d) Agar de Sal y Manitol e) Agar Cetrimida, f) Agar nutritivo.....	47
Figura 13 a, b. Conservación de cepas.....	49
Figura 14. Equipos y materiales utilizados para el sistema de identificación API-20E.....	49
Figura 15. Tiras reactivas del sistema API-20E en incubación.....	50
Figura 16. Revelación de tiras reactivas y obtención del perfil numérico.....	51
Figura 17 a, b. Muestras y materiales manejados para huevos de helmintos.....	52
Figura 18. Montaje de tubos para identificación de huevos de helmintos.....	52
Figura 19. Claves de identificación de huevos de helmintos.....	53
Figura 20. Huevos de helminto.....	53
Figura 21. Materiales utilizados para la prueba de DBO ₅	55
Figura 22. Determinación de OD final.....	56
Figura 23. Comportamiento de coliformes fecales en la PTAR-CA.....	59
Figura 24. Colonias típicas de coliformes fecales.....	60
Figura 25. Comportamiento de la DBO ₅ en el efluente de la PTAR-CA.....	60
Figura 26. Comportamiento de SST en la PTAR-CA.....	61
Figura 27. Huevos de helminto encontrados en el influente de la PTAR-CA.....	62
Figura 28. Comportamiento de coliformes fecales en las CAART.....	63
Figura 29. Comportamiento de la DBO ₅ en CAART.....	66
Figura 30. Comportamiento de SST en CAART.....	67
Figura 31. Riego de áreas verdes con agua residual tratada.....	69
Figura 32. Comportamiento de coliformes fecales en aspersores de agua residual tratada.....	70
Figura 33. Comportamiento de la DBO ₅ en aspersores de agua residual tratada.....	71
Figura 34. Comportamiento de los SST en aspersores de agua residual tratada.....	72
Figura 35. Distribución de bacterias patógenas en PTAR-CA y CAART.....	77
Figura 36. Distribución de bacterias patógenas en aspersores de agua residual tratada.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en materia de aguas residuales.	8
Tabla 2. Normas Mexicanas (NMX).....	9
Tabla 3. Límites máximos permisibles de contaminantes en agua residual para reúso.	10
Tabla 4. Plantas de tratamiento de aguas residuales de origen municipal por entidad federativa, hasta 2011.	12
Tabla 5. Plantas de tratamiento de aguas residuales de origen industrial por entidad federativa, hasta 2011.....	13
Tabla 6. Escala de clasificación de la calidad del agua con base en la DBO.....	18
Tabla 7. Principales grupos de helmintos	21
Tabla 8. Características microscópicas de huevos de helmintos.	22
Tabla 9. Plantas de tratamiento de aguas residuales en operación en el Distrito Federal, hasta 2011.....	26
Tabla 10. Cisternas alimentadas por la PTAR Cerro del Agua.....	30
Tabla 11. Calendario de Muestreo de Calidad del Agua Residual Tratada, PUMAGUA.	37
Tabla 12. Límites máximos permisibles de contaminantes en agua residual tratada para reúso en servicios al público con contacto directo (NOM-003-SEMARNAT-1997).	42
Tabla 13. Medios de cultivo empleados	43
Tabla 14. Volúmenes de filtración utilizada en cada punto de muestreo	44
Tabla 15. Presencia de huevos de helminto en el influente y efluente de la PTAR-CA.....	62
Tabla 16. Huevos de helminto en cisternas de agua residual tratada.....	68
Tabla 17. Enfermedades causadas por los microorganismos detectados en el agua residual tratada	74
Tabla 18. Bacterias patógenas identificadas en la PTAR-CA.....	75
Tabla 19. Bacterias patógenas identificadas de las CAART.....	75
Tabla 20. Bacterias patógenas identificadas en los aspersores de agua residual tratada	76
Tabla 21. Comportamiento del cloro libre residual en PTAR-CA y CAART.....	81

ABREVIATURAS

APHA	American Public Health Association
API	Índice Analítico de Perfil
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
LAN	Ley de Aguas Nacionales
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
NMX	Norma Mexicana
NOM	Norma Oficial Mexicana
OMS	Organización Mundial de la Salud
PTAR	Planta de Tratamiento de Agua Residual
PUMAGUA	Programa de Manejo, Uso y Reúso del Agua en la UNAM
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SST	Sólidos Suspendidos Totales
UFC	Unidades Formadoras de Colonias
UNICEF	Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia
USEPA	Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos

RESUMEN

La necesidad del reúso del agua aumenta día con día en diversas regiones del mundo. Principalmente en los países industrializados donde se han identificado de manera más temprana los problemas de escasez del agua, de su contaminación y de los impactos ambientales generados por su uso inadecuado. En nuestro país también se presenta la misma situación, por lo que en varias ciudades se ha comenzado a reutilizar el agua residual tratada para diferentes actividades.

Atendiendo al manejo integral y mejoramiento de la calidad del agua, en Ciudad Universitaria el “Programa de Manejo, Uso y Reúso del Agua en la UNAM” (PUMAGUA), propuso la renovación del sistema de tratamiento del agua residual en la Planta de Tratamiento de Agua Residual “Cerro del Agua” (PTAR-CA). Lo anterior debido a que ésta no cumplía con los parámetros especificados en la NOM-003-SEMARNAT-1997, para el reúso en servicios al público con contacto directo, por lo que en el año 2010 las autoridades universitarias iniciaron los trabajos de adecuación al proceso de tratamiento de la PTAR-CA. Cabe señalar que en ella se genera el mayor volumen de agua residual tratada que se reusa en el riego de áreas verdes, y en donde se incluyó un proceso terciario de ultrafiltración en el tratamiento.

En el presente trabajo se determinó la calidad del agua residual tratada para reúso en servicios al público con contacto directo, conforme a los límites máximos permisibles de contaminantes que señala la NOM-003-SEMARNAT-1997. Los parámetros evaluados fueron coliformes fecales, determinación de huevos de helminto, determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), y sólidos suspendidos totales (SST) en el efluente de la PTAR-CA, las cisternas de almacenamiento de agua residual tratada (CAART), así como los aspersores de agua residual tratada. Además se evaluó la calidad bacteriológica del agua residual tratada en estos mismos puntos.

De este trabajo se derivó también la elaboración de un manual de acciones preventivas y correctivas en cada una de las CAART a partir de la inspección física realizada en estas.

Los resultados indicaron que la PTAR-CA cumplió con los límites máximos permisibles de contaminantes específicamente para los parámetros de coliformes fecales, DBO_5 , SST y huevos de helminto. Sin embargo, para las CAART se observó variabilidad en los valores de coliformes fecales, y DBO_5 . Por otro lado los aspersores de agua residual tratada cumplen con la normatividad para los parámetros de coliformes fecales, DBO_5 y SST durante el

periodo evaluado de noviembre de 2012 a junio de 2013. Con excepción del aspersor de la cisterna Camellón Veterinaria el cual presenta valores por encima de la normatividad para coliformes fecales.

Mediante el sistema de identificación de bacterias entéricas y otros bacilos Gram negativos no exigentes (API-20E) se determinó la presencia de bacterias patógenas en diferentes puntos del sistema desde su generación en la PTAR-CA, pasando por las CAART hasta los aspersores, tales como: *Acinetobacter spp*, *Aeromonas hydrophila*, *Aeromonas hydrophila/caviae*, *Aeromonas sobria*, *Aeromonas sobria/hydrophila*, *Citrobacter freundii*, *Enterobacter agglomerans 4*, *Enterobacter amnigenus 2*, *Enterobacter cloacae*, *Escherichia coli 1*, *Hafnia alvei*, *Klebsiella pneumoniae*, *Klebsiella oxytoca*, *Kluyvera spp/Escherichia coli 1*, *Pseudomonas fluorescens/putida*, *Pseudomonas spp*, *Serratia fonticola*, *Serratia marcescens*, *Sphingomonas paucimobilis*, *Yersinia enterocolitica*.

De acuerdo a los resultados aquí expuestos se recomienda realizar las reparaciones físicas detectadas en las CAART, así como la implementación de un plan de monitoreo preventivo y correctivo periódico para conservar la calidad del agua residual tratada obtenida en la PTAR-CA y de esta manera garantizar el cumplimiento de la NOM-003-SEMARNAT-1997.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 El agua en el mundo

El agua es un factor estratégico para la generación de las riquezas necesarias para el desarrollo de cualquier país, además está involucrada en todas las actividades productivas y su importancia para el desarrollo de la vida la convierten en un factor decisivo en la calidad de vida de la población mundial (Fernández y du Mortier, 2005).

La disponibilidad de agua promedio anual en el mundo es de aproximadamente 1,386 millones de km³, de los cuales el 97.5% se encuentra en mares y océanos, en forma de agua salada y solo el 2.5%, es decir 35 millones de km³, es agua dulce. De esta cantidad casi el 70% no está disponible para consumo humano debido a que se encuentra en forma de glaciares o hielo, y en el agua subterránea almacenada a grandes profundidades. (CONAGUA, 2011b; Fernández y du Mortier, 2005).

Del agua que técnicamente está disponible para consumo humano, solo una pequeña porción se encuentra en lagos, ríos, humedad del suelo y depósitos subterráneos relativamente poco profundos, cuya renovación es producto de la infiltración. Mucha de esta agua teóricamente utilizable se encuentra lejos de las zonas pobladas, lo cual dificulta o encarece su utilización efectiva.

La precipitación pluvial constituye una parte importante del ciclo hidrológico, ya que produce el agua renovable del planeta. Una proporción importante de la precipitación pluvial regresa a la atmósfera en forma de evapotranspiración, mientras que el resto escurre por los ríos y arroyos delimitados por las cuencas hidrográficas, o se infiltra en los acuíferos. Sin embargo, esta precipitación varía regional y estacionalmente (CONAGUA, 2011b).

En el mundo se utilizan grandes cantidades de agua y, a menudo, la demanda crece mucho más rápido de lo que la naturaleza nos puede abastecer. Además, se estima que para el año 2050, la población mundial será de 9,150 millones y el crecimiento poblacional en las zonas urbanas se dará principalmente en los países en vías de desarrollo (CONAGUA, 2011b; Fernández y du Mortier, 2005).

El principal uso que se le da al agua es el agrícola, seguida del uso industrial y del abastecimiento público, sin embargo estos sectores además de generar beneficios a la población generan la contaminación de suelos y de acuíferos.

Alrededor del mundo existe un gran crisis por el vital líquido, países como China, India, Yemen, Kenia, Marruecos, Sudáfrica, Pakistán, Irán y Etiopía presentan diferentes problemas relacionados con la escasez del agua debido al aumento de la población, el uso indiscriminado de las reservas subterráneas y al mal manejo del recurso. Además, el derretimiento de los hielos polares podría aumentar el nivel del agua de los océanos, causando así la penetración de agua salada en las cuerpos de agua dulce (Guagnelli y Rebollar, 2005).

En países de América Latina se estima que el 85% de la población cuenta con servicios de agua potable, sin embargo no existe equidad en el acceso y uso de estos servicios y se observan grandes disparidades entre zonas urbanas y rurales (Fernández y du Mortier, 2005).

En el año 2000, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) estableció los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), con el fin de reducir la pobreza extrema para el año 2015. El objetivo número siete, "Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente", cuenta con la meta 7.C, relacionada al agua potable y saneamiento, que establece reducir a la mitad la proporción de personas sin acceso sostenible al agua potable y a servicios básicos de saneamiento entre el año de referencia 1990 y el 2015 (CONAGUA, 2012b).

En 2012 la UNICEF y la OMS anunciaron que la meta de agua potable dentro de los ODM se había cumplido e incluso superado en 2010. Sin embargo, en un informe de prensa publicado en mayo de 2013, ambos organismos advierten que alrededor de 2,4 millones de personas (un tercio de la población mundial) seguirán sin tener acceso a un saneamiento mejorado en 2015, si el ritmo de progreso actual continua (UNICEF, 2013).

1.2 El agua en México

La extensión territorial de los Estados Unidos Mexicanos abarca 1, 964,375 km², de los cuales 1, 959,248 km² corresponden a superficie continental y 5,127 km² son áreas insulares. Está ubicado entre los meridianos 118°42' y 86°42' de longitud oeste y entre las

latitudes 14°32' y 32°43' norte, precisamente en las mismas latitudes que los desiertos de Sahara y Árabe (INEGI, 2012 y CONAGUA, 2012b).

La ubicación geográfica y los accidentes geográficos que caracterizan el relieve de nuestro país, determinan una gran variedad de climas que inciden sobre la disponibilidad de los recursos hídricos. Dos terceras partes del territorio se consideran áridas o semiáridas, con precipitaciones anuales menores a los 500 mm, mientras el sureste es húmedo con precipitaciones promedio que superan los 2,000 mm por año (CONAGUA, 2011b).

1.2.1 Recursos hídricos de México

México posee aproximadamente el 0.1% del total de agua dulce disponible a nivel mundial, por lo que está considerado como un país de baja disponibilidad de agua, con tan sólo, 4,800 m³ de agua por habitante por año (agua.org.mx, 2004 y SEGEM, 2004).

Los recursos hidrológicos son de vital importancia para el desarrollo socioeconómico de México, sin embargo, la gran diversidad fisiográfica y climática del país hacen que el agua no este distribuida de manera proporcional (García, 2009).

Anualmente México recibe aproximadamente 1,489 mil millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. De la cual, se estima que el 73.1% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 22.1% escurre por los ríos o arroyos, y el 4.8% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos. Tomando en cuenta las exportaciones e importaciones de agua con los países vecinos, así como la recarga incidental, anualmente el país cuenta con 460 mil millones de metros cúbicos de agua dulce renovable (CONAGUA, 2012b).

En la mayor parte de nuestro país el 68% de la precipitación normal mensual ocurre entre junio y septiembre, con excepción de la península de Baja California donde se presenta principalmente en el invierno lo que acentúa los problemas relacionados con la disponibilidad del recurso debido a su distribución mensual. Y los ciclones tropicales, resultan para México muy benéficos ya que son la principal fuente generadora de lluvias, principalmente sobre el norte y noroeste del país en las regiones áridas y semiáridas, donde la escasez del agua es importante (CONAGUA, 2011b, 2012b).

Los ríos y arroyos del país constituyen una red hidrográfica de 633 mil kilómetros de longitud, en la que destacan cincuenta ríos principales por los que fluye el 87% del escurrimiento superficial del país y cuyas cuencas cubren el 65% de la superficie territorial continental del país, de las cuales se tienen identificadas 1,471 cuencas hidrográficas en el territorio nacional, además México cuenta con 7 principales lagos interiores por la superficie de su cuenca propia. En lo que se refiere a las aguas subterráneas, el país está dividido en 653 acuíferos y su importancia se manifiesta en la magnitud del volumen utilizado por los principales usuarios ya que alrededor del 37% del volumen total concesionado para diversos usos, pertenece a este origen (CONAGUA, 2011b).

1.2.2 Situación del agua en México

El agua es empleada en todas las actividades humanas, ya sea para subsistir o para producir e intercambiar bienes y servicios. En nuestro país los principales usos que se le da al agua están agrupados en cinco grandes grupos: el agrícola, el abastecimiento público, la industria autoabastecida, la generación de energía eléctrica (excluyendo hidroelectricidad), y por último el hidroeléctrico (CONAGUA, 2011b). De estos predomina el uso agrícola en el que se considera principalmente el agua empleada para riego, seguido por el uso abastecimiento público (CONAGUA, 2012b)

Existe un contraste regional entre el desarrollo y el agua renovable, ya que el recurso hídrico está distribuido de una manera desigual debido a que la ubicación de la población y los principales polos de desarrollo industrial están inversamente relacionados con la disponibilidad del agua. En las zonas norte, centro y noroeste se concentra el 76.9% de la población, se genera el 78.96% del producto interno bruto (PIB), pero únicamente existe el 31.74% del agua renovable. Por otro lado, en la zonas sur y sureste, donde habita el 23.1% de la población, se genera el 21.04% del PIB y se presenta el 68.26% del agua renovable (CONAGUA, 2012b, 2012c).

La disponibilidad natural media per-cápita del agua se redujo drásticamente en los últimos años, pasando de 18 mil metros cúbicos por habitante por año en 1950 a sólo 4,422 metros cúbicos por habitante por año en el 2010, debido al crecimiento de la población. Nuestro país tiene la característica de tener una variación temporal y espacial de la lluvia. En promedio la lluvia que se presenta anualmente en el territorio nacional es de 760 milímetros; sin

embargo, estos promedios nacionales ocultan grandes diferencias regionales, ya que estados como Baja California, recibe una precipitación de apenas 176 milímetros anuales, mientras que Tabasco recibe más de 2,100 milímetros, lo cual genera problemas de escasez en algunas regiones y exceso e inundaciones en otras. Se debe destacar también que en general, el 67% de la lluvia se presenta en tan sólo cuatro meses del año, de junio a septiembre, ocurriendo muchas veces de manera torrencial, con grandes volúmenes en muy poco tiempo, lo que dificulta su aprovechamiento y ha obligado a la construcción de gran infraestructura para su captación. Dada la ubicación geográfica año con año se sufre el embate de ciclones que ocasionan cuantiosas pérdidas en amplias zonas del territorio. Los daños asociados a los huracanes son cada vez mayores debido a la ubicación de asentamientos humanos irregulares en las zonas aledañas a los cauces, la falta de aplicación de ordenamientos territoriales, así como por la deforestación de las partes altas de las cuencas, cuyo efecto se refleja en un incremento de los escurrimientos de agua y el acarreo de suelo hacia las partes bajas (CONAGUA, 2008, 2011a).

En nuestro país existen 653 acuíferos, de los cuales 101 presentan condiciones de sobreexplotación. De los cuales se extrae aproximadamente el 49% del agua subterránea para todos los usos. Ya que para dos terceras partes del país es la principal, y en ocasiones la única fuente de agua. Además de esta sobreexplotación existen acuíferos con intrusión marina y/o bajo el fenómeno de salinización. En tanto que para 2010 se presentaba intrusión marina en 17 acuíferos costeros a nivel nacional, para finales del mismo año se habían identificado 32 acuíferos con presencia de suelos salinos y agua salobre, localizados principalmente en la Península de Baja California y en el altiplano mexicano (CONAGUA, 2011a, 2011b, 2012b, 2012c).

Por otro lado, gran parte de las aguas superficiales presentan algún grado de contaminación, ya sea por descargas de aguas residuales, fuentes difusas como los retornos agrícolas, y presencia de basura en los cauces. Hasta el año 2010 se tiene el registro de que el 91.3% y 89.9% de la población nacional contaba con los servicios de agua potable y alcantarillado respectivamente (CONAGUA, 2011a).

Además, México presenta una superficie de riego agrícola de 6.5 millones de hectáreas. En donde el volumen de agua que se emplea proviene de fuentes superficiales, que se almacena en presas o se deriva de los ríos y de aguas subterráneas que se extraen de los acuíferos a través de pozos profundos (CONAGUA, 2008).

De manera general podríamos decir que los factores que constituyen la problemática principal del sector hídrico en México son la desigual disponibilidad del agua en el territorio, la dinámica poblacional, el desarrollo de las actividades económicas, los asentamientos urbanos desordenados, la degradación de las cuencas, la sobreexplotación de los acuíferos y los efectos de las sequías e inundaciones (CONAGUA, 2011a).

Un aspecto muy importante a considerar en los escenarios futuros de México es el incremento de la población y la concentración de ésta en zonas urbanas. Se prevé que para el año 2030 más del 80% de la población total se asentará en localidades urbanas y el crecimiento poblacional será mayor en algunas regiones hidrológico-administrativas que ya presentan problemas sobre el abastecimiento del agua (CONAGUA, 2011b).

1.3 Normatividad del agua en México

El Estado Mexicano es el encargado de garantizar el derecho al acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos. Dentro del artículo 4 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos se establece que “Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible”.

El artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, hace mención sobre la propiedad de las aguas nacionales y los artículos 73, 115 y 122 de la constitución establecen las facultades legislativas del Congreso de la Unión, las facultades de los Municipios y las facultades de la Asamblea Legislativa del Distrito Federal, respectivamente, en cuanto a la misma (www.pronatura.org.mx). Además, se han creado otras leyes que regulan los recursos hídricos del país, tales como, la Ley de Aguas Nacionales (LAN), y la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA).

La LAN es reglamentaria del artículo 27 de la constitución política de los Estados Unidos Mexicanos y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable. Y señala a la Comisión Nacional del Agua como la encargada de "Administrar y preservar las aguas nacionales y sus bienes inherentes, para lograr su uso sustentable, con la corresponsabilidad de los tres órdenes de gobierno y la sociedad en general". Además de ser la encargada de expedir Normas Oficiales Mexicanas en la materia,

mediante las cuales se ejercen las atribuciones que le confiere la Ley de Aguas Nacionales (CONAGUA 2011d).

La LGEEPA es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Así mismos establece que la encargada de expedir las Normas Oficiales Mexicanas que se requieran para prevenir y controlar la contaminación de las aguas nacionales, conforme a lo dispuesto en esta Ley, en la Ley de Aguas Nacionales, y las demás disposiciones que resulten aplicables será la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

1.4 Normatividad de aguas residuales en México

La normatividad en cuanto a las aguas residuales tiene su origen en 1973 con la publicación del Reglamento para prevención y control de la contaminación de aguas, la cual fue derogada en 1982 al entrar en vigor la Ley Federal de Protección al Ambiente, en la que se establecen medidas orientadas a la protección al ambiente, se regulan todos los ámbitos donde la contaminación podría presentarse, así como sus efectos, y se incorpora la evaluación de impacto ambiental de las obras publicas y privadas. Esta ley fue derogada en 1988 al entrar en vigor la LGEEPA (Del castillo, 1998 citado por García, 2009).

La LGEEPA menciona los criterios de prevención y control de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos. Y establece que todas las aguas residuales deberán cumplir con un tratamiento previo antes de descargarse en ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, incluyendo las aguas del subsuelo para prevenir riesgos y daños a la salud pública. Por lo que se expedirán Normas Oficiales Mexicanas para prevenir y controlar la contaminación de las aguas nacionales, conforme a lo dispuesto en esta Ley, y en la Ley de Aguas Nacionales.

Además las aguas residuales provenientes de los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano, podrán utilizarse en la industria y en la agricultura, si se someten en los casos que se requiera, al tratamiento que cumpla con las Normas Oficiales Mexicanas emitidas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y en su caso, por la Secretaría de Salud.

La Ley de Aguas Nacionales fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1º de diciembre de 1992 e indica entre otras cosas que “La Autoridad del Agua” (Organismo de Cuenca o la CONAGUA) tendrá a su cargo establecer y vigilar el cumplimiento de las condiciones particulares de descarga que deben satisfacer las aguas residuales, de los distintos usos y usuarios, que se generen. Autorizar el permiso de descarga de aguas residuales en los términos de los reglamentos de esta Ley, vigilar que se cumplan las Normas Oficiales Mexicanas de calidad del agua en el uso de las aguas residuales y realizar el inventario nacional de plantas de tratamiento de aguas residuales, y el inventario nacional de descargas de aguas residuales.

Igualmente establece que para verter aguas residuales en cuerpos de agua receptores se requiere de permiso de descarga expedido por “la Autoridad del Agua” (Organismo de Cuenca o la CONAGUA), y ordena que las personas que descarguen aguas residuales causando contaminación en un cuerpo receptor, asumirán la responsabilidad de reparar o compensar el daño ambiental causado en términos de la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.

Es importante mencionar que la Ley Federal de Derechos (LFD), establece las cuotas por descargas de aguas residuales de acuerdo con el tipo de cuerpo receptor en donde se realice la descarga, conforme al volumen de agua descargada y los contaminantes vertidos (CONAGUA, 2011b).

Es indispensable contar con agua de calidad adecuada para los diversos fines que se requieran, por lo que se han expedido una serie de Normas Oficiales Mexicanas (NOM), presentadas en la tabla 1, mediante las cuales el Estado Mexicano se encarga de regular las descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores.

Tabla 1. Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en materia de aguas residuales.

NOM-001-SEMARNAT-1996	Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales
NOM-002-SEMARNAT-1996	Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal
NOM-003-SEMARNAT-1997	Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público
NOM-004-SEMARNAT-2001	Que establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final
NOM-014-CONAGUA-2003	Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada

Fuente: Estadísticas del agua en México, edición 2011.

También se han elaborado una serie de Normas Mexicanas (NMX), complementarias para su cumplimiento. En la tabla 2 se citan algunas NMX en materia de aguas residuales.

Tabla 2. Normas Mexicanas (NMX).

NMX-AA-003-1980	Aguas residuales – Muestreo
NMX-AA-004-SCFI-2000	Análisis de agua - Determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba
NMX-AA-005-SCFI-2000	Análisis de agua - Determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba
NMX-AA-006-SCFI-2010	Análisis de agua- Determinación de materia flotante en aguas residuales y residuales tratadas-método de prueba
NMX-AA-012-SCFI-2001	Análisis de agua - Determinación de Oxígeno Disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba
NMX-AA-028-SCFI-2001	Análisis de agua - Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO ₅) y residuales tratadas - método de prueba
NMX-AA-030-SCFI-2001	Análisis de agua - Determinación de la Demanda Química de Oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba
NMX-AA-034-SCFI-2001	Análisis de agua - Determinación de Sólidos y Sales Disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba
NMX-AA-042-1987	Calidad del agua - Determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y <i>Escherichia coli</i> presuntiva
NMX-AA-079-SCFI-2001	Análisis de aguas - Determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales, y residuales tratadas - método de prueba
NMX-AA-099-SCFI-2006	Análisis de agua - Determinación de nitrógeno de nitritos en aguas naturales y residuales - métodos de prueba
NMX-AA-102-SCFI-2006	Calidad del agua - Detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y <i>Escherichia coli</i> presuntiva - método de filtración en membrana
NMX-AA-113-SCFI-1999	Determinación de Huevos de Helminto - método de prueba

Fuente: SEMARNAT, Subsecretaría De Fomento Y Normatividad Ambiental.

1.4.1 NOM-003-SEMARNAT-1997

Publicada en 1998, establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, presentados en la tabla 3, y cuyo objetivo es proteger el ambiente y la salud de la población.

Tabla 3. Límites máximos permisibles de contaminantes en agua residual para reúso.

TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de helminto (h/l)	Grasas y aceites (mg/L)	DBO ₅ mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	≤ 1	15	20	20
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1000	≤ 5	15	30	30

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

Y servicios al público con contacto indirecto u ocasional las actividades donde el público en general esté expuesto indirectamente o en contacto físico incidental y que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia como: riego de jardines y camellones en autopistas, camellones en avenidas, fuentes de ornato, campos de golf, abastecimiento de hidrantes de sistemas contra incendio, lagos artificiales no recreativos, barreras hidráulicas de seguridad y panteones.

Además esta norma menciona que la materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada, y que ésta no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-ECOL-1996. Esta norma es aplicable desde la producción del agua tratada hasta su reúso o entrega, incluyendo la conducción o transporte de la misma.

1.5 Tratamiento de aguas residuales en México

Se denomina a las aguas residuales como aquellas aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas (NOM-0003-SEMARNAT-1997).

Las aguas residuales se clasifican en municipales e industriales. Las primeras corresponden a las que son manejadas en los sistemas de alcantarillado municipales urbanos y rurales, en tanto que las segundas son aquellas descargadas directamente a los cuerpos receptores de propiedad nacional, como es el caso de la industria autoabastecida (CONAGUA, 2011b).

El consumo de agua en nuestro país ha aumentado a medida que la población lo va haciendo, lo que da como consecuencia la generación de un mayor volumen de aguas residuales. Las actividades domésticas, industriales y agrícolas además de satisfacer las necesidades de la sociedad, generan grandes cantidades de contaminantes que afectan los diferentes cuerpos de agua en donde son depositados, por lo que es necesario llevar a cabo la recuperación de las aguas residuales generadas para darles un adecuado tratamiento de tal forma que no generan daños al ambiente y a la salud de la población (CONAGUA, 2012c).

Como consecuencia del cambio climático, se han publicado leyes como la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y la Ley de Aguas Nacionales, en las que se hacen referencias importantes con respecto a las aguas residuales generadas en el país. De esta manera se han creado programas tales como: el Programa Federal de Saneamiento de Aguas Residuales (PROSANEAR) y el Programa de Tratamiento de Aguas Residuales (PROTAR), mediante los cuales el gobierno brinda apoyo económico y técnico a los gobiernos estatales y municipales con el propósito de construir más plantas de tratamiento de aguas residuales (CONAGUA, 2012c).

En México se han construido plantas de tratamiento de aguas residuales, con el fin de incrementar el porcentaje de agua residual tratada, la cual permitirá sustituir agua de primer uso por agua residual tratada para diversos usos en la industria y en la agricultura; así como recuperar la calidad del agua antes de su descarga a los ríos y lagos del territorio e incrementar la recarga de los acuíferos.

Hasta diciembre de 2011 existían en el país 2,289 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación, mostrados en la tabla 4, que procesaban un caudal de 97.6 m³/s, equivalente al 46.5% del total de las aguas residuales colectadas en los sistemas de alcantarillado municipales, estimado en 210 m³/s (CONAGUA, 2011c).

Tabla 4. Plantas de tratamiento de aguas residuales de origen municipal por entidad federativa, hasta 2011.

Estado	No. Plantas	Capacidad Instalada (L/s)	Caudal Tratado (L/s)
Aguascalientes	132	4 783.5	3 351.7
Baja California	36	7 568.6	5 732.9
Baja California Sur	23	1 447.5	1 062.8
Campeche	26	174.5	147.3
Coahuila de Zaragoza	20	4 956.5	3 858.0
Colima	59	1 773.5	1 349.1
Chiapas	31	1 543.5	856.0
Chihuahua	156	9 207.3	6 459.2
Distrito Federal	28	6 770.5	3 329.8
Durango	173	4 351.9	3 345.7
Guanajuato	62	5 990.4	4 443.6
Guerrero	58	3 890.8	3 147.0
Hidalgo	17	377.5	367.2
Jalisco	151	7 016.3	5 256.3
México	139	8 743.0	6 493.9
Michoacán de Ocampo	32	3 654.5	2 845.6
Morelos	50	2 777.7	1 810.6
Nayarit	64	2 393.6	1 628.4
Nuevo León	60	17 494.0	10 250.1
Oaxaca	69	1 520.5	995.1
Puebla	70	3 213.9	2 767.8
Querétaro de Arteaga	84	2 293.4	1 500.3
Quintana Roo	34	2 350.5	1 724.2
San Luis Potosí	38	2 509.9	2 115.2
Sinaloa	210	5 794.6	5 004.1
Sonora	81	4 932.5	3 027.2
Tabasco	77	2 077.9	1 613.9
Tamaulipas	45	7 782.8	5 876.1
Tlaxcala	63	1 117.2	818.5
Veracruz de Ignacio de la Llave	105	6 911.9	5 359.4
Yucatán	28	491.4	99.1
Zacatecas	68	1 170.8	1 004.3
Total Nacional	2,289	137,082.1	97,640.2

Fuente: CONAGUA, 2011c.

En cuanto a las plantas de tratamiento de las aguas residuales de la industria nacional se tenía la existencia de 3,033 plantas de tratamiento, mostrados en la tabla 5, de las cuales 2,995 estaban tratando un volumen de 50,374 l/s, que equivalía al 56.6% de su capacidad instalada (CONAGUA, 2012c).

Tabla 5. Plantas de tratamiento de aguas residuales de origen industrial por entidad federativa, hasta 2011.

Estado	No. Plantas	Capacidad Instalada (L/s)	Caudal Tratado (L/s)
Aguascalientes	67	292.3	126.7
Baja California	62	571.2	27.8
Baja California Sur	10	8.2	8.2
Campeche	123	295.3	157.9
Coahuila de Zaragoza	70	901.1	617.8
Colima	7	429.0	308.5
Chiapas	74	9 481.9	7 415.5
Chihuahua	21	662.8	286.6
Distrito Federal	155	572.8	160.2
Durango	44	840.7	464.7
Guanajuato	57	494.0	276.6
Guerrero	9	15 927.2	26.4
Hidalgo	46	1 858.5	1 353.4
Jalisco	44	1 511.5	1 511.5
México	330	3 665.0	2 569.7
Michoacán de Ocampo	87	4 670.5	1 623. 2
Morelos	105	1 298.3	763.2
Nayarit	7	165.4	165.4
Nuevo León	105	4 131.4	2 999.9
Oaxaca	16	2 513.3	901.3
Puebla	221	1 036.2	676.9
Querétaro de Arteaga	158	1 249.3	527.5
Quintana Roo	4	12.3	5.0
San Luis Potosí	74	1 106.8	960.0
Sinaloa	261	3 464.9	906.7
Sonora	235	9 162.4	9 035.2
Tabasco	127	767.5	135.1
Tamaulipas	121	8 354.6	6 854.1
Tlaxcala	111	278.5	233.9
Veracruz de Ignacio de la Llave	187	12 862.1	8 972. 6
Yucatán	81	299.8	255.6
Zacatecas	14	154.8	47.1
Total Nacional	3 033	89 039.2	50 374.0

Fuente: Modificado de CONAGUA, 2012c.

Además se ha impulsado la participación de la industria para la realización de obras y acciones de saneamiento y dotación de infraestructura, para el tratamiento de aguas residuales (CONAGUA, 2012c).

El tratamiento de las aguas residuales puede ser enfocado hacia la reducción de la eutrofización de cuerpos de agua si el tren diseñado remueve eficientemente los nutrientes, protección de la vida acuática, prevención de la contaminación de suelos y de aguas subterráneas, protección a la salud pública y el reúso del agua tratada (Escalante y Moller, 2007).

1.6 Reúso de aguas residuales en México

El reúso del agua residual tratada es actualmente un recurso valioso y su demanda aumentará en la medida en que decrezca la disponibilidad y se incremente la necesidad de agua de primer uso (Escalante, *et al.* 2003).

La necesidad del reúso del agua aumenta día con día en diversas regiones del mundo, lo cual permite ordenar las necesidades de desarrollo planteadas por la industria, la agricultura y los asentamientos humanos, en lugares donde escasea el agua. En estos lugares las descargas residuales de tipo doméstico son usadas ampliamente en la agricultura, la industria y para recarga de acuíferos.

Los reúsos que se le dan al agua pueden agruparse en municipales, industriales y agrícolas. Dentro de los reúsos municipales se emplea en el riego de áreas verdes o parques, control de incendios, fuentes de ornato, lavado de autos y de máquinas recolectoras de basura, usos recreativos, recarga de acuíferos y reúso para consumo humano. En la industria dos tipos de procesos que pueden emplear, fácilmente, aguas residuales son los sistemas de enfriamiento y lavado y transporte industrial. Aunque su uso depende del tipo y tamaño de cada industria. Comúnmente, el agua residual domestica con o sin tratamiento se emplea para uso agrícola (Jiménez-Cisneros, 2001).

En los países industrializados se han manifestado de una manera más temprana los problemas de escasez del agua, de su contaminación y de los impactos ambientales generados por su uso inadecuado, por lo que se han desarrollado programas para su conservación control y uso más eficiente.

Actualmente existen muchos países en donde se practican diferentes tipos de reúso tales como Estados Unidos, Israel, España, Japón, Australia, entre otros. En las grandes ciudades de México y en las zonas que presentan los mayores requerimientos de agua también se ha presentado la misma situación, por lo que deben de incrementarse y de tomar más peso los programas de uso eficiente y racional del recurso hídrico, los de conservación y los de reúso (Escalante, *et al.* 2003).

México es uno de los principales reusadores de agua en el mundo, ocupando el segundo lugar en volumen y el cuarto en reúso per cápita. El reúso se practica desde 1995, cuando se inició con fines industriales, pero dada la escasez de agua, entre 1990 y 2003, el área bajo riego en la agricultura con agua de reúso se incrementó (Aboites, *et al.*, 2008). Las ciudades de Monterrey, Chihuahua y el Distrito Federal reutilizan agua residual tratada para diferentes actividades, además ciudades de la frontera norte como Tijuana, Reynosa y Matamoros contemplan dentro de su plan de desarrollo el reúso de agua residual tratada (Escalante y Moller, 2007).

Entre los reúsos del agua empleados en nuestro país, están el riego de áreas verdes, fuentes de ornato, lavado de autos y de máquinas recolectoras de basura, para riego agrícola y el reúso industrial, además de la recarga artificial del acuífero en la Ciudad de México (Jiménez-Cisneros, 2001).

De modo general las aguas residuales de origen municipal son transferidas de las redes de alcantarillado hacia zonas agrícolas y en menor proporción hacia las industrias y termoeléctricas. En cuanto al reúso del agua de origen industrial, destaca el uso en los ingenios azucareros en el cultivo de caña en el estado de Veracruz (CONAGUA, 2011b).

A través de diversos Programas Federales de Saneamiento se está promoviendo el reúso de las aguas residuales tratadas en actividades distintas de la agricultura y en los últimos años se han publicado dos Normas Oficiales Mexicanas vinculadas con la infiltración de agua a los acuíferos, la NOM-014-CONAGUA-2003 y la NOM-015-CONAGUA-2007, a fin de contribuir con la recarga artificial de aquellos que se encuentra sobrexplotados en el país (De la Peña, *et al.* 2013).

En este contexto y con la participación de la UNAM en el IV Foro Mundial del Agua en el año 2006, y en el Primer Encuentro Universitario del Agua, el Consejo Universitario de la UNAM consideró urgente adoptar medidas concretas para lograr el uso y manejo eficiente del agua

en todos sus Campus Universitarios. Fue por ello que, por mandato del propio Consejo Universitario, el Instituto de Ingeniería se dio a la tarea de plantear los objetivos, trabajos y metas para poner en marcha el “Programa de Manejo, Uso y Reúso del Agua en la UNAM”- (PUMAGUA). Cuyo principal objetivo es implementar un programa integral de manejo, uso y reúso del agua en la UNAM, con la participación de toda la comunidad universitaria (PUMAGUA, 2008).

1.7 Calidad del agua

La calidad del agua es de primordial importancia cuando se abastece a la comunidad. Muchas enfermedades endémicas en países en desarrollo son provocadas por bacterias, virus o parásitos intestinales que se transmiten a través del agua, por lo que su calidad es un factor crucial para el mantenimiento de una buena salud (Fraenkel y Thake, 2010).

El término “calidad del agua” tiene que ver con la descripción de determinada agua en términos de sus características (Hendricks, 2011). Y se define en relación con el uso o actividad a la que se le quiera dedicar, por ello no podemos hablar de buena o mala calidad en abstracto, sino que cada actividad exige una calidad adecuada (Seoanes, 1999).

Para evaluar los cambios que las diferentes aplicaciones del agua puedan originar en su calidad empleamos parámetros físicos, químicos y biológicos (Seoanes, 1999), los cuales se comparan con las normas y directrices numéricas para decidir si el agua es apta para un uso en particular (USGS, 2001). A estos parámetros se les denomina indicadores de calidad del agua.

1.8 Indicadores de calidad del agua

Los indicadores de calidad de agua variaran de acuerdo al tratamiento que se le dé al agua ya que el tratamiento que se haga a una descarga de aguas residuales municipales, será muy diferente a la que se le lleve a cabo en una planta de tratamiento de agua potable. (Hendricks, 2011). El agua residual tratada para su reúso debe cumplir con una calidad que este en función de la actividad en la que se pretenda utilizar, o de la normatividad que regule su aprovechamiento y manejo (Escalante y Moller, 2007).

Para el caso mexicano, la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, establece parámetros fisicoquímicos y microbiológicos indicadores de calidad del agua para aguas residuales tratadas que se usen en servicios al público. A continuación, se presenta una descripción de dichos parámetros.

1.8.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es la cantidad de oxígeno disuelto que puede ser consumido por oxidación bioquímica de materia orgánica degradable, bajo condiciones específicas (INVEMAR, 2003).

Es una medida de la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia orgánica, mediante procesos biológicos aerobios (principalmente por bacterias y protozoarios). Representa una medida indirecta de la concentración de materia orgánica e inorgánica degradable o transformable biológicamente. Se utiliza para determinar la contaminación de las aguas. Cuando los niveles de DBO son altos, los niveles de oxígeno disuelto (OD) serán bajos, ya que las bacterias están consumiendo ese oxígeno en gran cantidad (Sánchez, *et al.* 2007).

La DBO_5 es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días (NMX-AA-028-SCFI-2001). Por lo tanto, la DBO_5 es una prueba de laboratorio en la cual una muestra de agua se alimenta con bacterias y nutrientes, y se hace una incubación a una temperatura de 20°C durante 5 días en la oscuridad. El valor de DBO se determina comparando el valor de oxígeno disuelto (OD) de una muestra de agua tomada inmediatamente con el valor de la muestra incubada descrita anteriormente. La diferencia entre los dos valores de OD representa la cantidad de oxígeno requerido para la descomposición de material orgánico en la muestra y es la mejor aproximación del nivel de la DBO. La DBO se mide en ppm o mg/L (Sánchez, *et al.* 2007). Los valores de DBO_5 pueden interpretarse con base en la información de la tabla 6.

El valor de la DBO es con frecuencia incorrectamente usado como equivalente a la carga orgánica del agua o aguas de desecho (INVEMAR, 2003).

Tabla 6. Escala de clasificación de la calidad del agua con base en la DBO.

DBO	CRITERIO	DESCRIPCIÓN
Menor o igual a 3 mg/L	Excelente	No contaminada
Mayor a 3 mg/L y menor o igual a 6 mg/L	Buena calidad	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable.
Mayor a 6 mg/L y menor o igual a 30 mg/L	Aceptable	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.
Mayor a 30 mg/L y menor o igual a 120 mg/L	Contaminada	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.
Mayor a 120 mg/L	Fuertemente contaminada	Aguas superficiales con fuerte impacto de descarga de aguas residuales crudas municipales y no municipales.

Tomado de Sánchez, *et al.* 2007.

1.8.2 Sólidos Suspendidos Totales (SST)

El término “sólidos” se refiere a la materia sólida suspendida o disuelta en el agua o en sus desechos. Los sólidos pueden afectar adversamente la calidad de las aguas (INVEMAR, 2003). Los SST determinan los sólidos y las sales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Están constituidos por sólidos sedimentables, sólidos y materia orgánica en suspensión y/o coloidal, que son retenidas en el elemento filtrante, son de tamaño superior a una micra, por lo que son perceptibles a simple vista y pueden ser separados por medios físicos o mecánicos (González, 2009; NMX-AA-034-SCFI-2001; Rodríguez y Urzúa, 1998).

1.8.3 Coliformes

Los coliformes son un grupo de bacterias considerados indicadores de contaminación del agua, ya que se encuentran principalmente en el intestino de los humanos y de los animales de sangre caliente. Los microorganismos que forman parte del grupo de los coliformes son: *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Edwardsiella* y *Citrobacter* (Bonilla, 2011).

Son bacilos Gram negativos, no esporulados, aerobios y anaerobios facultativos, que fermentan la lactosa con producción de gas a 35°C en un periodo de incubación de 24 a 48 horas (APHA, 1989; Olivas y Alarcón, 2001), algunos pueden ser fermentadores tardíos, como *Citrobacter*, o no como *Serratia* (Bonilla, 2011). Son un grupo de bacterias que se

encuentran en diferentes ambientes como suelo, agua, plantas, animales y sedimentos (Rivera, 2009). Pueden existir como saprofitos independientemente o como microorganismos intestinales, excepto el género *Escherichia*, cuyo origen es sólo fecal.

Se han distinguido dos grupos de coliformes: los coliformes totales y los coliformes fecales. Los coliformes totales incluyen a todos los coliformes de cualquier origen, y su presencia sólo indica la existencia de contaminación, sin asegurar su origen (Apella y Araujo, 2005). Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales y se definen como todos aquellos bacilos aerobios y anaerobios facultativos, Gram negativos, con oxidasa negativa, no esporulados capaces de producir aldehídos a partir de la fermentación de la lactosa con producción de ácido y gas en 24 horas a 45.5 °C. En este grupo se encuentran los generos: *Escherichia coli*, *Enterobacter*, *Klebsiella* y *Citrobacter*, organismos que habitan en el intestino de animales de sangre caliente incluyendo al hombre (Jiménez y Marín, 2004; Monges, 2009), los cuales no se multiplican fuera de los intestinos de los animales de sangre caliente (Rodríguez y Urzúa, 1998). Además presentan ciertas ventajas como indicadores de contaminación, las cuales se presentan a continuación:

- El 95% dan una respuesta positiva a la prueba de temperatura
- Pueden estar ausentes, si la contaminación no es de origen fecal, por lo que La existencia de una contaminación microbiológica de origen fecal se restringe a la presencia de coliformes fecales
- Sobreviven menos tiempo que los totales (los cuales han perdido su termotolerancia), por lo que permiten suponer contaminación reciente, si se encuentran en altas concentraciones
- Requieren de más condiciones que los coliformes totales para reproducirse en el ambiente extraintestinal
- Los procedimientos de laboratorio para su cuantificación son relativamente sencillos, sin embargo, algunas cepas dan respuesta negativa a la prueba de temperatura en el laboratorio
- Tienen la capacidad de reproducirse en aguas ricas en nutrientes, en sedimentos y aún en aguas poco contaminadas; algunas cepas de *Escherichia coli* sobreviven menos tiempo que *Salmonella spp*, en aguas a bajas temperaturas y otras son patógenas para el hombre

(Apella y Araujo, 2005; Maya, 2000; Jiménez y Marín, 2004).

La APHA (1989) señala que la prueba de coliformes no siempre es un indicador adecuado de la inocuidad microbiológica del agua, ya que en algunos casos, pueden aislarse microorganismos patógenos en aguas que contienen pocos o ningún coliforme.

1.8.4 Huevos de helminto

Los helmintos son un grupo diverso de gusanos eucariotas multicelulares, que generalmente poseen sistemas digestivo, circulatorio, nervioso, excretor y reproductor; y pueden ser de vida libre o parásitos. De estos últimos algunas especies pasan por estadios microscópicos durante sus ciclos de vida, causando enfermedades en plantas, seres humanos y otros animales, y la alternancia compleja de generaciones puede incluir hasta tres huéspedes diferentes.

Este grupo comprende dos Phyla: los Platelmintos o gusanos planos, y los Nematelminos, o gusanos cilíndricos (Ingraham, 1998; Ojeda, 2004; Tortora, *et al.* 2010). En la tabla 7 se muestran sus principales características.

Los helmintos parásitos poseen características que los diferencian de sus formas libres:

- Pueden absorber nutrientes del alimento, fluidos del cuerpo y tejidos de sus hospederos.
- No necesitan un sistema nervioso amplio, ya que no tienen que buscar alimento o responder demasiado al ambiente.
- Sus medios de locomoción están ocasionalmente reducidos o completamente escasos, ya que son transferidos de hospedero a hospedero.
- Un individuo produce un gran número de huevos para infectar a un hospedero apropiado (Tortora, *et al.* 2010).

Tabla 7. Principales grupos de helmintos

Phylum	Clase	Características principales	Ejemplos
Platelmintos	Trematodos : duelas	Fusiformes, sin segmentar	<i>Paragonimus westermani</i> <i>Schistosoma spp.</i>
	Cestodos: tenias	Cuerpo aplanado y segmentado; excólex	<i>Taenia saginata</i> <i>Echinococcus granulosus</i>
Nematelmintos o Nematodos		Largos cuerpos cilíndricos, sin segmentar, con los extremos apuntados	<i>Trichuris trichiura</i> <i>Necator americanus</i> <i>Trichinella spiralis</i> <i>Wuchereria bancrofti</i> <i>Enterobius vermicularis</i> <i>Ascaris lumbricoides</i> <i>Onchocerca volvulus</i> <i>Loa loa</i>

Tomado y modificado de Ingraham, 1998.

La presencia de huevos de helmintos es de gran importancia ya que pueden repercutir en la salud humana (Rivera, 2009), debido al reúso de agua residual o de lodos provenientes de los sistemas de tratamiento de agua residual (US EPA, 2003 citado en Ortiz, 2010).

Los huevos de helmintos se han convertido en uno de los principales grupos indicadores de contaminación microbiológica en muestras de lodos y aguas residuales, ya que entre las características que permiten que a estos microorganismos se les considere como indicadores, se encuentran que sobreviven años, comparados contra virus y bacterias que lo hacen por meses y los protozoos que sobreviven semanas (Bowman *et al*, 2003 citado en Ortiz, 2010). En la tabla 8 se describen las características de huevos de helmintos de algunas especies.

Tabla 8. Características microscópicas de huevos de helmintos.

Phylum	Clase	Especie	Huevo
Platelmintos	Trematodos	<i>Fasciola hepática</i>	Ovoides, amarillentos, operculados. 130-150 por 60-90 μm .
	Cestodos	<i>Hymenolepis nana</i>	Esféricos (30 – 50 μm de diámetro). Contienen un embrión hexacanto. Doble envoltura que deja un espacio entre sus dos capas, donde discurren filamentos que nacen de dos abultamientos polares de la membrana interna.
		<i>Taenia saginata</i>	Esféricos, rodeados de vitelo. (30 - 40 μm de diámetro). Envoltura (embrióforo) radiada, densa. Contiene un embrión hexacanto.
		<i>Taenia solium</i>	Similares a los de <i>Taenia saginata</i>
Nematelmintos	Nematodos	<i>Trichiuris trichiura</i>	No se encuentran totalmente embrionados. Forma de limón o tonel, amarillentos. (50 por 20 μm de diámetro). Doble membrana y envoltura albuminoide. Abultamientos (uno en cada polo).
		<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ovales (40 a 80 por 35 a 50 μm). Membranas gruesas, transparentes. Cubierta albuminoidea abultada. No están totalmente embrionados al momento de la postura. Los infértiles son algo más delgados y largos, con envoltura más delgada.

Tomado y modificado de Enriquez, *et al.* 2003

1.8.5 Grasas y aceites

Son los compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como de hidrocarburos del petróleo que son extraídos de la muestra utilizando hexano como disolvente (NMX-AA-005-SCFI-2000). Son sustancias lipófilas e hidrófobas, esto es, insolubles en agua y solubles en disolventes orgánicos. Las grasas animales suelen contener ácidos grasos saturados y ser sólidas a temperatura ambiente. Las grasas vegetales suelen contener ácidos grasos insaturados y tener menor punto de fusión, por lo que son líquidas a temperatura ambiente, en cuyo caso se les acostumbra a denominar aceites (Ojeda, 2004). La determinación de grasas y aceites es indicativa del grado de contaminación del agua por usos industriales y humanos (NMX-AA-005-SCFI-2000).

1.9 Organismos patógenos en agua

Son organismos parásitos que causan un daño a su hospedador, el resultado de la relación hospedador-parásito depende de la capacidad del parásito para causar daño al hospedador y de la resistencia o susceptibilidad del hospedador al parásito (Madigan, 2003).

En suministros de aguas o aguas residuales puede encontrarse una amplia variedad de bacterias entéricas patógenas. Entre las bacterias que se transmiten por las aguas limpias y residuales se encuentran *Salmonella*, *Shigella*, *Campilobacter* *Escherichia coli* enteropático, *Vibrio cholerae*, *Leptospira* y *Yersinia*. La familia *Legionellaceae*, aunque no entérica, se encuentra ampliamente distribuida en el medio hídrico, y se han comunicado brotes epidémicos de neumonía asociados con el agua corriente y de transmisión por aerosoles (APHA 1989).

En este contexto la OMS (2006) refiere que la infección por los microorganismo patógenos es principalmente por la ingestión de agua contaminada, inhalación y el contacto y puede producir infecciones en el aparato respiratorio, lesiones en la piel o en el cerebro. Estas infecciones depende de la concentración de éstos en el agua y el volumen de agua consumida, y que la persona infectada debe haber consumido uno o más agentes patógenos viables; además uno o más de los agentes patógenos ingeridos deberá haber sobrevivido en el hospedador. Sin embargo, no todas las personas infectadas contraerán la enfermedad clínica, ya que la mayoría de los agentes patógenos generan habitualmente infecciones asintomáticas. Por lo que el porcentaje de personas infectadas que sufrirá la enfermedad clínica estará en función del agente patógeno, pero también de otros factores, como el estado inmunitario del hospedador. También es posible que un único agente patógeno pueda producir una infección y hacer enfermar a la persona infectada, aunque la probabilidad es baja. Además, las bacterias patógenas que pueden ser transmitidas por el agua, infectan el aparato digestivo y son excretadas en las heces de las personas o animales infectados

2. ANTECEDENTES

2.1 Desalojo de aguas residuales de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)

El Distrito Federal forma parte de la denominada Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), y está ubicado dentro de una cuenca endorreica perteneciente a la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico Transmexicano. A su vez la ZMVM pertenece a la región hidrológico-administrativa XIII Aguas del Valle de México (CONAGUA, 2009).

Originalmente lo que hoy se conoce como la ZMVM fue un sistema lagunar integrado por cinco grandes lagos, Texcoco, Xaltocan, Zumpango, Xochimilco y Chalco. Que desde la fundación de Tenochtitlan, en épocas de lluvia, sufría de inundaciones. Entre los siglos XVII y XVIII se comenzaron a realizar obras con el objetivo de prevenir inundaciones, con la construcción del Tajo de Nochistongo, posteriormente en el año de 1900 entró en funcionamiento el Gran Canal, para 1962 inició operaciones el Emisor Poniente y en 1975 se incorpora el Túnel Emisor Central, también llamado el Sistema de Drenaje Profundo, que originalmente fue diseñado para desalojar las aguas de lluvia y que más tarde fue utilizado para transportar aguas residuales, debido al crecimiento poblacional (CONAGUA, 2010 y CONAGUA, 2012a).

Debido a la sobre explotación de los acuíferos se han producido hundimientos en suelos que se comprimen al perder la humedad, por lo que también se ha visto afectado el sistema de desalojo de las aguas residuales (CONAGUA, 2006). Tal es el caso del Gran Canal, el cual ha perdido su pendiente original, debido a esto se ha recurrido a la construcción de plantas de bombeo para recuperar la capacidad de desalojo de las aguas residuales (CONAGUA, 2012a).

En este contexto y como parte del Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México, publicado en 2007, se inició la construcción del Túnel Interceptor Río de los Remedios (TIRR), el Túnel Río de la Compañía (TRC) y el Túnel Emisor Oriente (TEO), así como las plantas de bombeo complementarias de La Caldera, Casa Colorada Profunda y El Caracol, obras que serán parte del Sistema de Drenaje Profundo.

Una obra muy importante es la construcción del Túnel Emisor Oriente que ampliará la capacidad de drenaje actual y prevendrá graves inundaciones en el Distrito Federal. Este túnel trabajará por gravedad y recibirá las aguas residuales y pluviales provenientes de los túneles Interceptor Oriente y del Interceptor Río de los Remedios.

Entre los objetivos del Programa de Sustentabilidad Hídrica de la Cuenca del Valle de México está el de tratar el total de las aguas residuales de dicha cuenca. Por lo que además se inició la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales Atotonilco en el Estado de Hidalgo, que recibirá los caudales del Túnel Emisor Oriente y el Túnel Emisor Central para su tratamiento y reúso. Con la que se pretende dar tratamiento al 60% de las aguas residuales generadas. Y para el tratamiento del 40% restante se pretende construir otras plantas en el Estado de México (CONAGUA, 2010 y CONAGUA, 2012a).

Las obras de drenaje de la ZMVM descargan sus aguas en el Valle del Mezquital en la vecina Cuenca del Río Tula y han propiciado la conversión de lo que antes eran tierras improductivas en un importante polo de desarrollo agrícola, además de generar una importante cantidad de empleos. Sin embargo, estas aguas residuales que se emplean en riego agrícola no reciben ningún tipo de tratamiento, lo que representa un riesgo sanitario y un riesgo potencial de contaminación ambiental (CONAGUA, 2006).

2.2 Tratamiento de aguas residuales en el Distrito Federal

En la Ciudad de México, las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales surgen a partir de los años 50's, siendo su principal objetivo mantener los niveles de los lagos, canales y riego de áreas verdes. Estas plantas fueron: la planta Chapultepec (1956), Coyoacán (antes Xochimilco, 1958) y Ciudad Deportiva (1959).

En el período de 1960 a 1979, se construyeron seis plantas de tratamiento más: San Juan de Aragón, Tlatelolco, Cerro de la Estrella e Iztacalco, Bosques de las Lomas y Acueducto de Guadalupe, con el objeto del riego de áreas verdes, riego agrícola de los ejidos de Tláhuac y mantener el nivel del Lago de Aragón. De los años de 1980 a 2000 se construyeron 12 plantas de tratamiento en diferentes zonas de la ciudad, tales como las del H. Colegio Militar, Reclusorio Sur y el Rosario, San Luis Tlaxialtemalco, Abasolo y Parres, Campo Militar 1, La Lupita, PEMEX, y San Miguel Xicalco, San Andrés Mixquic y San Pedro Actopan. En el mismo periodo también se construyó la planta Santa Fe y Tetelco para el riego de áreas

verdes e infiltración y para el saneamiento de los cauces de la zona Oriente respectivamente. En el año 2005, se construyó la PTAR Santa Martha Acatitla para el servicio del Complejo Penitenciario de Santa Martha Acatitla, siendo la primer planta a nivel gobierno local para reúso en mingitorios, muebles sanitarios, además del riego de áreas verdes y el lavado de aceras (GDF, 2007).

Para el año 2011 se tenían registradas 28 plantas de tratamiento de aguas residuales de origen municipal en operación en el Distrito Federal, las cuales se presentan en la tabla 9.

Tabla 9. Plantas de tratamiento de aguas residuales en operación en el Distrito Federal, hasta 2011.

Delegación	Nombre de la planta	Capacidad Instalada (L/s)	Caudal Tratado (L/s)
Álvaro Obregón	Santa Fe	280	150
Azcapotzalco	Azcapotzalco	25	16
Coyoacán	Ciudad Universitaria	60	30
Coyoacán	Ciudad Universitaria "FCPS"	7.5	.8
Coyoacán	Coyoacán	400	150
Cuauhtémoc	U.H. Nonoalco Tlatelolco	22	15
Gustavo A. Madero	Acueducto de Guadalupe	110	102
Gustavo A. Madero	San Juan de Aragón	500	198
Iztacalco	Cd. Deportiva	230	107
Iztacalco	U. H. Picos Iztacalco	13	10
Iztapalapa	Cerro de la Estrella	4 000	2 000
Iztapalapa	Santa Martha Acatitla	14	8
Miguel Hidalgo	Bosques de las Lomas	55	25
Miguel Hidalgo	Campo Militar No. 1-A	30	25
Miguel Hidalgo	Lomas de Chapultepec	160	100
Milpa Alta	San Pedro Atocpan	60	30
Tláhuac	San Andrés Mixquic	30	30
Tláhuac	Paraje el Llano	250	100
Tláhuac	San Juan Ixtayopan (La Lupita)	15	14
Tláhuac	San Nicolás Tetelco	30	7
Tláhuac	San Lorenzo	225	80
Tlalpan	Parres	8	1
Tlalpan	Abasolo	15	7
Tlalpan	H. Colegio Militar	30	26
Tlalpan	San Miguel Xicalco	8	4
Tlalpan	U. H. Pemex Picacho	13	10
Xochimilco	Recluso Río Sur	30	19
Xochimilco	San Luis Tlaxialtemalco	150	65
Total	28	6 770.5	3 329.8

Fuente: CONAGUA, 2011c.

2.3 Tratamiento de aguas residuales en Ciudad Universitaria

2.3.1 Red de alcantarillado y drenaje

La red de drenaje y alcantarillado de Ciudad Universitaria UNAM, corresponde a un sistema de tipo combinado entre agua residual y agua pluvial, tiene una longitud aproximada de 23 km y una antigüedad de 57 años mientras que la red de la zona de institutos y la zona cultural tiene 10 años. Las redes de drenaje de Ciudad Universitaria conducen el agua residual a tres plantas de tratamiento de agua residual con las que cuenta el campus de Ciudad Universitaria UNAM, las cuales son: Planta de Tratamiento de Agua Residual Cerro del Agua (PTAR-CA), Planta de Tratamiento de Agua Residual de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales (PTAR-CPS) y Planta de Tratamiento de Agua Residual del edificio 12 del Instituto de Ingeniería (PTAR-E12) (García, 2009).

Como antecedente del tratamiento de agua que se reutilizaba en la UNAM cabe mencionar que hasta el año de 2009 se tenían en funcionamiento 26 plantas de tratamiento tipo BRAIN (Bio-Reactor Anaerobio Integrado), las cuales fueron clausuradas en ese mismo año debido a que el volumen procesado no cumplía con la actual norma de calidad de los efluentes (PUMAGUA, 2009).

2.4 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Cerro del Agua” (PTAR-CA)

Empezó a construirse en 1981 y entró en operaciones en septiembre de 1982. Localizada al noroeste del Ciudad Universitaria, en la esquina que forman las avenidas Cerro del Agua y el Circuito Escolar, frente a la facultad de Medicina, se ubica en uno de los puntos de menor elevación del Campus, por lo que la llegada del influente es por gravedad y abastece de agua residual tratada a doce cisternas que están distribuidas en el campus universitario (García, 2009 y Silva, 2009).

La Planta de Tratamiento de Agua Residual “Cerro del Agua” (PTAR-CA), en Ciudad Universitaria capta las aguas residuales provenientes de diversas zonas del campus universitario, mediante dos colectores denominados por su procedencia como “Zona Antigua

Casco Viejo” constituida por el Estadio Olímpico 68, Facultad de Ingeniería, Facultad de Química, Facultad de Arquitectura, Facultad de Medicina y Zona de Institutos, y “Colector Circuito Exterior”, conformada por el Anexo de Ingeniería, Facultad de Contaduría y Administración, Escuela Nacional de Trabajo Social, Facultad de Ciencias y la Facultad de Veterinaria. A su vez recibe también el caudal del colector de la colonia Copilco el Alto (PUMAGUA, 2008 y Silva, 2009).

Esta planta genera el mayor volumen de agua tratada que se utiliza para el riego de las áreas verdes (Yáñez, *et al.* 2010). Las cuales son una importante extensión del campus universitario, ya que son cerca de 200 hectáreas que son regadas aproximadamente por nueve meses, de finales de septiembre a junio interrumpiéndose al inicio de la época de lluvia, y en donde cerca del 94% de la población universitaria utiliza estas áreas verdes para actividades recreativas. De estas 200 hectáreas aproximadamente 50 hectáreas son regadas con agua residual tratada (Silva, 2009 y Orta, *et al.* 2012).

Como parte del “Programa de Manejo, Uso y Reúso del Agua en la UNAM” (PUMAGUA), se obtuvieron resultados que mostraron que hasta el año 2008 el agua residual tratada generada en la PTAR-CA, usada en servicios al público con contacto directo, no estaba dentro de los parámetros que marca la NOM-003-SEMARNAT-1997 (Orta, *et al.* 2012). Entre los años de 2008 y 2009 se llevaron a cabo análisis de la calidad del agua tratada del efluente para algunos parámetros tales como coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF), Indicadores Alternativos y Bacterias Patógenas, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), Sólidos Disueltos Totales (SDT), Conductividad, pH y Temperatura. De estos solo los SST, la DBO₅, y los CF están normados en la NOM-003-SEMARNAT-1997, y para los cuales se determinó que estos no cumplían con la normatividad. Además se concluyó que la PTAR-CA no operaba a su capacidad de diseño el cual es de 40 L/s (PUMAGUA, 2010).

De acuerdo a esto, se corrobora que esta planta de tratamiento no cumplió con las regulaciones locales con respecto al reúso, por lo que de acuerdo a las evaluaciones físicas y operativas se propuso mejorar el sistema de tratamiento. Iniciándose en el año 2010 los trabajos de adecuación al proceso de tratamiento por parte de las autoridades universitarias (PUMAGUA, 2010 y Orta, *et al.* 2012).

Hasta antes de la renovación, la planta llevaba a cabo un tratamiento de tipo biológico secundario mostrado en la figura 1. Contaba con tres procesos de tratamiento en paralelo: lodos activados, discos biológicos y filtro percolador, el agua tratada, previa filtración y desinfección con cloro se destinaba al riego de áreas verdes (Silva, 2009).

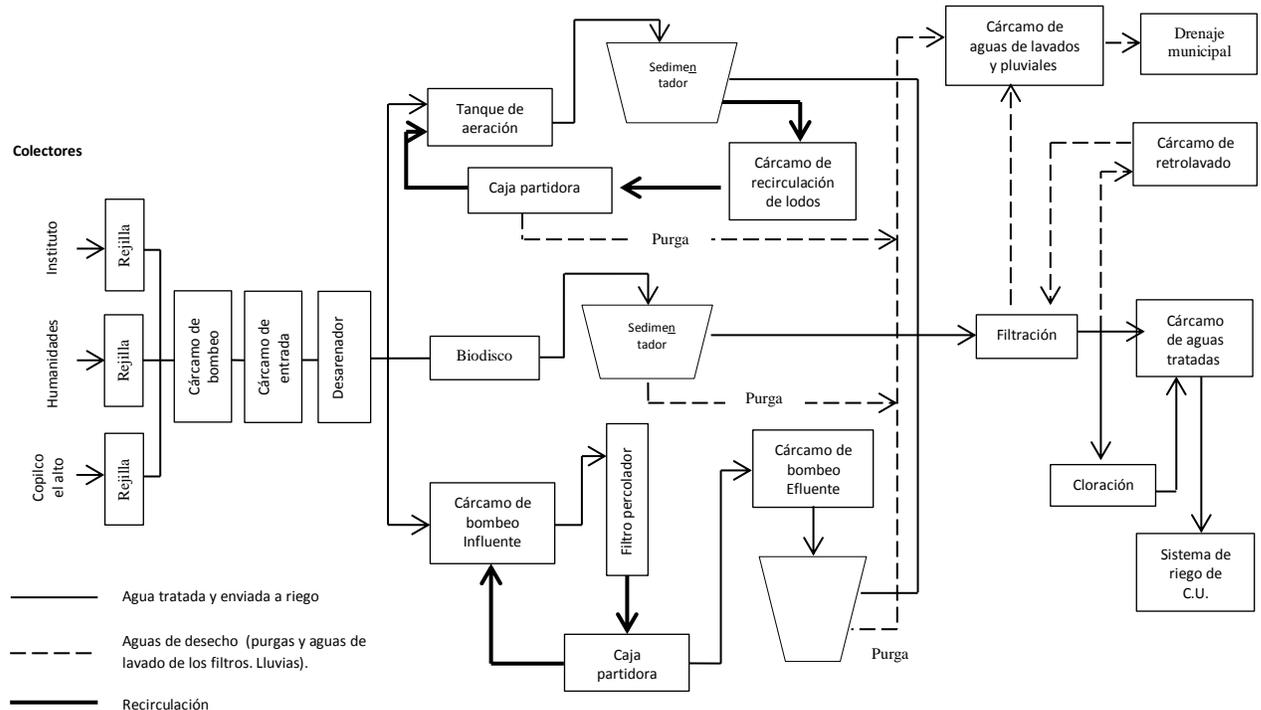


Figura 1. Diagrama de flujo de la PTAR-CA antes de su renovación.

Tomado y modificado de Silva, 2009.

En el año de 2011 finalizó la renovación del sistema de tratamiento del agua residual en la planta, que incluyó actualizar y modernizar el sistema de tratamiento de lodos activados, clausurar los sistemas de discos rotatorios y filtro percolador debido a su baja eficiencia e incluir un proceso de ultrafiltración al final del tratamiento (Yáñez, *et al.* 2010).

De febrero a junio de 2012 se monitoreo mensualmente el efluente de la Planta de Tratamiento en donde los resultados sobre la calidad del agua cumplieron con la regulación mexicana en servicios al público con contacto directo (NOM-003-SEMARNAT-1997) para coliformes fecales (CF), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y sólidos suspendidos totales (SST) (Orta, *et al.* 2012).

2.5 Cisternas de almacenamiento de agua residual tratada (CAART)

Para disponer del agua residual tratada generada en la PTAR-CA, existe una red de distribución que suministra el caudal de agua residual tratada a 12 cisternas ubicadas en distintas zonas de Ciudad Universitaria mostradas en la tabla 10 y con una longitud de 4 Km (PUMAGUA, 2008).

Tabla 10. Cisternas alimentadas por la PTAR Cerro del Agua

Cisterna	Zonas de riego	Capacidad (m ³)
CAMPUS CENTRAL	Cuadros de Rectoría Plaza jardinada (Aula Magna) Campus Central Lateral de Insurgentes Filosofía y Letras Áreas verdes de la Biblioteca Central Camellón de Arquitectura	900
CAMELLÓN QUÍMICA	Instituto de Ingeniería Campos 2, 3 y 4 Campo softbol 1 y 2 Cuadros (Frontones)	410
CAMELLÓN VETERINARIA	Camellón D.G.A.E. Entrada de Geografía Plaza jardinada Escultura "Bigotes"	1000
CENTRO MÉDICO	Consejos Académicos Programación Presupuestal Estadio Roberto "Tapatío" Méndez Campos 6 y 7 Tiro con Arco Cancha de Tenis	970
ESTADIO OLÍMPICO U.	Estadio Olímpico Universitario	85
PISTA DE CALENTAMIENTO	Campo 1 Jabalina Bala Medicina Deportiva Camellón Central Jardín oriente y poniente de Halterofilia.	340
CANCHAS CLUB PUMITAS	Campos de Pumitas	850
CANCHAS BÉISBOL	Campo de Béisbol Ex-incinerador	93
UNIDAD DE SEMINARIOS	Jardín Unidad de Seminarios	45
JARDÍN BOTÁNICO	Jardín Botánico	268
TEPOZÁN	Viveros poniente y calzada de acceso desde el jardín Botánico	100
CABAÑA	Viveros oriente Áreas jardinadas de la Cabaña	337
TOTALES		5,398

Fuente: Coordinación de Áreas Verdes y Forestación de la DGO y C, UNAM.

En el año 2010 se llevó a cabo un inventario de las cisternas de almacenamiento para agua residual tratada existentes en el campus Universitario, mediante una inspección física de cada una de ellas, en donde se detectó que la mayoría estaba en malas condiciones debido a la falta de mantenimiento, algunas presentaban fugas, otras se encontraban abiertas e incluso algunas no tenían tapas. Por lo que se hizo un monitoreo a la calidad del agua de

cada una de ellas, en donde se determinó que para los parámetros de coliformes fecales (CF), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y sólidos suspendidos totales (SST), normados en la NOM-003-SEMARNAT-1997, la mayoría de las cisternas se encontraron fuera de lo establecido por la legislación (PUMAGUA, 2010).

Actualmente no todas las cisternas son llenadas con agua residual tratada, debido a que el volumen generado en la PTAR-CA no alcanza a llegar a las cisternas que se encuentran más alejadas, por lo que son llenadas con agua potable (comentario personal de jardineros).

2.6 Sistema de riego de agua residual tratada

En Ciudad Universitaria se encuentran diversos sistemas y métodos de riego, que van desde el riego manual, donde los jardineros riegan con manguera y no aplican una lámina de riego uniforme, hasta el sistema de aspersores (Silva, 2009), los cuales están mal ubicados resultando en un mal manejo del agua debido al traslape de los radios de riego (Orta, *et al.* 2012).

En los aspersores también se realizaron monitoreos para determinar la calidad del agua en donde se obtuvieron resultados que indicaron que las bacterias del grupo de coliformes fecales superaron el límite establecido por la NOM-003-SEMARNAT-1997 y cuyos bioaerosoles que se generan durante el riego de las áreas verdes, mostraron la presencia de coliformes fecales y 12 especies de bacterias, de las cuales 8 se han reportado como bacterias potencialmente patógenas las cuales son: *Staphylococcus sp*, *Bacillus sp*, *Pseudomonas sp*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterobacter agglomerans*, *Vibrio damsela*, *Vibrio fluvialis* y *Aeromonas hydrophila* (Yáñez, *et al.* 2010).

Los estudios mencionados fueron realizados de manera aislada en diferentes tiempos. Es por ello que, la presente tesis tomó como base estos diagnósticos para realizar un estudio integral actualizado (posterior a la renovación de la planta en el año 2011), de la calidad del agua residual tratada, que se reusa en servicios al público con contacto directo. El estudio incluye la evaluación de la calidad del agua generada en la PTAR-CA, la cual es almacenada en las CAART y distribuida en el riego de jardines y áreas verdes del campus universitario a través de aspersores. Para ello se plantean los siguientes objetivos:

3. OBJETIVOS

Objetivo General

- Verificar el cumplimiento de la normatividad vigente NOM-003-SEMARNAT-1997 (reúso en servicios al público con contacto directo), para el agua tratada y reutilizada en el riego de áreas verdes del campus de Ciudad Universitaria-UNAM, posterior a la renovación de la tecnología de tratamiento de la Planta de Tratamiento de Agua Residual “Cerro del Agua” (PTAR-CA).

Objetivos Particulares

- Diagnosticar la calidad del agua en el efluente de la PTAR-CA. Con el fin de verificar si el agua que se obtiene en el efluente cumple con la normatividad NOM-003-SEMARNAT-1997.
- Evaluar la calidad del agua en cisternas de almacenamiento de agua residual tratada (CAART), proveniente del efluente de la PTAR-CA, conforme a la NOM-003-SEMARNAT-1997.
- Evaluar la calidad bacteriológica del agua residual tratada generada en el efluente de la PTAR-CA y almacenada en las CAART, así como de los aspersores de agua residual tratada y determinar las especies de bacterias con potencial patógeno no considerados en la NOM-003-SEMARNAT-1997.
- Elaborar un manual de acciones preventivas y correctivas según sea el caso, para cada una de las CAART.

4. JUSTIFICACIÓN

Para satisfacer la demanda de agua de una población es muy importante que se cuente con agua de buena calidad por lo que se han generado y desarrollado programas para su conservación control y uso más eficiente. Además, el aumento de la población ha traído como consecuencia la disminución de las fuentes de abastecimiento de agua debido a la sobreexplotación y contaminación de estas, por tal motivo existe la necesidad de utilizar las aguas residuales tratadas para diferentes propósitos que ayuden a disminuir el uso de agua potable en zonas donde la calidad del agua requerida cumpla con algún fin específico.

Al respecto, en el campus de Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México, se realizaron estudios que permitieron diagnosticar que la calidad del agua residual tratada utilizada para riego no cumplía con la NOM-003-SEMARNAT-1997, por lo que en el año de 2011 se renovó el sistema de tratamiento del agua residual en la PTAR-CA por parte de las autoridades universitarias; con el propósito de garantizar la calidad del agua requerida para el riego de áreas verdes y liberar volúmenes de agua potable, para otras actividades que lo requieran dentro del Campus, y evitar un problema de salud a la comunidad universitaria así como prevenir la contaminación ambiental.

Sin embargo, hasta el momento no se ha llevado a cabo un estudio integral sobre la calidad de agua residual tratada después de la renovación del sistema en la PTAR-CA, de igual manera, tampoco se le ha dado el seguimiento a la calidad del agua desde las cisternas de almacenamiento hasta el sistema de aspersión, el cual representa el punto en el que la comunidad universitaria tiene contacto directo con el agua.

Por tal motivo es indispensable llevar a cabo monitoreos continuos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos establecidos por la normatividad mexicana para verificar la calidad del agua residual tratada. Tanto la generada en el efluente de esta planta, así como la de las cisternas de almacenamiento donde permanece el agua residual tratada, hasta llegar a los sistemas de riego de las áreas verdes. Dichas áreas son regadas con este tipo de agua por un periodo aproximado de nueve meses al año, las cuales son utilizadas por la población universitaria para actividades recreativas.

5. ÁREA DE ESTUDIO

5.1 Campus de Ciudad Universitaria UNAM

El campus universitario de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) se localiza en la parte suroeste de la Zona Metropolitana del Valle de México lo que se conoce como zona del pedregal en el D.F. a una altura entre 2278 y 2340 m sobre el nivel del mar y cuenta con una extensión de 740 hectáreas (Anuario Estadístico de la UNAM, 2008, citado en García, 2009). Presenta un clima templado caracterizado por estaciones bien diferenciadas, en las que se presentan lluvias en verano y la estación seca se da en el invierno y primavera, las coordenadas de Ciudad Universitaria son: 19° 19' 58.71" N y 99° 11' 11.17" W (Estación Meteorológica del CCH Sur, UNAM, 2009, citado por Fonseca 2010).

Los puntos de muestreo fueron, influente y efluente ubicados dentro de la Planta de Tratamiento de Aguas Residual "Cerro del Agua", seis cisternas de almacenamiento de agua residual tratada y seis aspersores de agua residual tratada. En la figura 2, se muestra las zonas de riego analizadas y las cisternas de las que se alimentan.

El muestreo en cada una de las zonas de riego de la que dispone cada cisterna se realizó de acuerdo al lugar que se encontraba regando, procurando que en cada muestreo siempre fuera el mismo punto y que el aspersor correspondiera a la cisterna analizada el mismo día de muestreo, esto se logró con el apoyo del personal de la Coordinación de Áreas Verdes y Forestación.

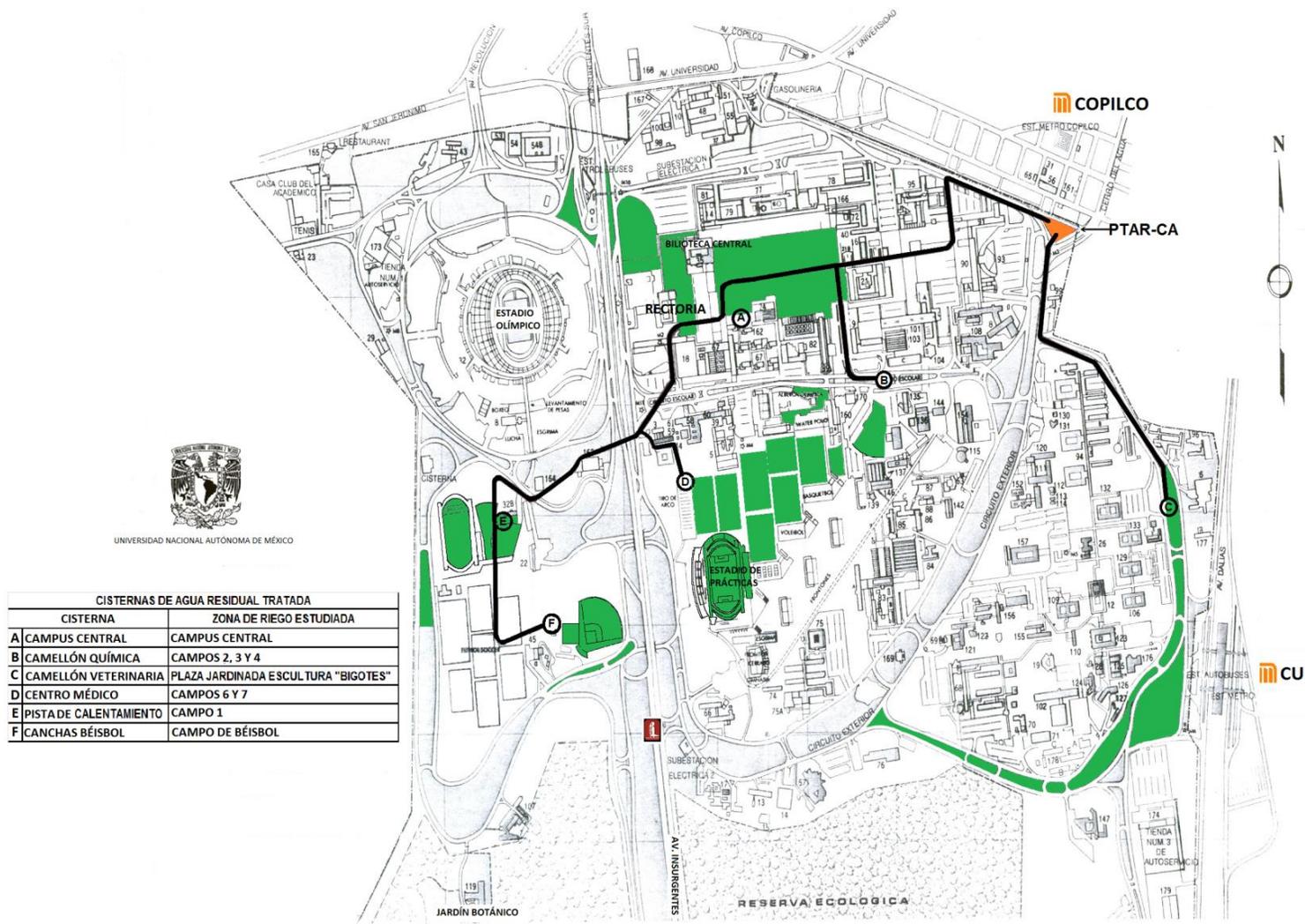


Figura 2. Ubicación de la PTAR-CA y de las CAART, así como sus áreas de riego.

Fuente: Coordinación de Áreas Verdes y Forestación de la DGO y C, UNAM.

6. MATERIALES Y METODOS

Se evaluó la calidad del agua residual tratada que se destina para el riego de áreas verdes dentro del campus de Ciudad Universitaria-UNAM, abarcando los diferentes puntos por los cuales circula el agua residual tratada (figura 3). Para ello se elaboró un plan de actividades, dividiendo los muestreos en dos partes: de agosto a noviembre de 2012 y de febrero a agosto de 2013. Esto con la finalidad de abarcar las épocas del año de secas y de lluvias, y de acuerdo a la disposición de agua residual tratada, y del calendario escolar del Campus Universitario, tal como se representa en la tabla 11.

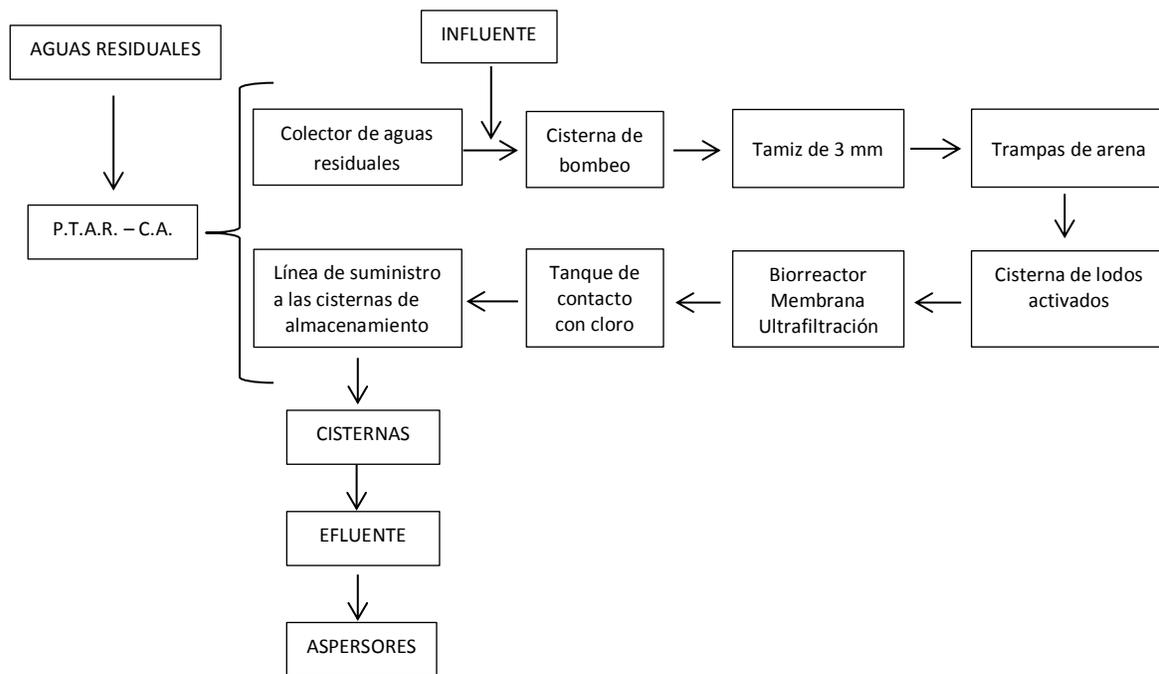


Figura 3. Tren de tratamiento del agua residual desde su captación en la PTAR-CA, hasta su reúso para riego de áreas verdes dentro del campus de Ciudad Universitaria-UNAM.

Tomado y modificado de Orta, et al. 2012.

Tabla 11. Calendario de Muestreo de Calidad del Agua Residual Tratada, PUMAGUA.

Segundo semestre del año 2012

Julio							Agosto							Septiembre						
Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
1	2	3	4	5	6	7				1	2	3	4							1
8	9	10	11	12	13	14	5	6	7	8	9	10	11	2	3	4	5	6	7	8
15	16	17	18	19	20	21	12	13	14	15	16	17	18	9	10	11	12	13	14	15
22	23	24	25	26	27	28	19	20	21	22	23	24	25	16	17	18	19	20	21	22
29	30	31					26	27	28	29	30	31		23	24	25	26	27	28	29

Octubre							Noviembre							Diciembre						
Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
											1	2	3							1
30	1	2	3	4	5	6				7	8	9	10							1
7	8	9	10	11	12	13	4	5	6	7	8	9	10	2	3	4	5	6	7	8
14	15	16	17	18	19	20	11	12	13	14	15	16	17	9	10	11	12	13	14	15
21	22	23	24	25	26	27	18	19	20	21	22	23	24	16	17	18	19	20	21	22
28	29	30	31				25	26	27	28	29	30		23	24	25	26	27	28	29

Primer semestre del año 2013

Febrero							Marzo							Abril						
Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
					1	2						1	2	31	1	2	3	4	5	6
3	4	5	6	7	8	9	3	4	5	6	7	8	9	7	8	9	10	11	12	13
10	11	12	13	14	15	16	10	11	12	13	14	15	16	14	15	16	17	18	19	20
17	18	19	20	21	22	23	17	18	19	20	21	22	23	21	22	23	24	25	26	27
24	25	26	27	28			24	25	26	27	28	29	30	28	29	30				

Mayo							Junio							Agosto						
Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
			1	2	3	4							1					1	2	3
5	6	7	8	9	10	11	2	3	4	5	6	7	8	4	5	6	7	8	9	10
12	13	14	15	16	17	18	9	10	11	12	13	14	15	11	12	13	14	15	16	17
19	20	21	22	23	24	25	16	17	18	19	20	21	22	18	19	20	21	22	23	24
26	27	28	29	30	31		23	24	25	26	27	28	29	25	26	27	28	29	30	31

-  Muestreo en la PTAR, Cerro del Agua de CU
-  Muestreo en cisternas y aspersores de agua residual tratada

6.1 Colecta de muestras

Las muestras simples para los análisis bacteriológicos fueron tomadas en bolsas Whirl-Pak estériles de polietileno transparentes marca Nasco con capacidad para 532 mL.

Para la colecta de muestra la bolsa Whirl-pak se colocó bajo la caída del agua llenando las 2/3 partes de la bolsa.

Las muestras para evaluar los parámetros fisicoquímicos tales como DBO_5 y sólidos suspendidos totales fueron tomadas en frascos de plástico redondos de cuello ancho marca Nalgene con capacidad de 1000 ml.

Para las muestras simples de huevos de helminto se utilizaron garrafones de polietileno de 4L de capacidad previamente lavados y desinfectados con cloro y enjuagados con agua destilada cada vez que se hicieron los muestreos.

6.1.1 Muestreo en la Planta de Tratamiento de Agua Residual Cerro del Agua (PTAR- CA)

Influyente

El punto del muestreo para el influente (figura 4 a), fue ubicado posterior a la planta que separa los sólidos y arenas de aguas residuales. En el que se dejó fluir un volumen aproximadamente de 10 veces el volumen de la muestra y se tomaron las muestras para los análisis bacteriológicos, colocando una bolsa Whirl-Pack (previamente identificada) bajo la caída del agua (figura 4 b). Para los análisis fisicoquímicos se colectó el agua del influente en los frascos de plástico y para la identificación de huevos de helminto se tomó agua en los garrafones de polietileno.

Todas las muestras tomadas se colocaron en una hielera con bolsas refrigerantes a 4°C aproximadamente y se transportaron al laboratorio de Ingeniería Ambiental del Instituto de Ingeniería de la UNAM donde fueron analizadas.

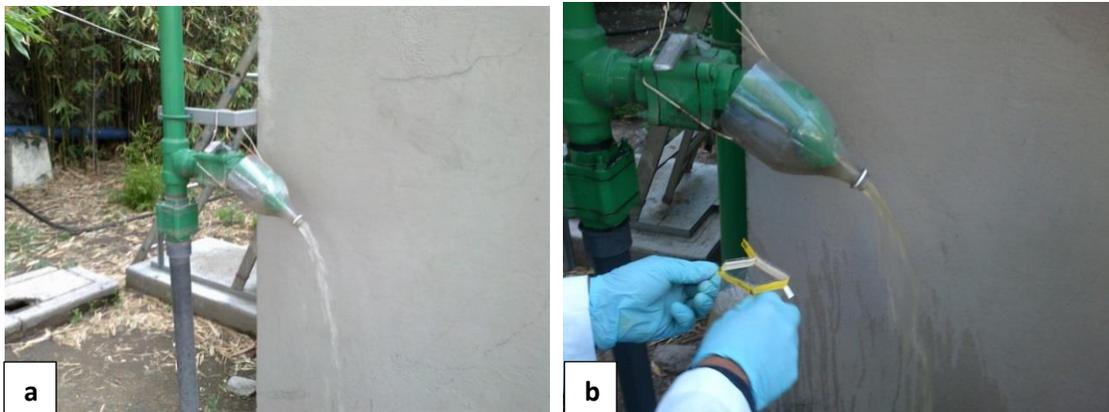


Figura 4 a, b. Influyente de la PTAR-CA

Efluente

El punto de muestreo para el efluente fue en la tubería de alimentación a cisternas (figura 5 a, b), que se encuentra ubicada después del tanque de contacto de cloro, la cual cuenta con una toma de agua.

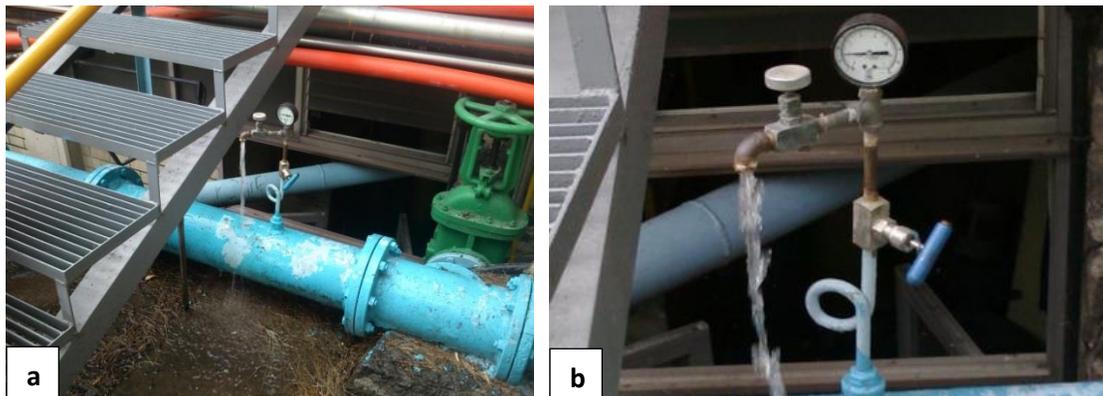


Figura 5 a, b. Efluente de la PTAR-CA

Para este punto se dejó fluir un volumen aproximadamente igual a 10 veces el volumen de la muestra, posteriormente se colocó la bolsa Whirl-Pack bajo la caída del agua y se tomó la muestra en las bolsas previamente identificadas que se colocaron en frío a 4°C aproximadamente dentro de una hielera (figura 6 a).

A continuación se tomaron las muestras para los análisis fisicoquímicos enjuagando tres veces los frascos con el agua de dicha toma antes de coleccionar la muestra a analizar. Para el análisis de huevos de helminto se tomó una muestra de 4L de agua en el garrafón

previamente identificado (figura 6 b), el cual también se enjuago tres veces con el agua a analizar antes de tomar la cantidad requerida, se cerraron y se colocaron en una hielera a 4°C.

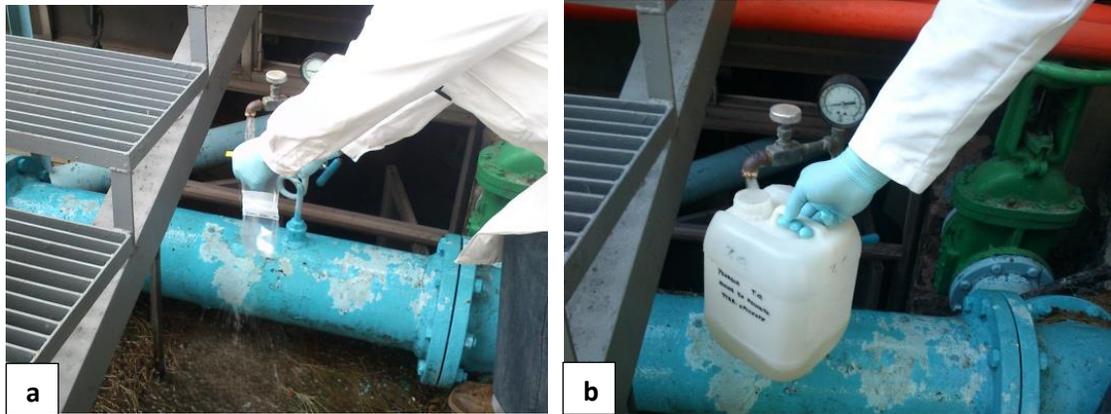


Figura 6 a, b. Toma de muestra de agua residual tratada

6.1.2 Muestreo en cisternas de almacenamiento de agua residual tratada (CAART)

Debido a que cada una de las cisternas muestreadas no cuenta con alguna toma de agua cercana para coleccionar la muestra se utilizó una cubeta y una cuerda (figura 7 a y b), las cuales fueron desinfectadas con cloro y enjuagadas con agua destilada antes de tomar la muestra de agua entre cada una de las cisternas. La cubeta se introdujo a la cisterna, se enjuago tres veces con la misma agua y se procedió a tomar las muestras dejando caer un flujo de agua leve.



Figura 7 a, b. Muestreo en cisternas de agua residual tratada

Las muestras de agua para los análisis bacteriológicos, parasitológicos y fisicoquímicos fueron colectadas siguiendo el mismo procedimiento utilizado en el efluente de la PTAR- CA.

En el caso de las muestras para los análisis parasitológicos se almacenaron en refrigeración a 4°C en el laboratorio, hasta su procesamiento.

6.1.3 Muestreo en aspersores de agua residual tratada.

Para realizar este muestreo se requirió de la ayuda de los jardineros encargados de cada una de las zonas, quienes disminuyeron la presión del agua de los aspersores para poder tomar las muestras de agua (figura 8 a y b). Además en la medida de lo posible se trató de tomar el agua de los aspersores que tuvieran por lo menos 15 minutos regando.

En estos puntos solo se tomaron muestras para análisis bacteriológicos y fisicoquímicos acercando la bolsa Whirl-Pack y los frascos Nalgene al chorro de agua, llevando a cabo el mismo procedimiento que en el efluente y en las cisternas.



Figura 8 a, b. Muestreo en aspersores de agua residual tratada

Todas las muestras colectadas se depositaron en una hielera con bolsas refrigerantes para mantener una temperatura de entre 4°C y 10°C, y transportadas en un tiempo mínimo con respecto a su colecta al laboratorio de Ingeniería Ambiental del Instituto de Ingeniería de la UNAM para su análisis.

6.2 Análisis de muestras

Las muestras colectadas se analizaron de acuerdo con los parámetros establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, principalmente en servicios al público con contacto directo, mostrados en la tabla 12, y en donde se consideran los siguientes reúsos: llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines.

Tabla 12. Límites máximos permisibles de contaminantes en agua residual tratada para reúso en servicios al público con contacto directo (NOM-003-SEMARNAT-1997).

TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL			
	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de helminto (h/l)	DBO ₅ mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	≤ 1	20	20

6.2.1 Análisis Microbiológicos

El análisis microbiológico incluyó la determinación de los parámetros de coliformes fecales, coliformes totales y bacterias patógenas, además de la determinación de huevos de helmintos. El fundamento de cada una de las técnicas empleadas se presenta en el anexo 2.

6.2.1.1 Coliformes fecales y bacterias patógenas

Para la determinación de coliformes fecales, coliformes totales y microorganismos patógenos se utilizó el método de filtración de membrana referida en la NMX-AA-102-SCFI-2006. Calidad del agua – Detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* presuntiva – Método de filtración en membrana.

Medios empleados

Los medios selectivos utilizados para estas determinaciones se muestran en la tabla 13, su composición, modo de preparación y la morfología colonial que se desarrolla en cada medio, se presenta en el anexo 3.

Tabla 13. Medios de cultivo empleados

Medio selectivo	Marca	Número de Catalogo
Agar m FC	BD Difco	267720
Agar m Endo LES	DB Difco	273620
Agar Endo	BD BBL	211199
Agar Mc Conkey	BD Bioxon	210900
Agar de Sulfito de Bismuto	BD Bioxon	211745
Agar Cetrimida	Merck	105284
Agar de Sal y Manitol	BD Bioxon	214600

Estandarización del volumen de muestreo

El análisis de las muestras de agua se llevó a cabo lo antes posible después del acopio, procurando que no se excediera un tiempo máximo de 6 horas. Debido a que se ignoraba la densidad bacteriana de la muestra de cada punto, durante los primeros muestreos se filtraron varios volúmenes de agua de entre 0.00001 mL y 100 mL para establecer el volumen de muestra a analizar. De esta manera se realizaron las diluciones correspondientes para cada muestra de agua tal como se muestra en la figura 9.

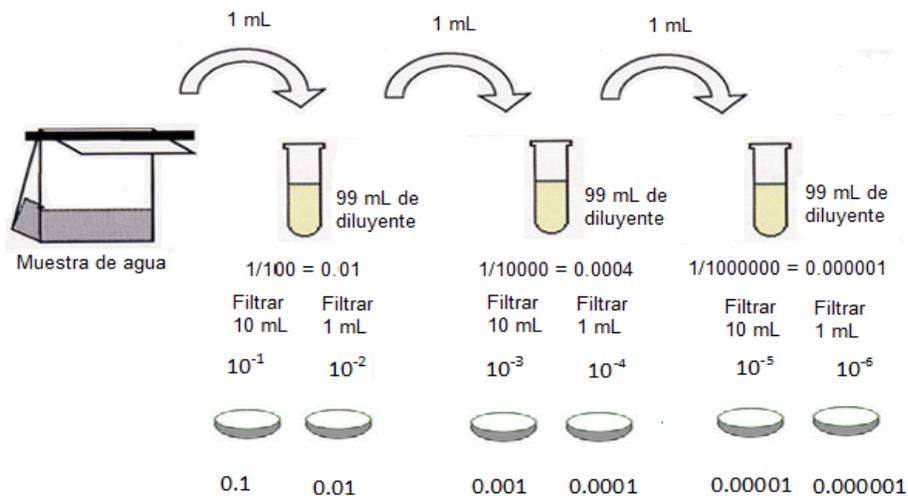


Figura 9. Esquema de diluciones seriadas y volúmenes filtrados.

Tomado y modificado de http://virus.usal.es/web/demo_microali/Saureus/SaureusPlaca.html

Posteriormente se eligieron los volúmenes que mostraron recuentos de menos de 20 colonias por membrana, y se tomaron dos cantidades adicionales, una que representaba una décima parte y otra que represento diez veces más el volumen elegido.

Así se obtuvieron los volúmenes mostrados en la tabla 14, para cada uno de los puntos estudiados.

Tabla 14. Volúmenes de filtración utilizada en cada punto de muestreo

Punto Analizado	Volumen filtrado mL							
	100	10	1	0.1	0.01	0.001	0.0001	0.00001
Influente PTAR-CA							X	X
Efluente PTAR-CA	X	X	X	X				
Cisterna Campus Central		X	X	X				
Aspersor Campus Central		X	X	X				
Cisterna Camellón Química		X	X	X				
Aspersor Camellón Química		X	X	X				
Cisterna Camellón Veterinaria		X	X	X				
Aspersor Camellón Veterinaria		X	X	X				
Cisterna Centro Médico		X	X	X				
Aspersor Centro Médico		X	X	X				
Cisterna Pista de Calentamiento		X	X	X				
Aspersor Pista de Calentamiento		X	X	X				
Cisterna Canchas Béisbol		X	X	X				
Aspersor Canchas Béisbol		X	X	X				

El procedimiento para el Método de filtración en membrana consistió primero en aclimatar las muestras de agua a analizar, así como las cajas Petri con medio de cultivo (preparado previamente) a utilizar, si es que se encontraban en refrigeración y preparar el equipo necesario (figura 10 a, b). Se armó el equipo de filtración y se colocó una membrana filtrante estéril de 47 mm de diámetro y tamaño de poro de 0.45 μm , marca MILLIPORE (número de catálogo: HAWG047S6) sobre el soporte poroso, utilizando las pinzas muelle esterilizadas previamente por flámeo, cuidando de que la cuadrícula de la membrana quedase hacia arriba. Se colocó el embudo superior sujetándolo con la pinza metálica.

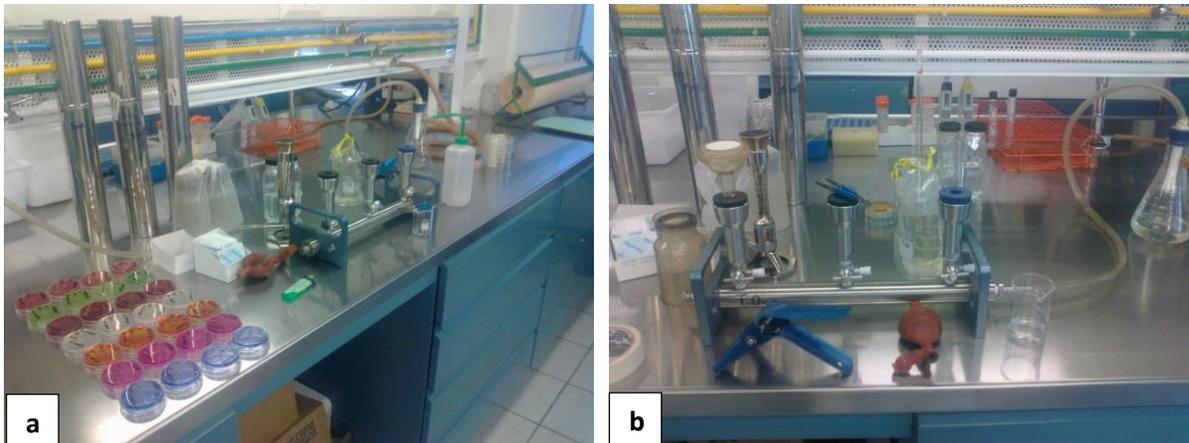


Figura 10 a, b . Equipo de filtración y materiales utilizados en el método de filtración de membrana

Se homogenizó la muestra y se agregó el volumen elegido sobre la membrana, se filtró con ayuda del vacío, posteriormente se retiró la membrana con ayuda de las pinzas muelle esterilizadas previamente y se depositó en una caja Petri con agar m-FC. Las cajas Petri con las membranas fueron colocadas en posición invertida para la incubación y acomodadas en bolsas de plástico con cierre hermético, para el caso de los coliformes fecales se sumergen las bolsas de plástico en un baño maría a 44.5 ± 0.2 °C durante 24 ± 2 horas.

Para la determinación de coliformes totales se utilizó el agar m Endo LES siguiendo el mismo procedimiento y colocando las cajas Petri en posición invertida en una incubadora a una temperatura de 35 ± 0.5 °C durante 24 ± 2 horas.

De acuerdo con antecedentes previos en los que se detectaron otras bacterias potencialmente patógenas en los puntos estudiados, se prepararon los medios selectivos Endo, Mc Conkey, Sulfito de Bismuto, Sal y Manitol, y Cetrimida, para determinar su presencia, y se siguió el mismo procedimiento del método de filtración en membrana. Estos medios fueron colocados en posición invertida en la incubadora a una temperatura de 35 ± 0.5 °C durante 24 ± 2 horas. En la figura 11 se muestran los medios de selectivos deshidratados que se prepararon.

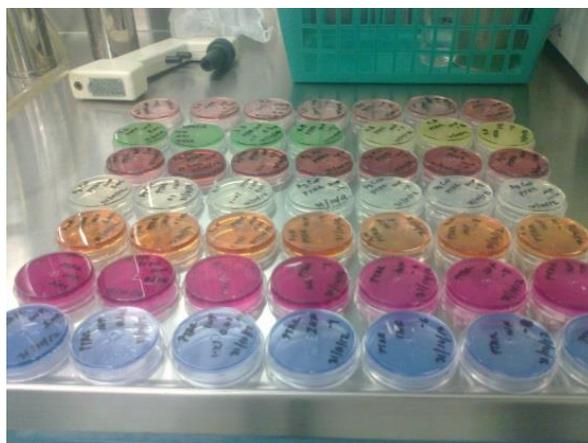


Figura 11. Medios selectivos preparados

Los resultados fueron reportados como unidades formadoras de colonias por cada 100 mL (UFC/100 mL). Con la siguiente fórmula:

$$\text{UFC} / 100\text{ mL} = \frac{\text{número de colonias contadas}}{\text{número de mL de muestra filtrada}} \times 100$$

Una vez obtenido el crecimiento colonial en cada agar selectivo (figura 12 a, b, c, d, e.), se procedió a su aislamiento en agar nutritivo marca BD Bioxon, (código: 210400) (figura 12 f), para su conservación y posterior identificación. El modo de preparación del agar nutritivo se muestra en el anexo 3.

El aislamiento de las cepas se realizó mediante la técnica de cultivo por estría en placa, en la cual se limpió el lugar de trabajo y con ayuda del mechero se creó un área estéril. Se esterilizó el filamento del asa de siembra por flameo, se tomó una colonia de la caja Petri que contenía medio de cultivo con las cepas sembradas anteriormente. En una caja Petri con agar nutritivo estéril se inoculó una colonia perfectamente aislada, con un asa bacteriológica se sembró por estría cruzada para obtener colonias perfectamente aisladas. Las cajas inoculadas se incubaron a 35°C por 24 horas. Una vez transcurrido este tiempo se verificó su crecimiento y se mantuvieron en refrigeración a 4°C.

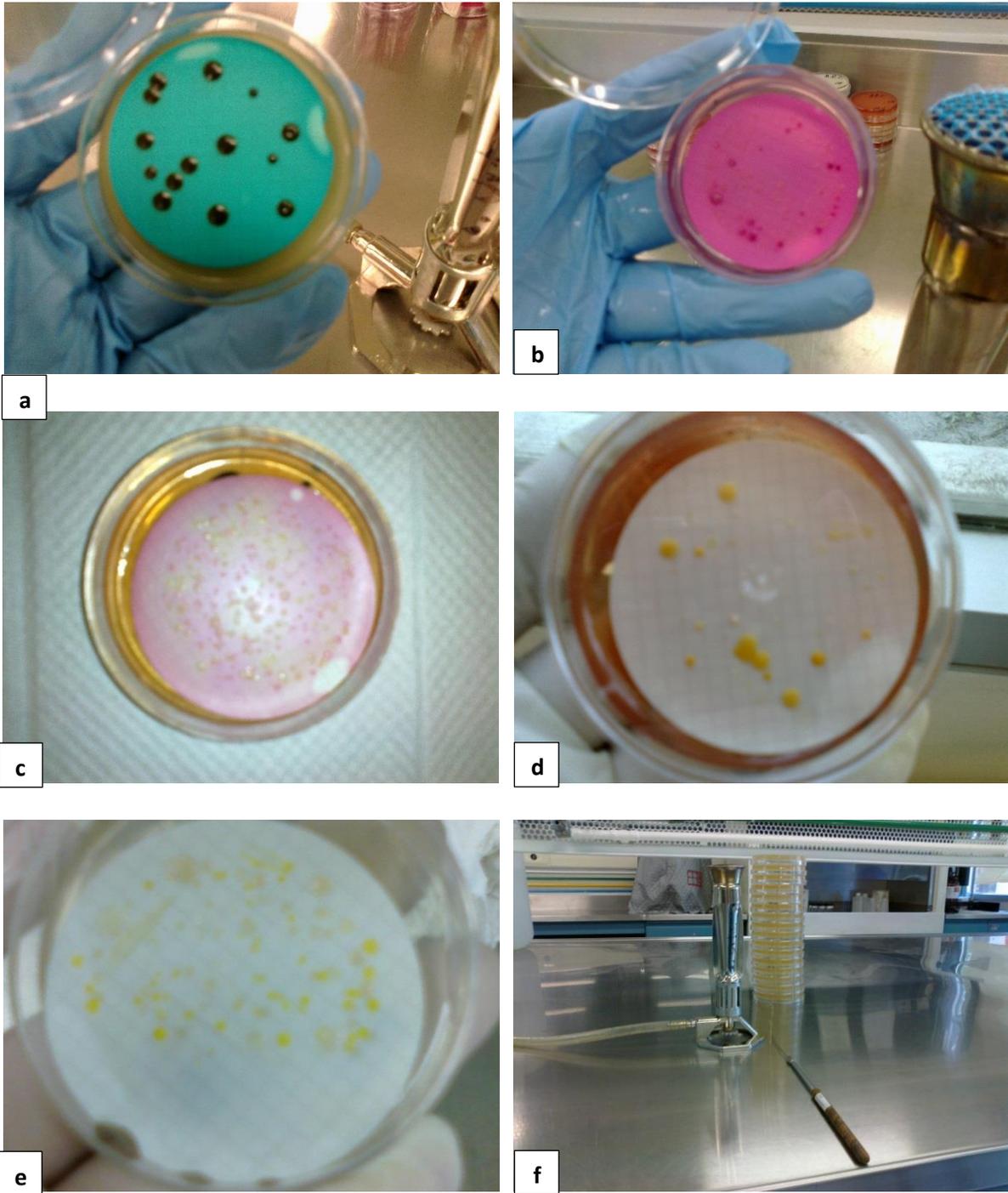


Figura 12. a) Agar de Sulfito de Bismuto, b) Agar Endo, c) Agar Mc Conkey, d) Agar de Sal y Manitol
e) Agar Cetrimida, f) Agar nutritivo

6.2.1.2 Tinción de Gram

Se realizó una selección de todas las cepas aisladas obtenidas mediante la tinción diferencial de Gram para determinar si estas pertenecían al grupo de bacterias bacilos Gram negativas. Para lo cual se necesitaron cultivos puros resembrados de 18 a 24 horas antes, con los cuales se prepararon los frotis y se fijaron las muestras para cada una de los cultivos bacterianos.

Cada una de las preparaciones se cubrió con dos gotas de violeta de genciana y se mantuvo así durante un minuto, se lavó con agua destilada, y se cubrió con dos gotas de lugol, dejando actuar durante un minuto y se volvió a lavar con agua destilada.

A continuación se agregó alcohol-acetona gota a gota hasta que no se observó desprendimiento del colorante y se añadió inmediatamente agua para evitar el arrastre completo. Se agregaron dos gotas de safranina dejando actuar de treinta segundos a un minuto, después se lavó con agua destilada y se dejó secar la preparación al aire.

Una vez secas las preparaciones se observaron al microscopio óptico con el objetivo de 100x, para separar cada cepa entre Gram positiva y Gram negativas, además de determinar su morfología microscópica como: bacilos, cocos, espirilos o vibrios.

Conservación de Cepas

Después de hacer la tinción de Gram se realizó la conservación en agar nutritivo marca BD Bioxon (código: 210400) de cada una de las cepas obtenidas, tomando en cuenta que cada cultivo a conservar debía ser puro y procurando evitar contaminaciones durante el proceso de conservación. Las cepas se conservaron en tubos de vidrio con tapón de rosca, como se muestra en la figura 13 a, b, los cuales contenían agar nutritivo inclinado.

La conservación de las cepas se realizó mediante la técnica de cultivo por estría en tubo inclinado, en la cual se limpió el lugar de trabajo y con ayuda del mechero se creó un área estéril. Se utilizó un asa de punta esterilizada por flameo, se tomó una colonia proveniente del medio nutritivo y se inoculó en tubo de agar inclinado. Los tubos sembrados se incubaron a 35°C por 24 horas. Una vez transcurrido este tiempo se verificó su crecimiento y se procedió a mantenerlas en refrigeración a 4°C.

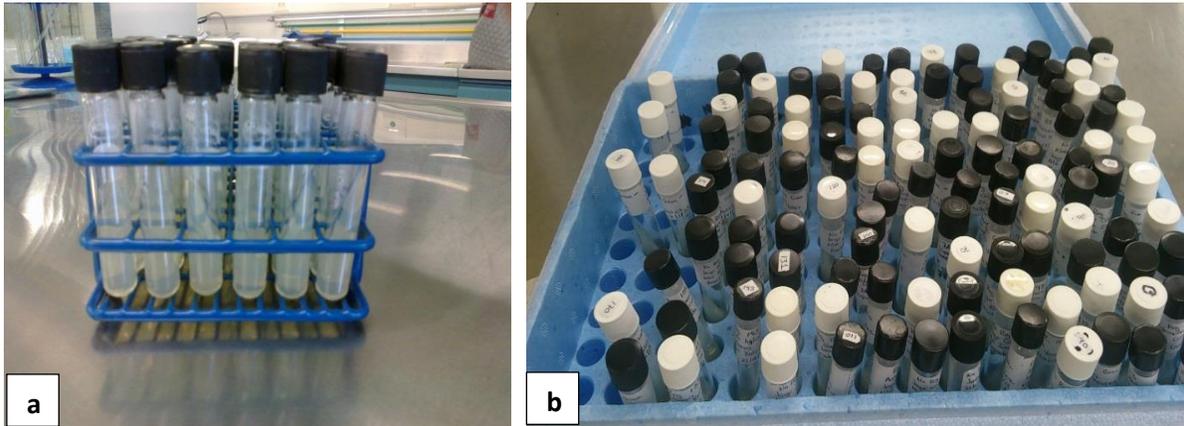


Figura 13 a, b. Conservación de cepas

6.2.1.3 Identificación de bacterias patógenas

Pruebas bioquímicas mediante el sistema API-20E

Todas las cepas bacterianas que fueron identificadas como bacterias Gram negativas se sometieron a la prueba de identificación API-20E (Analytical Profile Index), la cual es un sistema estandarizado que se basa en pruebas bioquímicas miniaturizadas para la identificación de bacterias entéricas y otros bacilos Gram negativos no exigentes incluso hasta nivel de especie. En la figura 14, se muestra el material y el equipo utilizado en esta técnica. El fundamento de cada una de las pruebas bioquímicas se explica en el anexo 2.



Figura 14. Equipos y materiales utilizados para el sistema de identificación API-20E

Para la identificación bacteriana mediante API-20E se resembraron los cultivos puros en agar BHI (el modo de preparación del agar nutritivo se muestra en el anexo 3) marca BD Bioxon (código: 214700), y se incubaron de 18 a 24 horas a 35°C. A los cultivos frescos se les practicó la prueba de la oxidasa, tomando el centro de una colonia con un palillo estéril de la caja de agar BHI de 24 horas y colocándola en un papel filtro donde previamente se agregó una gota del reactivo “oxidase reagent” de la marca BioMérieux (número de catálogo: 55 635).

La técnica de API-20E consistió en preparar la cámara de incubación del sistema llenando con agua destilada los pozos de la charola, rotulándola y colocando la tira reactiva. Posteriormente, se preparó una suspensión bacteriana tomando con un palillo estéril o asa de plástico, de una a tres colonias de la caja con agar BHI, depositándolas en un tubo con solución salina estéril al 0.85%. Se agitó en vórtex y se comparó la turbidez del tubo con la suspensión del tubo No. 1 de la escala nefelométrica de Mc Farland (previamente preparada), para obtener una concentración aproximada de 300×10^6 bacterias/mL.

Una vez preparada la suspensión, se llenaron cada uno de los microtubos de la tira reactiva de la siguiente manera: los de las siglas marcadas con un recuadro, se llenaron hasta la cúpula, los subrayados fueron llenados un poco antes del borde del tubo y se adicionaron dos o tres gotas de aceite mineral, y el resto se de los depósitos se llenaron un poco antes del borde con la suspensión. Se cubrió la charola y se incubó a 35°C por un periodo de entre 18 a 24 horas (figura 15).



Figura 15. Tiras reactivas del sistema API-20E en incubación

Después de la incubación se procedió a leer los resultados, para ello se agregaron los reactivos correspondientes de la marca BioMérieux (número de catálogo: 20 120), mostrados en la figura 16 a, para revelar las pruebas de TDA, VP e IND. Posteriormente se hizo la lectura de las pruebas para obtener un perfil numérico en el formato proporcionado en el sistema (figura 16 b). Este perfil, se buscó en las claves de identificación del catálogo analítico del sistema API-20E (código: 20 190) para identificar las bacterias aisladas.

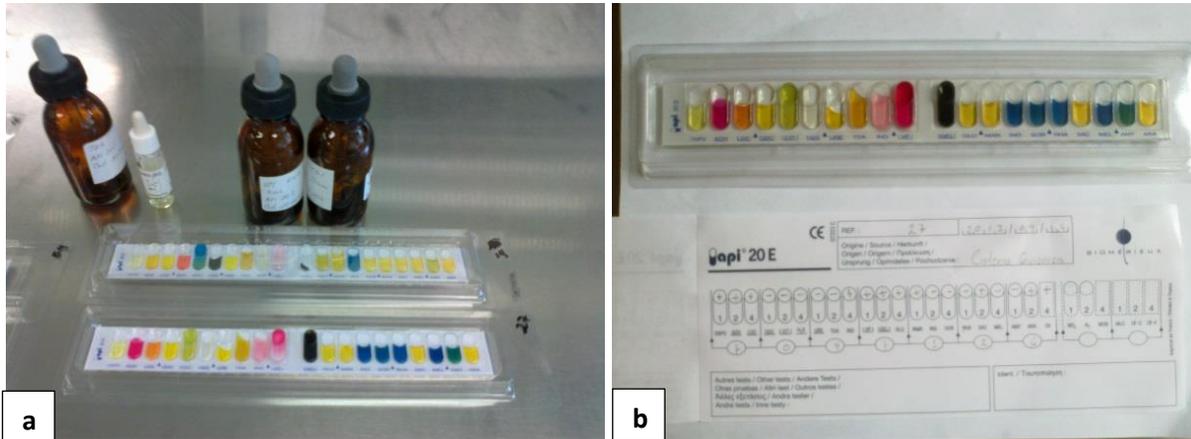


Figura 16. Revelación de tiras reactivas y obtención del perfil numérico

6.2.1.4 Identificación de huevos de helmintos

La determinación y cuantificación de huevos de helmintos se llevó a cabo por la técnica de Leeds I. Donde la muestra refrigerada se aclimató antes de iniciar el procedimiento, el cual consistió en homogenizar la muestra, tomar un litro y repartirla en tubos de 250 mL para centrifugar a 2500 rpm durante 10 minutos, se eliminó el sobrenadante de cada tubo y se lavó el sedimento con tween 80 al 0.01 % depositándolo en tubos de 50 mL.

Éstos se centrifugaron durante 10 minutos a 2500 rpm, descartando el sobrenadante y dejando 5 mL en el fondo del tubo, se homogenizó el sedimento y se traspasó a tubos de 15 mL enjuagando los tubos con la solución de tween 80 al 0.01 %, los cuales se centrifugaron 10 minutos a 2500 rpm desechando el sobrenadante. Posteriormente, se agregaron de 3 a 4 mL de solución saturada de sulfato de zinc (gravedad específica 1:18) agitando fuertemente con ayuda del vortex, y se llenaron los tubos sin llegar hasta el tope con la misma solución, volviendo a centrifugar estos tubos a 1000 rpm durante un minuto. En la figura 17 a, b, se

pueden observar las muestras de agua residual tratada y los materiales utilizados en la técnica.

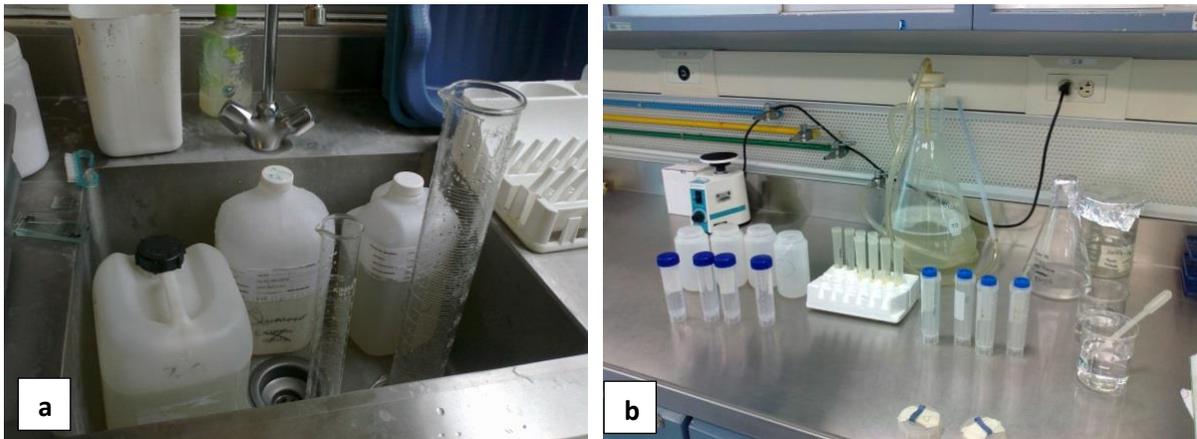


Figura 17 a, b. Muestras y materiales manejados para huevos de helmintos

Una vez transcurrido el minuto se procedió a colocar los tubos en una gradilla y llenarlos con la solución de sulfato de zinc (gravedad específica 1:18) hasta formar un menisco positivo, y se les colocó un cubreobjetos, dejando reposar durante 30 minutos como se muestra en la figura 18; posteriormente se retiró el cubreobjetos y se colocó sobre un portaobjetos, al cual previamente se le añadió una gota de lugol.



Figura 18. Montaje de tubos para identificación de huevos de helmintos

Con un microscopio óptico se estudió todo el campo del cubreobjetos, identificando y a su vez cuantificando los diferentes huevos de helmintos con la ayuda de claves y de esquemas, dibujos o fotografías tipo mostrados en las figuras 19 y 20.

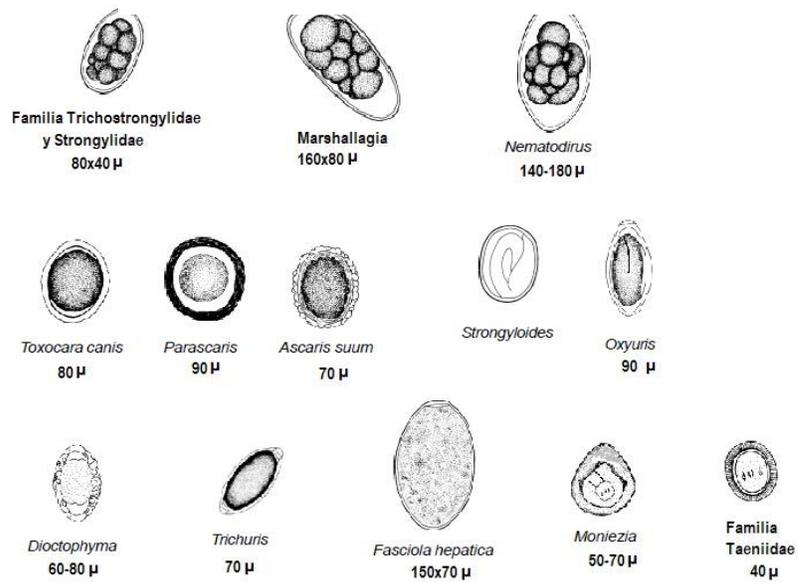


Figura 19. Claves de identificación de huevos de helmintos.

Tomado de <http://parasitologia-veterinaria.blogspot.mx/2012/08/clave-de-identificacion-de-huevos-de.html>

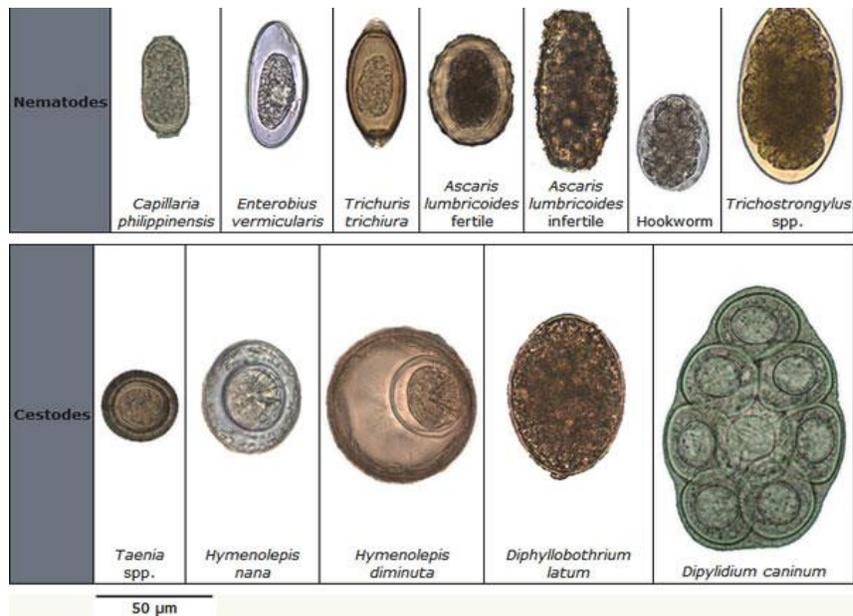


Figura 20. Huevos de helminto

Tomado de <http://www.facmed.unam.mx/deptos/microbiologia/parasitologia/nematodos-generalidades.html>

Una vez que se obtuvo el número de huevos contados se realizaron los cálculos correspondientes con la siguiente fórmula:

$$N=(X) \times 4/1$$

Dónde:

N= Número de huevos de la muestra

X = Número de huevos contados

4 = Factor de recuperación de la técnica Leeds I

1 = Volumen de muestra analizado (Litro)

6.2.2 Análisis Físicoquímicos

Los análisis físicoquímicos evaluados para cada muestra fueron la DBO_5 y los SST, éstos se determinaron de acuerdo a las NMX referenciadas en la NOM-003-SEMARNAT-1997.

6.2.2.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)

Para la DBO_5 , se tomó como referencia a la NMX-AA-028-SCFI-2001. Análisis de agua - Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO_5) y residuales tratadas - Método de Prueba. Además de apoyarse en el manual de análisis de agua de HACH, segunda edición.

El análisis se llevó a cabo posteriormente al acopio de las muestras de agua residual tratada, para lo cual se utilizaron y rotularon nueve frascos Winkler para cada una de las muestras tal como se muestra en la figura 21, en donde tres se marcaron con las dilución de 10 mL, tres con 30 mL y tres con 100 mL. Esto se realizó para obtener un rango mayor a la hora de hacer las mediciones.



Figura 21. Materiales utilizados para la prueba de DBO_5

Se prepararon 15 litros de agua de dilución con las bolsas de solución tampón de nutriente de DBO (número de catálogo: HA1486166), agitando por un periodo de 30 minutos. Posteriormente se tomaron de cada una de las muestras cantidades de 10, 30 y 100 mL que se agregaron a tres frascos Winkler respectivamente, de tal manera que se obtuvieron diluciones por triplicado.

Una vez realizado esto se llenaron con el agua de dilución todos los frascos hasta su máxima capacidad procurando que no quedaran burbujas de aire dentro del mismo y teniendo mucho cuidado de no airear mucho el agua, además se prepararon otros tres frascos solo con el agua de dilución los cuales se sirvieron como blanco.

El siguiente paso consistió en medir el oxígeno disuelto (OD) inicial en cada uno de los frascos con ayuda del oxímetro (figura 22), posteriormente se fueron sellando con parafilm para evitar fugas, y se metieron en la incubadora a una temperatura de 20°C donde permanecieron durante 5 días. Y una vez transcurrido este tiempo se determinó el oxígeno disuelto final a cada una de las muestras y a los blancos.



Figura 22. Determinación de OD final

Ya que se obtuvieron los resultados, el valor de la DBO se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$DBO_5 \text{ (mg/L)} = [(D1 - D2) - (B1 - B2)] * F$$
$$F = V1/V2$$

Dónde:

D1 = OD de la muestra diluida inmediatamente después de su preparación, mg/l.

D2 = OD de la muestra diluida después de 5 días de incubación a 20° C, mg/l.

B1 = OD del Blanco antes de la incubación, mg/l.

B2 = OD del Blanco después de 5 días de incubación a 20° C, mg/l.

F = Factor de Dilución

V1 = Volumen de la botella de Winkler (equivale a 300 ml)

V2 = Volumen de muestra utilizada

6.2.2.2 Sólidos Suspendidos Totales (SST)

En el caso de los SST se determinaron con base en la NMX-AA-034-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba. Para esta prueba se utilizaron muestras simples y se realizó su análisis posterior a su colecta.

Se colocaron filtros de fibra de vidrio de la marca Whatman grado GF/A (número de catálogo: 1820 055) 5.5 de tamaño de diámetro., en charolas de pesaje de aluminio resistente a altas temperaturas en una mufla a $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ por 20 minutos, después de este tiempo se transfirieron a una estufa con temperatura de $103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C}$ por 20 minutos aproximadamente; se sacaron y se colocaron en desecador, posteriormente se pesaron en la balanza analítica. Se repitió este procedimiento hasta alcanzar un peso constante, el cual se identificó como G3.

Para el análisis de cada muestra se colocó un filtro GF/A en un equipo de filtración a vacío, y se filtraron 100 mL de muestra homogeneizada, haciendo tres lavados con una pequeña cantidad de agua destilada para arrastrar los residuos que llegasen a quedar retenidos en el embudo.

Una vez hecho esto, se retiró el filtro y se colocó en la charola de aluminio, la cual se introdujo a la estufa a una temperatura de $103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C}$ por una hora aproximadamente. Se sacó y se dejó enfriar en el desecador a temperatura ambiente para luego pesarlo. Esto se hizo para cada una de las muestras filtradas, identificando el peso obtenido como G4.

Los cálculos se obtuvieron con la formula siguiente:

$$\text{SST} = (\text{G4} - \text{G3}) * 1\ 000 / \text{V}$$

Dónde:

SST = sólidos suspendidos totales, en mg/L

G3 = peso del crisol con el disco a peso constante, en mg

G4 = peso del crisol con el disco y el residuo seco, en mg

V = volumen de muestra, en mL

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se presentan los resultados obtenidos para coliformes fecales, huevos de helminto, DBO₅ y SST, en muestras de agua residual tratada provenientes del efluente de la PTAR-CA, CAART y aspersores de agua residual tratada. Se dan a conocer los resultados de evaluación de la calidad bacteriológica (bacterias no incluidas en la normatividad mexicana) en el efluente de la PTAR-CA, CAART y aspersores de agua residual tratada. Así también se presenta una evaluación de las condiciones físicas en que se encuentran las CAART analizadas, y se incluye en el anexo 1 un manual de acciones preventivas y correctivas en cada una de ellas, esto con la finalidad de contribuir a que las autoridades realicen mejoras.

Adicionalmente se incluyen otros tres anexos: el anexo 2 que contiene los fundamentos de las técnicas y pruebas realizadas, el anexo 3 con la composición de medios de cultivo y reactivos utilizados, mientras que en el anexo 4 se presentan los datos obtenidos por fecha para todos los parámetros analizados, en cada punto de muestreo.

7.1 Efluente de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Cerro del Agua (PTAR-CA)

7.1.1 Coliformes fecales.

En el efluente de la PTAR-CA se realizaron un total de ocho muestreos después del arranque de la planta posterior a su remodelación en 2011. La figura 23 muestra los resultados obtenidos para la determinación de coliformes fecales, en la cual se observa que el 75% de las muestras (6 de 8) cumple con la NOM-003-SEMARNAT-1997, para este parámetro.

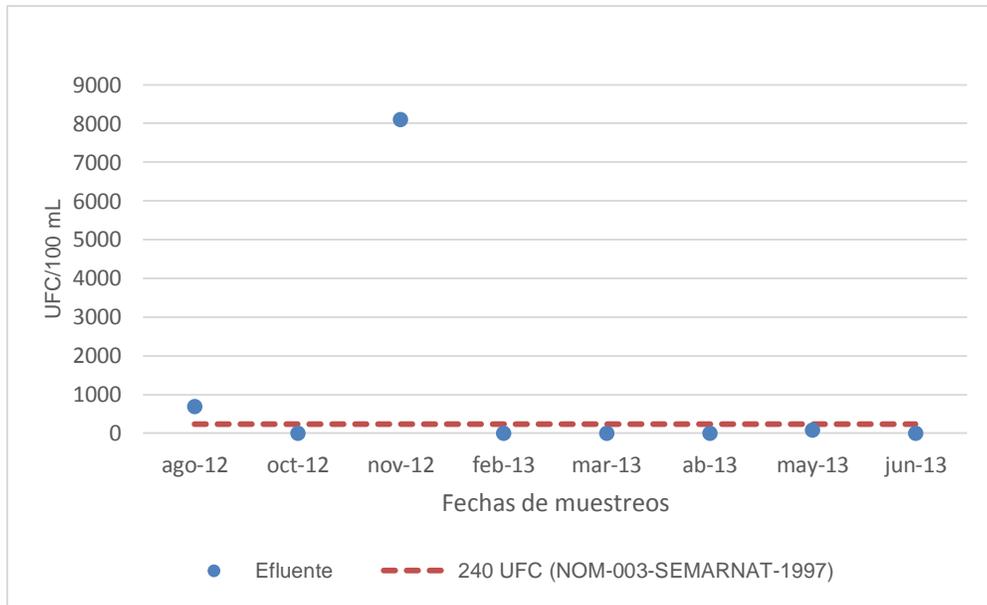


Figura 23. Comportamiento de coliformes fecales en la PTAR-CA

Las muestras que no cumplen con la norma corresponden a los meses de agosto y noviembre de 2012. Es importante recordar que de junio a septiembre la planta no opera debido a la temporada de lluvia, por lo que la presencia de coliformes fecales en agosto (700 UFC/100mL) es consecuencia de la no operación de la planta. En octubre y noviembre del mismo año se reportó que la planta operó de manera normal. Sin embargo, en el mes de noviembre se presentó un alto crecimiento de coliformes fecales (8×10^3 UFC/100 mL), esto pudo deberse a algún problema de dosificación de cloro. En los meses de febrero, marzo, abril, y junio de 2013 no se detectaron coliformes fecales, únicamente en el mes de mayo del 2013, donde a pesar de haber presencia de 90 UFC/100mL de coliformes fecales, la densidad bacteriana no rebaso el límite máximo establecido en la normatividad para reúso en riego de jardines. La justificación a esto fue la temporada intensa de lluvias, las cuales provocaron que se detuviera la operación en la PTAR-CA y como consecuencia no se dosificara cloro en el efluente. La figura 24 muestra la morfología colonial de coliformes fecales encontradas.

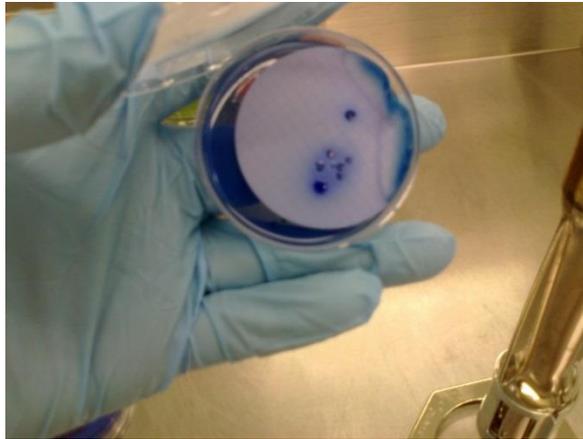


Figura 24. Colonias típicas de coliformes fecales

7.1.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La DBO₅ cumple en todos los meses de muestreo con la NOM-003-SEMARNAT-1997, como se muestra en la figura 25. Todas las muestras analizadas se encuentran entre los valores de 5 y 15 mg/L de DBO₅, por lo que se considera apta para reúso en servicios al público con contacto directo específicamente para el riego de áreas verdes.

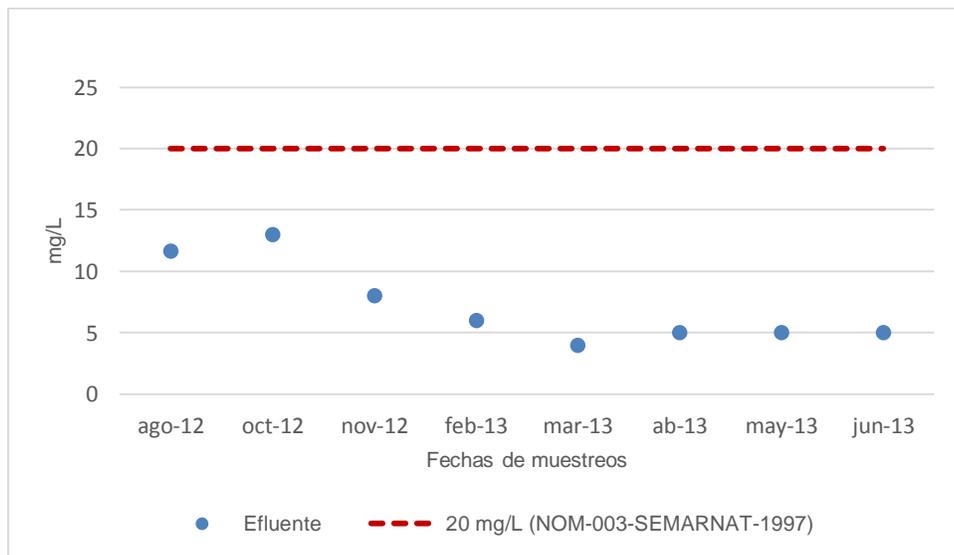


Figura 25. Comportamiento de la DBO₅ en el efluente de la PTAR-CA

7.1.3 Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Los resultados obtenidos para el parámetro de SST que se muestran en la figura 26, indican que estos cumplieron con la normatividad vigente durante los meses de muestreo. Se observa que durante los meses de agosto y octubre de 2012 hubo un incremento, aunque no rebasaron el límite máximo permisible.

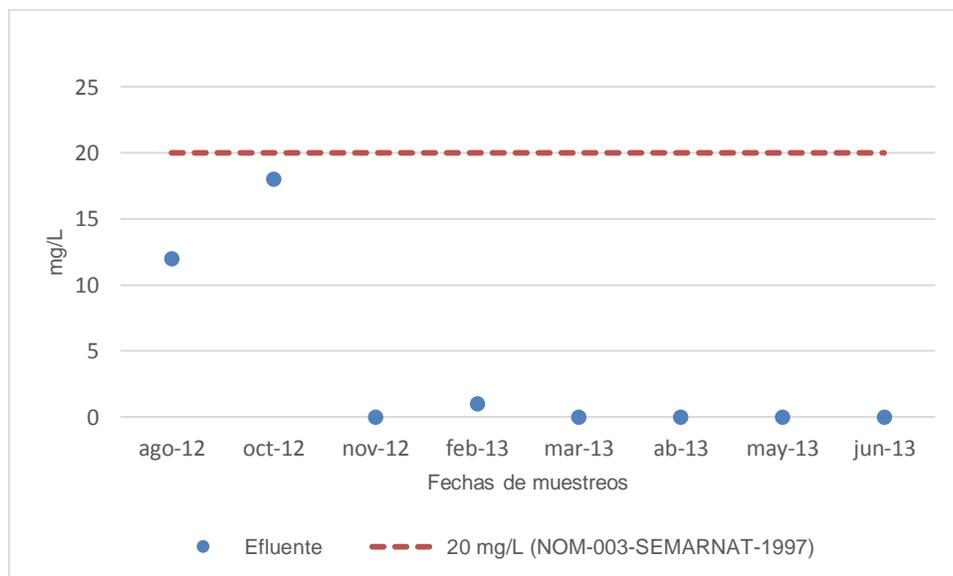


Figura 26. Comportamiento de SST en la PTAR-CA

7.1.4 Huevos de helminto

Después de realizar los análisis correspondientes mostrados en la tabla 15, para el parámetro de huevos de helminto se determinó que el agua colectada en el efluente de la PTAR-CA, cumple con la NOM-003-SEMARNAT-1997, toda vez que esta indica que la presencia de estos organismos debe ser menor o igual a 1.

Estos datos se compararon con las muestras de agua proveniente del influente de la PTAR-CA, en la que se determinaron huevos de helmintos, entre los que se identificaron *Áscaris lumbricoides*, *Taenia solium*, *Trichuris* y *Ancylostoma duodenale* (figura 27).

Tabla 15. Presencia de huevos de helminto en el influente y efluente de la PTAR-CA

PTAR Cerro del Agua	Huevos de Helminto [h/L]									
	Meses									
	ago-12	sep-12	oct-12	nov-12	feb-13	mar-13	ab-13	may-13	jun-13	ago-13
Influente	---	---	120	---	124	---	116	---	120	---
Efluente	---	---	0	0	0	0	0	0	0	---

--- No determinado

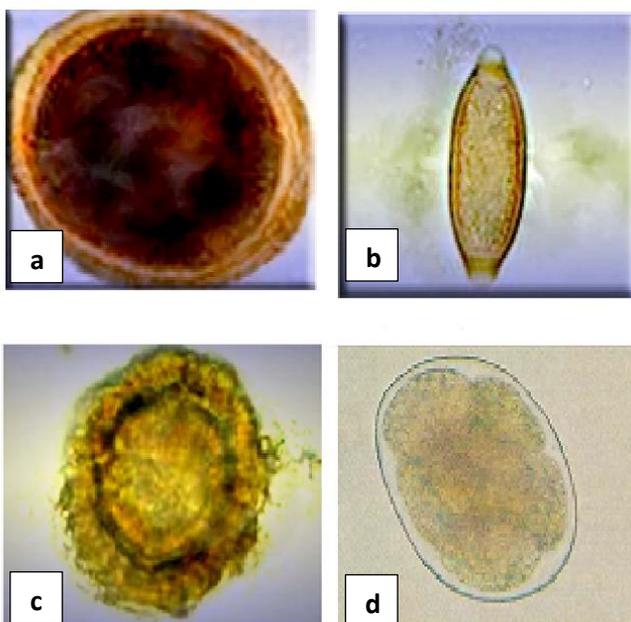


Figura 27. Huevos de helminto encontrados en el influente de la PTAR-CA

a) huevo de *Taenia solium*, b) huevo de *Trichuris trichuria*, c) huevo de *Áscaris lumbricoides*, d) huevo de *Ancylostoma duodenale*

7.2 Cisternas de almacenamiento de agua residual tratada (CAART)

7.2.1 Coliformes fecales

La presencia de coliformes fecales en las CAART se muestra en la figura 28, en donde se observa una variación en cuanto a la presencia de estos organismos, además de que cada una de las cisternas presentó un comportamiento distinto, así mismo el número de muestreos no fue el mismo para todas. Es importante mencionar que en el mes de octubre

del 2012 no se realizó ningún muestreo debido a que en este mes se llevó a cabo el lavado de las cisternas por lo que se encontraron vacías.

En la cisterna Campus Central y Camellón Química se realizaron nueve muestreos. Ambas cisternas presentan un porcentaje de cumplimiento con la normatividad del 88.89%. La cisterna Campus Central presentó un incremento de coliformes fecales de 620 UFC en el mes de agosto de 2013. Esto debido a que el agua había permanecido estancada durante la temporada de lluvias en que no opera la planta ni hay riego en los jardines del campus. Así mismo la cisterna Camellón Química presentó un incremento de coliformes fecales muy importante de 1000 UFC, pero únicamente en el mes de agosto del año 2012, que de igual manera es durante la temporada de lluvias, permaneciendo durante los muestreos posteriores dentro de la norma.

En estas cisternas el agua siempre presentó un color turbio, aspecto que indicaba ser agua residual tratada.

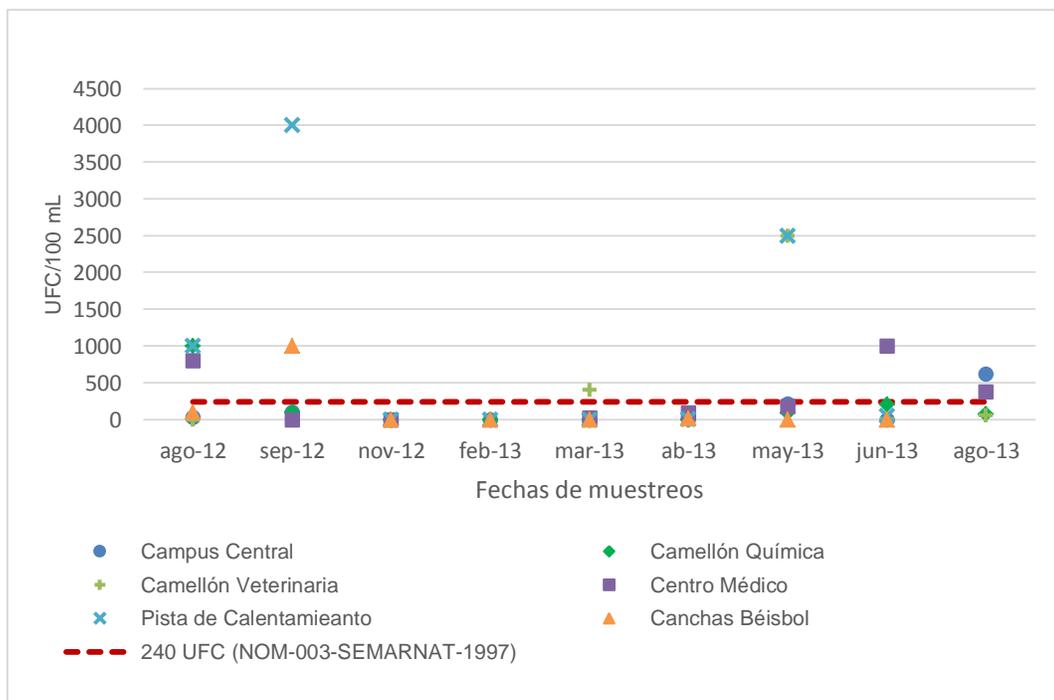


Figura 28. Comportamiento de coliformes fecales en las CAART

En cisterna Camellón Veterinaria, Centro Médico, Pista de Calentamiento y Canchas Béisbol se hicieron ocho muestreos.

En el caso de la cisterna Camellón Veterinaria, durante los meses de agosto, septiembre y noviembre de 2012 no se observó crecimiento de coliformes fecales, y durante el mes de febrero de 2013 no opero esta cisterna. Para el mes de marzo de 2013 se observó un aumento de coliformes fecales de 400 UFC en donde al parecer el agua llevaba almacenada alrededor de dos semanas y además se percibió un olor desagradable. En el mes de mayo del mismo año vuelve a observarse un incremento de coliformes fecales pero esta vez de 2500 UFC tal como se muestra en la figura 28; en este caso no parece que exista un relación de presencia de coliformes fecales entre los meses de marzo y mayo ya que en el mes de abril no se observó presencia de coliformes fecales. Para los meses de junio y agosto de 2013, aunque se observó la presencia de coliformes fecales de 2 y 60 UFC respectivamente, estos se mantuvieron por debajo de los límites establecidos de 240 UFC que marca la NOM-003-SEMARNAT-1997. La característica física del agua fue turbia en todos los meses de muestreo.

En la cisterna Centro Médico se notó la presencia de coliformes fecales de 800 UFC en el mes de agosto de 2012, sin presencia de estos en los meses de septiembre y noviembre del mismo año, sin embargo en febrero de 2013 no se realizó el muestreo ya que no se pudo acceder a la cisterna debido a la suspensión de actividades que se registró en las instalaciones donde se encuentra esta cisterna, a partir del mes de marzo de 2013 se observó un incremento de coliformes fecales de 20 UFC, debido a que el agua permaneció estancada, este incremento se presentó también en los meses de abril, mayo y junio, en este último mes se presentan 1000 UFC, rebasando así los límites máximos permisibles, y aunque disminuye en el mes de agosto sigue rebasando la normatividad. También el agua presentó un aspecto turbio.

La cisterna de Pista de Calentamiento cumplió en un 62.50% con la normatividad, quedando muy por encima de la misma en los meses de agosto y septiembre del 2012, presentándose 1000 Y 4000 UFC respectivamente y manteniéndose por debajo de la norma los meses de noviembre de 2012, febrero, marzo y abril de 2013 pero volviendo a rebasar estos límites permisibles al observarse en mayo 2500 UFC y de nuevo quedando dentro de la normatividad en junio del mismo año. En los meses de noviembre del 2012 y mayo de 2013 presento un color turbio y en marzo y abril de 2013 fue incoloro, cuya característica era similar al agua potable. En junio del mismo año se logró concluir que estas variaciones tan

notorias se debieron a que la cisterna se estaba llenando en unas ocasiones con agua residual tratada y en otras con agua potable.

En la cisterna de Canchas Béisbol solo se registró un incremento de 1000 UFC de coliformes fecales en el mes de septiembre de 2012 y permaneciendo por debajo de los límites en los meses de agosto y noviembre de 2012 y de febrero, marzo, abril, mayo y junio de 2013. Al igual que en la cisterna Pista de Calentamiento en ocasiones se notó que el agua contenida en la cisterna era incolora y parecida al agua potable.

Tanto en las Cisternas de pista de Calentamiento como en la de Canchas de Béisbol, no se tomaron muestras de agua en agosto de 2013 ya que se encontraron vacías debido al lavado de estas. Por comentarios de los trabajadores es de conocimiento que en ocasiones no alcanza a llegar el agua residual tratada en estos puntos por lo que se llenan con agua potable ya que las cisternas no pueden quedarse sin agua.

7.2.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Los valores de la DBO₅ presentados en la figura 29 dan valores por encima del límite permisible que es de 20 mg/L para el caso de las cisternas de Campus Central, Camellón Química, Centro Médico y Canchas Béisbol en los meses de agosto y septiembre de 2012, que osciló entre 30 y 45 mg/L y con base en la escala de clasificación de la calidad del agua, basada en la DBO estos valores nos indican que el agua presentaba una contaminación, debida al incremento de la actividad microbiana, al aumento de la temperatura y al periodo de estancamiento en el que se mantuvo el agua . Esto se corrobora al llevarse a cabo el lavado de las cisternas en el mes de octubre del mismo año donde se nota una disminución en la concentración de este parámetro en las cisternas mencionadas.

En el caso de las cisternas de Camellón Veterinaria y Pista de Calentamiento se mantuvieron durante todos los meses de muestreo dentro de la normatividad.

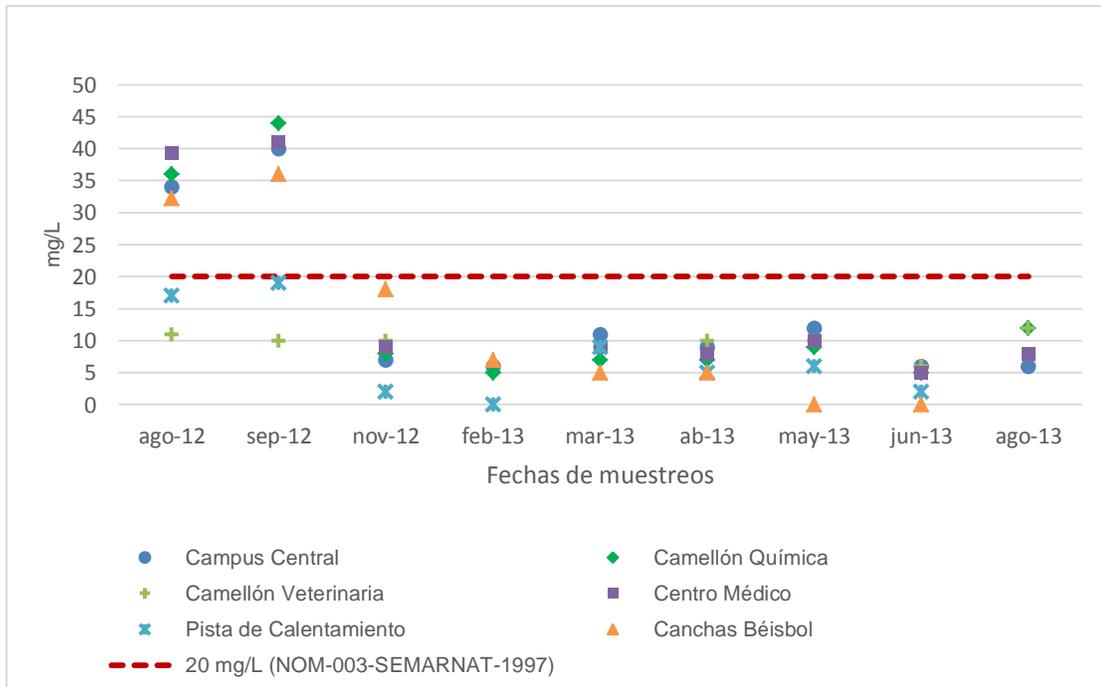


Figura 29. Comportamiento de la DBO₅ en CAART

Al comparar los valores obtenidos de los parámetros de coliformes fecales y DBO₅ en las CAART se puede observar que en algunos meses de muestreo entre los años 2012 y 2013 no existió la presencia de coliformes fecales, sin embargo los análisis para la DBO₅ mostraron concentraciones mayores a 6 mg/L, que aunque estos no rebasaron el límite de 20 mg/L que marca la normatividad, nos indicaron que existió la presencia de materia orgánica biodegradable y esto nos sugiere que existen otros organismos tales como protozoarios, que se encuentran degradando la materia orgánica del agua residual tratada. Esto se dio en los meses de noviembre de 2012, febrero, marzo y junio de 2013 en la cisterna Campus Central, noviembre de 2012, marzo y abril de 2013 en la cisterna Camellón Química; agosto, septiembre, noviembre de 2012 y en abril de 2013 en la cisterna Camellón Veterinaria. En la cisterna Centro Médico se presentó en los meses de septiembre y noviembre de 2012, mientras que para la cisterna Pista de Calentamiento únicamente se dio en el mes de marzo de 2013, y en la cisterna Canchas Béisbol se dio este caso en los meses de noviembre de 2012 y en febrero de 2013.

7.2.3 Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Para el caso de los SST representados en la figura 30 se observa que durante todos los meses de agosto, septiembre y noviembre de 2012, y de febrero, marzo abril, mayo, junio y agosto de 2013, las cisternas analizadas cumplieron con la NOM-003-SEMARNAT-1997, por lo que en este aspecto no representan un problema de consideración para su reúso en servicios al público con contacto directo, a pesar de un incremento en los meses de agosto y septiembre de 2012 en todas las cisternas, debido a que se mantuvo estancada el agua, los valores se mantuvieron entre 0 y 5 mg/L durante los meses restantes de muestreo.

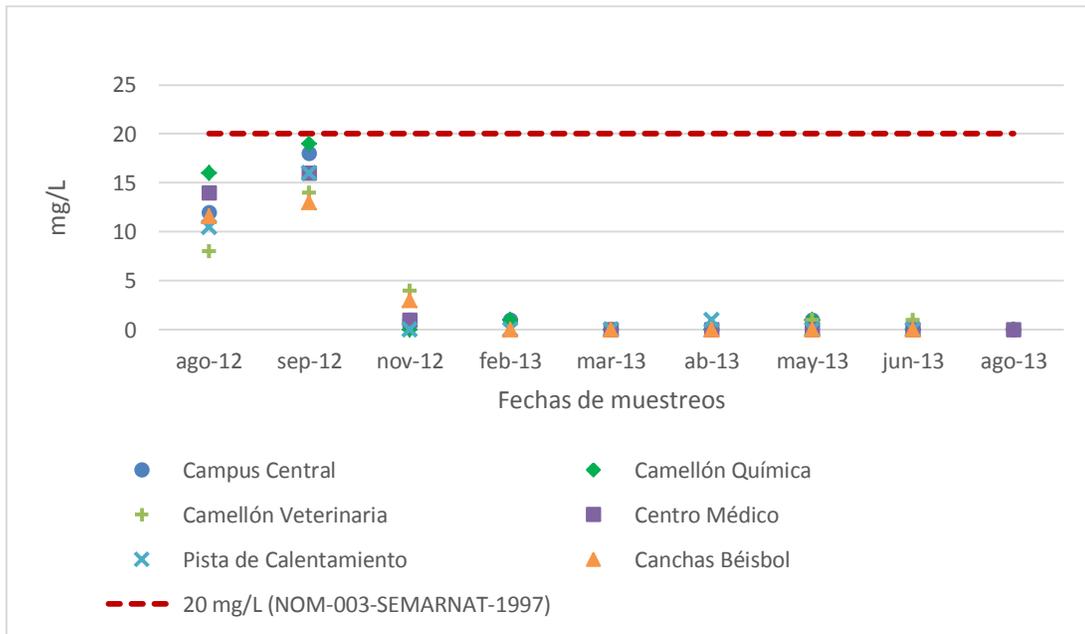


Figura 30. Comportamiento de SST en CAART

7.2.4 Huevos de helminto

No se detectó la presencia de estos parásitos en las muestras de agua residual tratada almacenada en las CAART, tal como se muestra en la tabla 16. Por lo que para este parámetro cumple con la normatividad vigente.

Tabla 16. Huevos de helminto en cisternas de agua residual tratada

Cisternas de almacenamiento	Huevos de Helminto [h/L]									
	Meses									
	ago-12	sep-12	oct-12	nov-12	feb-13	mar-13	ab-13	may-13	jun-13	ago-13
Campus central	---	0	---	0	0	0	0	0	0	0
Camellón Química	---	0	---	0	0	0	0	0	0	0
Camellón Veterinaria	---	0	---	0	---	0	0	0	0	0
Centro Médico	---	0	---	0	---	0	0	0	0	0
Pista de Calentamiento	---	0	---	0	0	0	0	0	0	---
Canchas Béisbol	---	0	---	0	0	0	0	0	0	---

--- No determinado

En términos generales, se observó que durante los periodos de lluvia, que es cuando no opera la PTAR-CA, las CAART permanecen con agua residual tratada hasta su lavado, ya que el mantenerlas vacías por tiempos prolongados provocaría daños físicos a su estructura, esta actividad específicamente no representa algún riesgo, siempre y cuando las cisternas sean lavadas y desinfectadas antes de comenzar a operar la planta en el mes de octubre.

7.3 Aspersores de agua residual tratada

Para cubrir la cadena de recorrido del agua residual tratada hasta su llegada al contacto con el público, se llevaron a cabo muestreos de agua residual tratada, en los aspersores que distribuyen el agua en los jardines del campus, mediante riego por aspersion (figura 31).

Es preciso hacer mención que se pretendió que coincidieran las fechas de muestreo de las CAART con los muestreos de los aspersores. No obstante, no siempre se encontraron funcionando los aspersores correspondientes a cada una de las cisternas. En algunas ocasiones no se podían encender las bombas solo para tomar una pequeña cantidad de muestra, y en otras no se realizó el riego debido a la temporada intensa de lluvias que se presentó, por lo que únicamente se realizó el muestreo en los tiempos y horarios en que se encontraron disponibles, con la ayuda del personal de la coordinación de áreas verdes y forestación, tomando únicamente entre tres y seis muestras.



Figura 31. Riego de áreas verdes con agua residual tratada
a) aspersor veterinaria, b) aspersor pista de calentamiento

7.3.1 Coliformes fecales

Los resultados presentados en la figura 32 muestran la presencia de coliformes fecales en el aspersor Camellón Veterinaria en los meses de marzo y mayo del 2013, en donde solo se tomaron muestras de agua durante tres meses, los resultados obtenidos coinciden con la presencia de coliformes fecales en la cisterna correspondiente.

Para los aspersores de Campus Central, Camellón Química, Centro Médico, Pista de Calentamiento y Canchas Béisbol los límites de coliformes fecales se mantuvieron por debajo de la NOM-003-SEMARNAT-1997 durante los meses analizados.

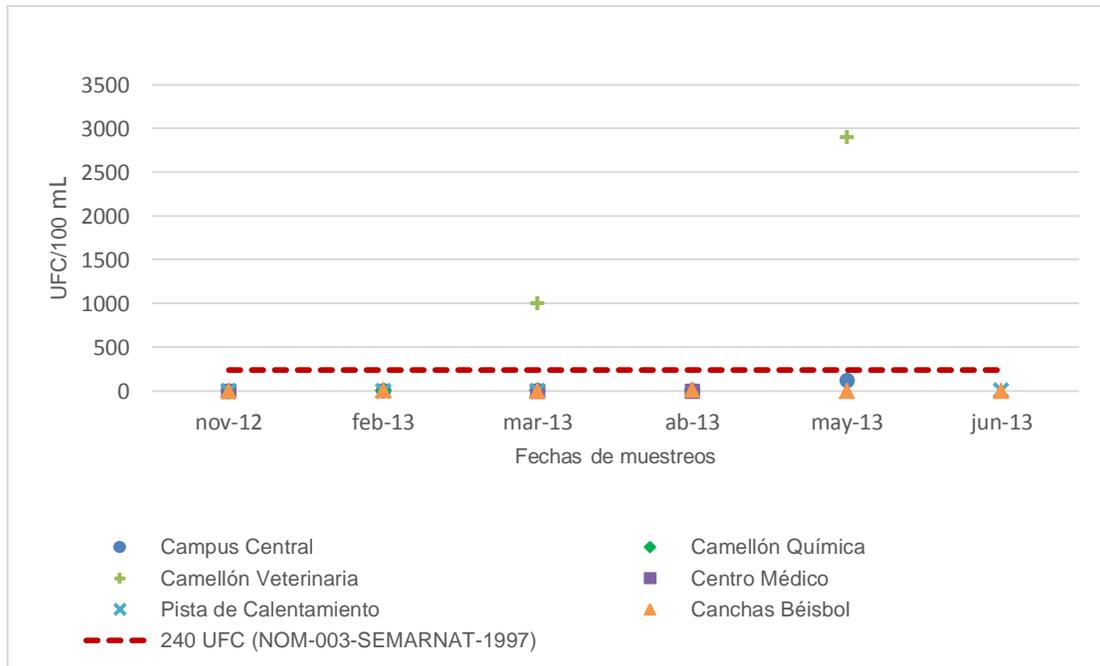


Figura 32. Comportamiento de coliformes fecales en aspersores de agua residual tratada

7.3.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La NOM-003-SEMARNAT-1997 establece un límite máximo permisible de 20 mg/L para la DBO₅. La figura 33 muestra los valores obtenidos en aspersores, se muestra que a pesar de que existen variaciones durante el muestreo, esta no rebasa los límites establecidos por la normatividad. Lo que nos hablaría de que muy pocos organismos se encuentran presente degradando la materia orgánica presente. Los resultados obtenidos para este parámetro en las muestras de los aspersores, coincide con los resultados de las muestras tomadas en las mismas fechas para las CAART, en donde se observa que no se rebasa el límite establecido por la legislación mexicana.

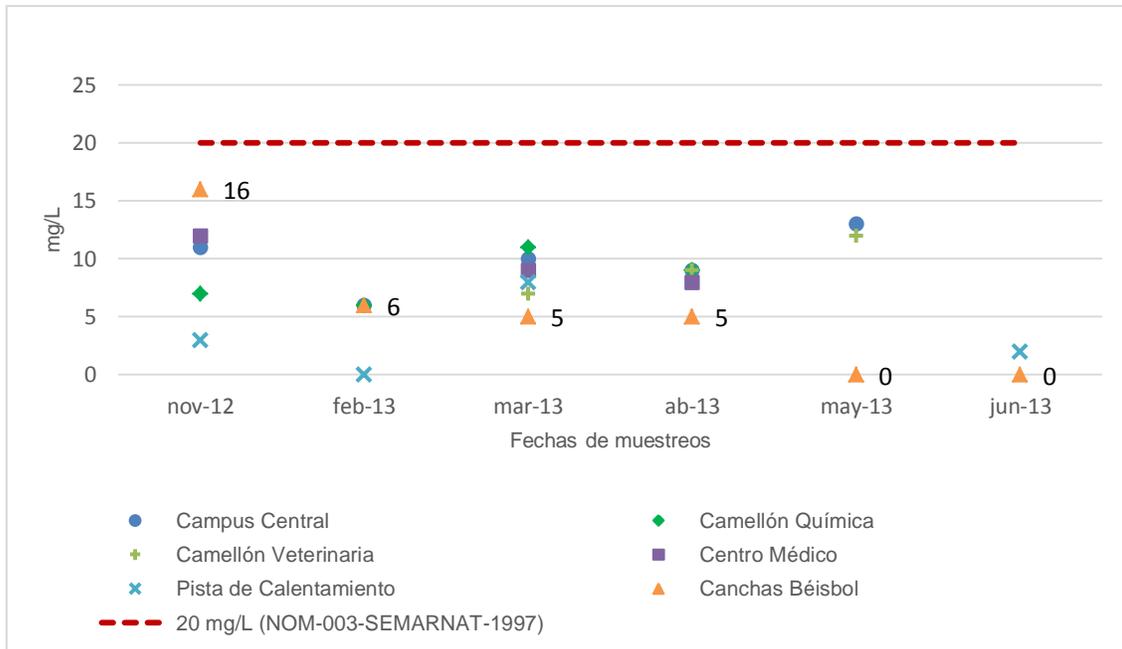


Figura 33. Comportamiento de la DBO₅ en aspersores de agua residual tratada

7.3.3 Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Para el caso de los SST, como se puede observar en la figura 34, este parámetro cumple estrictamente con la Norma Oficial Mexicana.

Es importante señalar que en algunas ocasiones no se tomó muestra de agua del aspersor, por lo que se tomó de las mangueras con las que en ese momento se estaba realizando el riego. Estos casos se dieron en una ocasión en el aspersor Campus Central, y los cuatro muestreos de Pista de Calentamiento, a pesar de esto no se observa algún incremento para SST. Con excepción el aspersor de Camellón Veterinaria, todos los aspersores cumplen con los parámetros establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1997 de coliformes fecales, DBO₅ y SST.

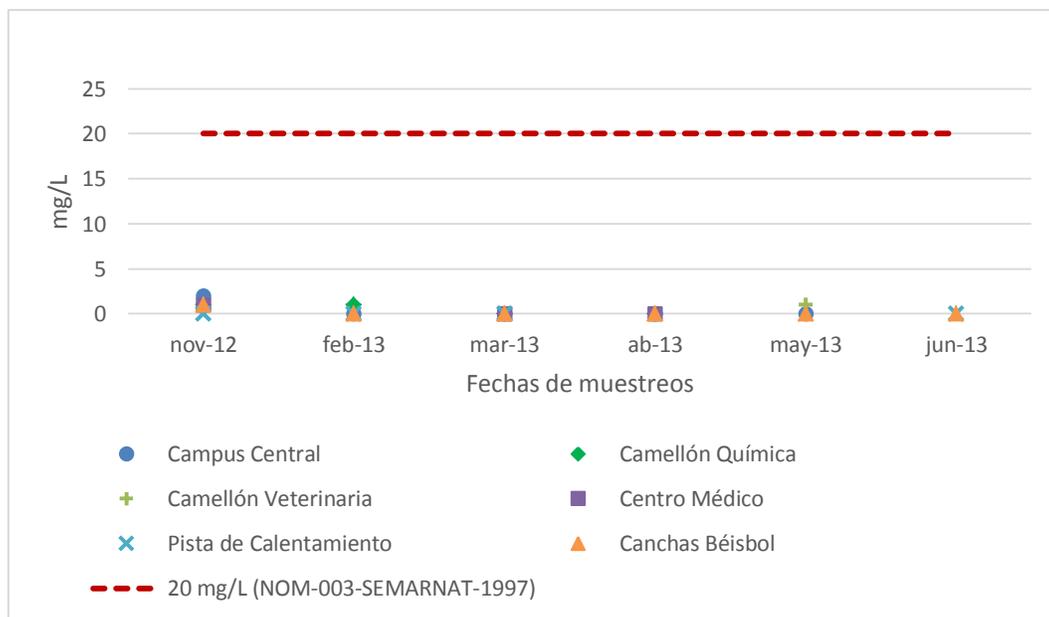


Figura 34. Comportamiento de los SST en aspersores de agua residual tratada

La estimación del contenido de grasas y aceites en el agua residual tratada en el efluente de la PTAR-CA, y en las CAART no se determinó debido a la falta de disposición de espacio y del equipo requerido dentro de las instalaciones del laboratorio de Ingeniería Ambiental del Instituto de Ingeniería de la UNAM, que asegurara la correcta evaluación de este parámetro, tal como lo marca la normatividad.

7.4 Calidad bacteriológica del agua residual tratada

No obstante a que la normatividad mexicana no incluye como parámetro obligatorio a las bacterias patógenas, en la presente tesis se consideró relevante abordar la determinación de la calidad bacteriológica del agua tratada desde su generación hasta el contacto directo con los usuarios de las áreas verdes del campus. Es por ello que a continuación se presentan los resultados obtenidos para el aislamiento de bacterias con potencial patógeno tanto Gram positivas, como Gram negativas, incluyendo la identificación de Enterobacterias. Estas últimas considerando que en suministros de aguas o aguas residuales puede encontrarse una amplia variedad de bacterias entéricas patógenas.

A este respecto, en el agua generada en la PTAR-CA, almacenada en las cisternas y distribuida a través de los aspersores, se obtuvieron un total de 116 aislamientos tanto de bacterias Gram negativas, como Gram positivas.

De acuerdo al análisis de morfología celular obtenido a través de tinciones de Gram, se obtuvo que: 52 aislamientos fueron bacterias Gram positivas, 64 fueron bacterias Gram negativas, de las cuales 5 fueron cocos Gram negativas y 59 fueron bacilos Gram negativas. Los 59 aislamientos de bacterias Gram negativas fueron sometidos a la identificación mediante el sistema API-20E, el cual es utilizado específicamente para la identificación de *Enterobacteriaceae* y bacilos Gram negativos no exigentes.

54 de los 59 aislamientos resultaron ser bacterias que se lograron identificar mediante el sistema API-20E y los 5 aislamientos restantes presentaron un código no determinado en la base de datos consultada para llegar a la identificación del género y/o especie establecido por el sistema.

Los 54 aislamientos de bacterias presentaron un perfil numérico que fue identificado mediante la base de datos consultada, permitiendo así la identificación de los siguientes géneros y/o especies de bacterias encontrados en los diferentes puntos de recorrido del agua residual tratada:

Acinetobacter spp, *Aeromonas hydrophila*, *Aeromonas hydrophila/caviae*, *Aeromonas sobria*, *Aeromonas sobria/hydrophila*, *Citrobacter freundii*, *Enterobacter agglomerans* 4, *Enterobacter amnigenus* 2, *Enterobacter cloacae*, *Escherichia coli* 1, *Hafnia alvei*, *Klebsiella pneumoniae*, *Klebsiella oxytoca*, *Kluyvera spp/Escherichia coli* 1, *Pseudomonas fluorescens/putida*, *Pseudomonas spp*, *Serratia fonticola*, *Serratia marcescens*, *Sphingomonas paucimobilis*, *Yersinia enterocolitica*.

En la tabla 17 se describen los tipos de enfermedades humanas asociadas con estos microorganismos.

Tabla 17. Enfermedades causadas por los microorganismos detectados en el agua residual tratada

Microorganismo	Enfermedad que causa
<i>Acinetobacter</i> spp	Infecciones de las vías urinarias, neumonía, bacteriemia, meningitis secundaria e infecciones de heridas.
<i>Aeromonas</i> spp	Septicemia, especialmente en pacientes inmunodeprimidos, infecciones de heridas e infecciones del aparato respiratorio.
<i>Citrobacter</i> spp	Infecciones intraabdominales, infecciones de tejidos blandos y osteomielitis.
<i>Enterobacter agglomerans</i>	Infecciones intrahospitalarias, meningitis neonatal y artritis séptica.
<i>Enterobacter amnigenus</i>	Sepsis y otras infecciones
<i>Enterobacter cloacae</i>	Infecciones intrahospitalarias infecciones del tracto urinario, de herida quirúrgica e incluso bacteriemia.
<i>Escherichia coli</i>	Gastroenteritis, infecciones de las vías urinarias, bacteriemia y meningitis.
<i>Hafnia alvei</i>	Infecciones nosocomiales
<i>Klebsiella</i> spp	Infecciones intrahospitalarias y neumonía destructiva.
<i>Pseudomonas</i> spp	Infecciones del tracto respiratorio y urinario en humanos (Oportunista)
<i>Serratia</i> spp	Bacteriemias y las infecciones del tracto respiratorio inferior y el 2% de las infecciones de las vías urinarias, heridas quirúrgicas y piel.
<i>Sphingomonas paucimobilis</i>	infecciones intrahospitalarias
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Produce úlceras en el íleo terminal de la mucosa intestinal. Manifestándose en forma de gastroenteritis aguda con diarrea, fiebre y dolor abdominal. Otra manifestación clínica es la inflamación dolorosa de los ganglios linfáticos.

Las bacterias que se encontraron en el muestreo (tabla 17) se han reportado en la literatura como patógenos oportunistas, infectando principalmente a personas inmunocomprometidas a excepción de *Kluyvera* spp que es infrecuente como patógeno oportunista aunque se presenta en ambientes hospitalarios, y *Pseudomonas fluorescens/putida* que son contaminantes ambientales y rara vez son patógenos oportunistas.

En las tablas 18, 19 y 20 se hace el desglose de los géneros y/o especies encontrados en cada uno de los puntos de muestreo: PTAR-CA, CAART y aspersores de agua residual tratada. En dichas tablas se muestran también las fechas de los muestreos en los cuales fueron encontradas cada una de las especies, este análisis se hizo con la finalidad de determinar si existía la presencia continua desde el agua del efluente de la PTAR-CA, el agua contenida en las CAART y hasta los aspersores. Y en las figuras 35 y 36 se puede ver la distribución de las bacterias patógenas en los puntos de muestreos

Tabla 18. Bacterias patógenas identificadas en la PTAR-CA

PTAR Cerro del Agua		
Efluente	Organismo identificado	Fecha de muestreo
	<i>Aeromonas sobria</i>	28/11/2012
	<i>Citrobacter freundii</i>	13/02/2013
	<i>Sphingomonas paucimobilis</i>	06/03/2013

Tabla 19. Bacterias patógenas identificadas de las CAART

Cisternas de Almacenamiento de Agua Residual Tratada		
Cisterna Campus Central	Organismo identificado	Fecha de muestreo
	<i>Aeromonas sobria</i>	13/03/2013
	<i>Klebsiella oxytoca</i>	13/03/2013
	<i>Klebsiella oxytoca</i>	10/04/2013
	<i>Sphingomonas paucimobilis</i>	10/04/2013
	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	16/05/2013
	<i>Enterobacter agglomerans 4</i>	12/06/2013
Cisterna Camellón Química	Organismo identificado	Fecha de muestreo
	<i>Aeromonas sobria</i>	20/02/2013
	<i>Aeromonas sobria/hydrophila</i>	20/02/2013
	<i>Pseudomonas fluorescens/putida</i>	04/04/2013
	<i>Enterobacter amnigenus 2</i>	16/05/2013
	<i>Enterobacter agglomerans 4</i>	12/06/2013
	<i>Serratia fonticola</i>	08/08/2013
Cisterna Camellón Veterinaria	Organismo identificado	Fecha de muestreo
	<i>Pseudomonas spp</i>	22/11/2012
	<i>Klebsiella oxytoca</i>	14/03/2013
	<i>Aeromonas hydrophila</i>	14/03/2013
	<i>Aeromonas hydrophila/caviae</i>	14/03/2013
	<i>Pseudomonas fluorescens/putida</i>	14/03/2013
	<i>Aeromonas hydrophila</i>	22/05/2013
Cisterna Centro Médico	Organismo identificado	Fecha de muestreo
	<i>Enterobacter cloacae</i>	13/03/2013
	<i>Acinetobacter spp</i>	13/03/2013
	<i>Klebsiella oxytoca</i>	13/03/2013
	<i>Acinetobacter spp</i>	04/04/2013
	<i>Aeromonas sobria</i>	04/04/2013
	<i>Enterobacter cloacae</i>	08/08/2013
Cisterna Pista de Calentamiento	Organismo identificado	Fecha de muestreo
	<i>Aeromonas sobria</i>	11/04/2013
	<i>Kluyvera spp/Escherichia coli 1</i>	22/05/2013

Tabla 19. continuación

	<i>Escherichia coli 1</i>	06/06/2013
Cisterna Canchas Béisbol	Organismo identificado	Fecha de muestreo
	<i>Pseudomonas spp</i>	22/11/2012

Tabla 20. Bacterias patógenas identificadas en los aspersores de agua residual tratada

Aspersores de agua residual tratada		
Aspersor Campus Central	Organismo identificado	Fecha de muestreo
	<i>Aeromonas sobria</i>	10/04/2013
	<i>Aeromonas sobria</i>	16/05/2013
Aspersor Camellón Química	Organismo identificado	Fecha de muestreo
	<i>Klebsiella oxytoca</i>	20/02/2013
	<i>Klebsiella oxytoca</i>	13/03/2013
	<i>Pseudomonas fluorescens/putida</i>	04/04/2013
Aspersor Camellón Veterinaria	Organismo identificado	Fecha de muestreo
	<i>Aeromonas hydrophila</i>	14/03/2013
	<i>Escherichia coli 1</i>	14/03/2013
	<i>Aeromonas hydrophila/caviae</i>	22/05/2013
	<i>Yersinia enterocolitica</i>	22/05/2013
Aspersor Centro Médico	Organismo identificado	Fecha de muestreo
	<i>Serratia marcescens</i>	04/04/2013
	<i>Aeromonas sobria</i>	04/04/2013
Aspersor Pista de Calentamiento	Organismo identificado	Fecha de muestreo
	<i>Aeromonas sobria</i>	13/02/2013
	<i>Hafnia alvei</i>	13/02/2013
Aspersor Canchas Béisbol	Organismo identificado	Fecha de muestreo
	<i>Aeromonas sobria</i>	13/02/2013
	<i>Hafnia alvei</i>	13/02/2013

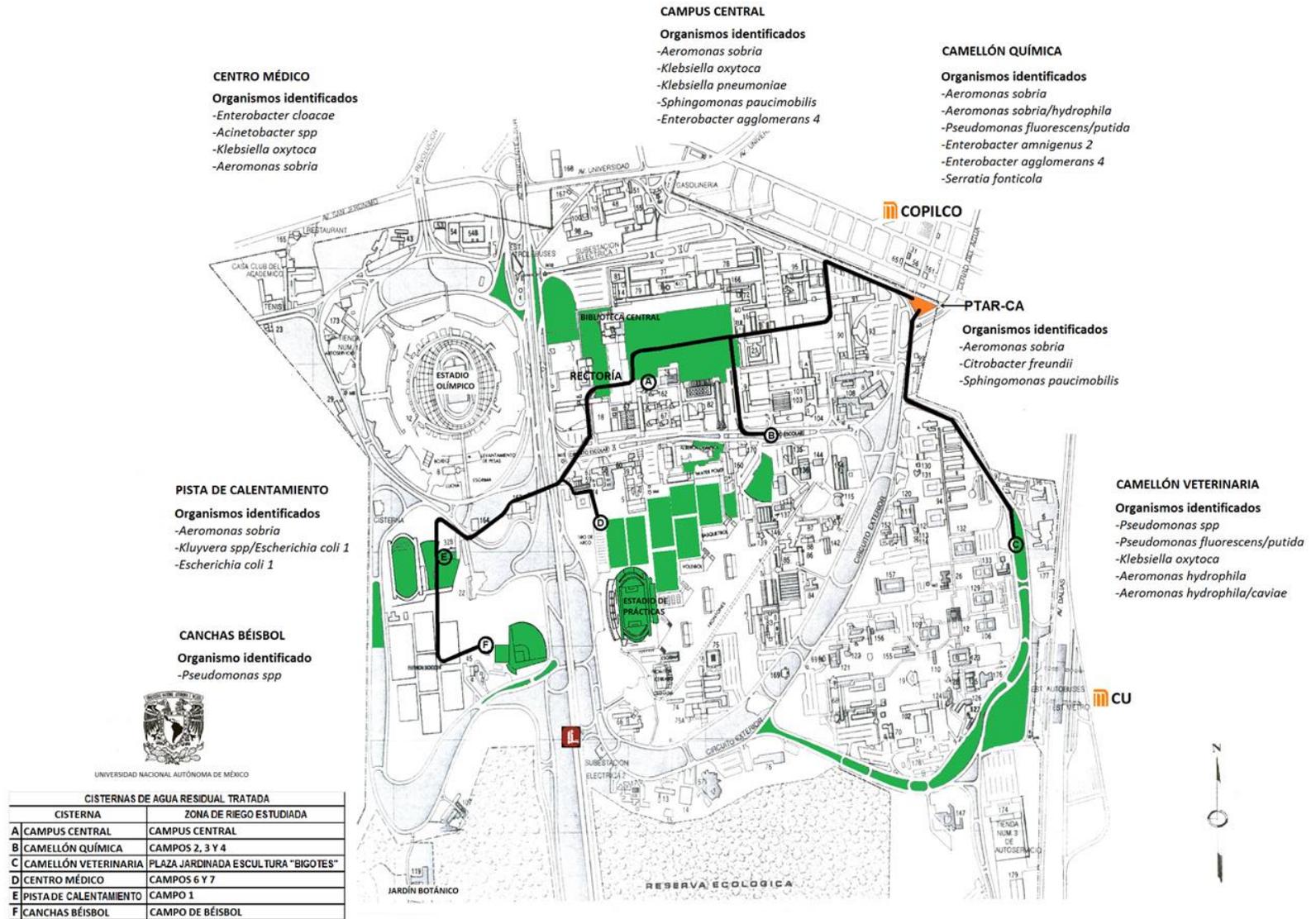


Figura 35. Distribución de bacterias patógenas en PTAR-CA y CAART

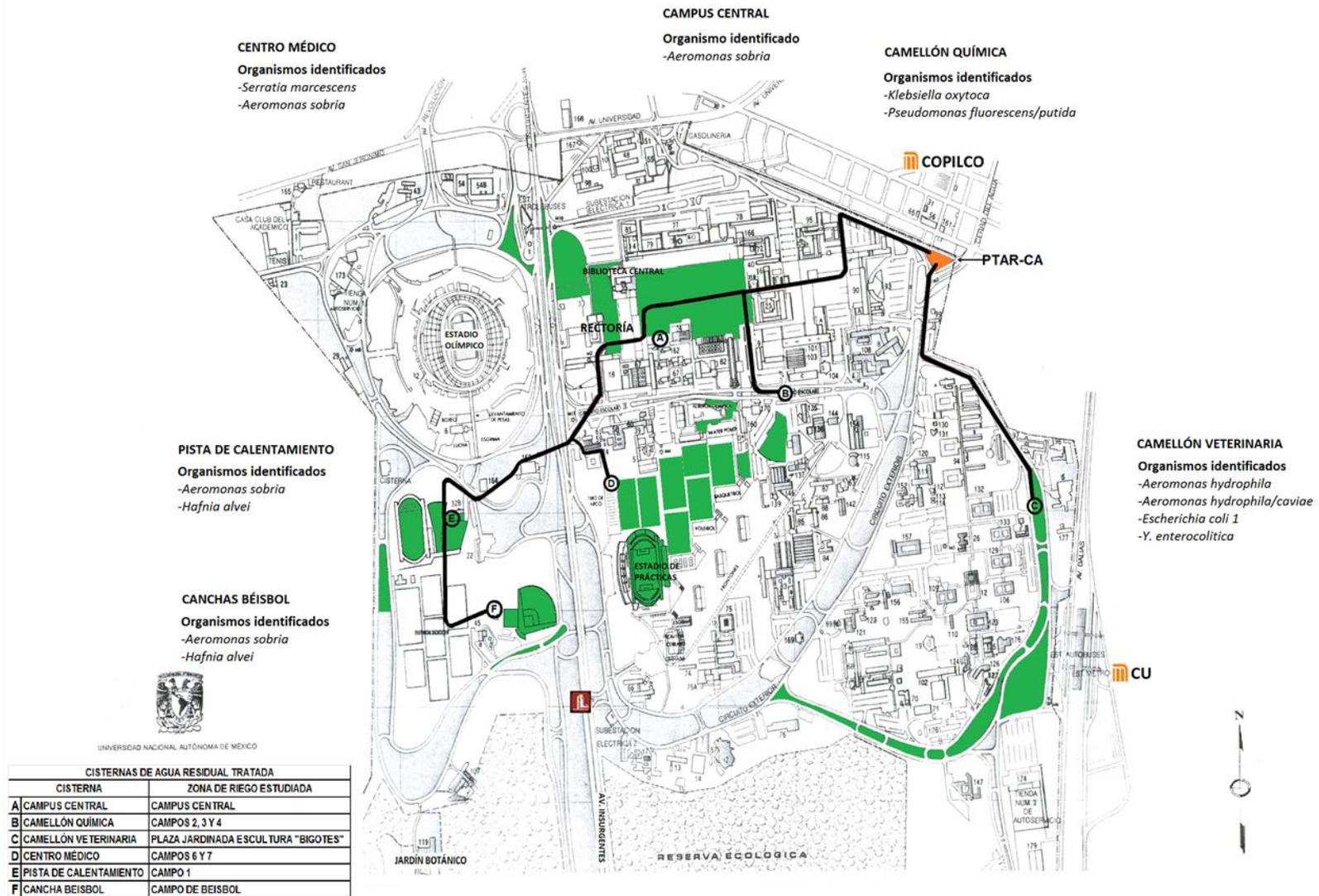


Figura 36. Distribución de bacterias patógenas en aspersores de agua residual tratada

Como se puede observar *Aeromonas sobria* resultó ser la bacteria que tuvo mayor presencia desde la PTAR-CA hasta las cisternas de Campus Central, Camellón Química, Centro Médico y los aspersores de Campus Central, Centro Médico, Pista de Calentamiento y Canchas Béisbol.

De acuerdo con las fechas en las que se realizaron los muestreos tanto en cisternas como en aspersores, solo mostraron una consistencia en cuanto a su presencia el mismo día *Pseudomona fluorescens/putida*, en la cisterna Camellón Química y su aspersor, *Aeromonas hydrophila* en la cisterna y aspersor Camellón Veterinaria, y *Aeromonas sobria*, en la Cisterna Centro Médico y su aspersor.

No se observa una permanencia constante de estos microorganismos en las cisternas, a excepción de *Klebsiella oxytoca*, que se presentó en los meses de marzo y abril de 2013 en la cisterna de Campus Central, mientras que en la cisterna Camellón Veterinaria se identificó *Aeromonas hydrophila* en los meses de marzo y mayo de 2013; en tanto que en la Cisterna Centro Médico, se detectaron en marzo de 2013 colonias de *Acinetobacter spp* y *Enterobacter cloacae*, volviendo a presentar en el mes de abril *Acinetobacter spp* y *Enterobacter cloacae* en el mes de agosto de 2013.

En aspersores únicamente se nota la prevalencia de *Klebsiella oxytoca*, en los meses de febrero y marzo del 2013 en el aspersor Camellón Química, y en el aspersor de Campus Central de *Aeromonas sobria* en los meses de abril y mayo de 2013.

Comparando los resultados obtenidos de coliformes fecales con la presencia de bacterias patógenas en el agua residual tratada procedente de la PTAR-CA, almacenada en las CAART y de los aspersores, se observa que hay meses en los que no se mostró la presencia de coliformes fecales, pero si se identificaron bacterias con potencial patógeno. De esta manera se muestra que en el efluente de la PTAR-CA se identificó *Citrobacter freundii* y *Sphingomonas paucimobilis* en los meses de febrero y marzo de 2013 respectivamente. En la cisterna Campus Central durante marzo de 2013 se identificó *Aeromonas sobria* y *Klebsiella oxytoca*, mientras que en junio de ese mismo año se mostró la presencia de *Enterobacter agglomerans* 4. En la cisterna Camellón Química se identificó *Aeromonas sobria* y *Aeromonas sobria/hydrophila* en febrero y a *Pseudomonas fluorescens/putida* en el mes de abril de 2013. En las cisternas Camellón Veterinaria y Canchas Béisbol no se

observó crecimiento de coliformes fecales en el mes de noviembre de 2012, sin embargo se identificó *Pseudomonas spp* en ambas cisternas.

Mientras que en aspersor Centro Médico se identificó a *Serratia marcescens* y *Aeromonas sobria* en el mes de abril de 2013; y en el aspersor Pista de Calentamiento se identificó *Aeromonas sobria* y *Hafnia alvei* en febrero 2013.

La identificación de bacterias con potencial patógeno en muestras de agua residual tratada que no muestra la presencia de coliformes fecales, nos indica que este parámetro no siempre resulta ser un indicador adecuado para determinar la inocuidad microbiológica del agua, tal como menciona la APHA (1989). Por lo tanto, la presencia de este tipo de bacterias en el agua residual tratada representa un riesgo a la población universitaria ya que queda expuesta a posibles infecciones causadas por estos microorganismos. Las cuales se pueden dar principalmente por el contacto al momento de hacer el riego de las áreas verdes, o al inhalar los bioaerosoles generados durante el riego. Estas infecciones pueden darse en el aparato respiratorio, en la piel o en el cerebro (OMS, 2006).

7.5 Cloro Libre Residual

A inicios del año 2013 se comenzó a determinar el cloro libre residual en el efluente de la PTAR-CA y en las CAART con la finalidad de saber cómo era el comportamiento de éste parámetro dentro del agua residual tratada, su comportamiento se muestra en la tabla 21. El cloro residual libre se determinó mediante el método DPD (método 8021 de Hach). Para tal fin se utilizó un equipo "Pocket Colorimeter II", reactivo de cloro libre DPD en polvo para la medición de cloro (Cl_2) con rango de 0,02 a 2,00 mg/l Cl_2 (número de catálogo HA21055-69) y un tamaño de la muestra de 10 mL.

Es importante señalar que la dosis de cloro varía con base en la demanda de cloro, las características del agua residual y los requisitos de descarga del efluente. La dosis generalmente tiene un rango de 5 a 20 miligramos por litro (mg/L). Además existen otros factores que aseguran condiciones óptimas de desinfección; estos incluyen la temperatura, la alcalinidad y el contenido de nitrógeno (EPA, 1999).

Tabla 21. Comportamiento del cloro libre residual en PTAR-CA y CAART

Cloro residual libre (mg/L)						
Sitios de monitoreo	feb-13	mar-13	abr-13	may-13	jun-13	ago-13
Efluente PTAR Cerro del Agua	0.23	0.27	0.13	0.00	0.28	---
Cisternas de almacenamiento						
Campus Central	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	---
Camellón Química	0.00	0.27	0.10	0.00	0.00	---
Camellón Veterinaria	---	0.00	0.00	0.00	0.00	---
Centro Médico	---	0.00	0.00	0.00	0.00	---
Pista de Calentamiento	1.30	0.10	0.00	0.00	0.00	---
Canchas Béisbol	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	---

--- No determinado

El análisis comparativo entre las concentraciones de cloro libre residual y la calidad bacteriológica del agua residual tratada de la PTAR-CA y de las CAART realizado, permitió discernir que la falta de cloro en el efluente de la PTAR-CA en noviembre de 2012 tuvo como consecuencia la presencia de *Aeromonas sobria*. Sin embargo, a pesar de existir cloración en efluente de la PTAR-CA en los meses de febrero y marzo del 2013 se detectaron bacterias como *Citrobacter freundii* y *Sphingomonas paucimobilis* respectivamente. En mayo de 2013 aunque no se detectó cloro en el efluente de la PTAR-CA no se identificó alguna bacteria de interés patógeno. En el caso de la cisterna Camellón Química aun con 0.10 mg/L de cloro residual detectado durante el mes de abril de 2013 se identificó a *Pseudomona fluorescens/putida*. Cabe señalar que las dosis de cloro medidas están dentro de un rango de 0.10 a 1.30 mg/L, las cuales no fueron suficientes para eliminar estas bacterias patógenas.

8. CONCLUSIONES

La calidad del agua residual tratada en la PTAR-CA, y generada a partir de la renovación de la tecnología de tratamiento; cumple con la legislación mexicana (NOM-003-SEMARNAT-1997), para el reúso de agua residual tratada en servicios al público con contacto directo. Específicamente para los parámetros de coliformes fecales, DBO₅, SST y huevos de helminto, exceptuando el mes de noviembre de 2012 en el que se detectaron hasta 8×10^3 UFC/100 mL de coliformes fecales.

La calidad del agua de las CAART presenta valores fuera de la NOM 003-SEMARNAT-1997 para el caso de los parámetros de coliformes fecales y DBO₅. Esto se atribuye a que no hay criterios establecidos para el llenado de las CAART, algunas ocasiones se llenan con agua residual tratada y en otras con agua potable, aparentemente porque el agua proveniente de la PTAR-CA no es suficiente para llenar todas las CAART; el agua permanece almacenada hasta por un mes durante el periodo de lluvias en que no opera la planta. Los valores de SST y los huevos de helminto se encontraron dentro de la norma en todas las CAART durante el periodo analizado.

Existe una falta de mantenimiento adecuado en cada una de las CAART analizadas, ya que se presentan fugas, tapas y escaleras deterioradas, así como daños a su estructura física.

Con excepción del aspersor del Camellón Veterinaria (marzo y mayo de 2013), todos los aspersores cumplen con los parámetros establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1997 de coliformes fecales, DBO₅ y SST.

El parámetro de coliformes fecales no siempre resulta ser un indicador adecuado para determinar la inocuidad microbiológica del agua residual tratada analizada, ya que se identificaron bacterias patógenas en muestras que no presentaron coliformes fecales.

Se identificaron bacterias con potencial patógeno con menor frecuencia en el efluente de la PTAR-CA, la frecuencia y número de especies se incrementó en las CAART. En el caso de los aspersores disminuyó el número de especies encontradas respecto al de CAART, no obstante, es importante señalar que el número de muestreos efectuados en los aspersores fueron de entre tres a seis. Algunas bacterias identificadas en este presente trabajo, son

potencialmente patógenas, por lo que es indispensable asegurar la calidad el agua residual tratada utilizada en riego de áreas verdes en Ciudad Universitaria.

De acuerdo a los meses en los que se verificó la presencia de cloro en muestras de agua residual tratada del efluente de la PTAR-CA y almacenada en las CAART la ausencia de cloro residual refleja la presencia de coliformes fecales y de bacterias de interés patógeno que pueden ser transmitidas vía hídrica.

9. RECOMENDACIONES

Es indispensable determinar los parámetros restantes de grasas y aceites, materia flotante, y las concentraciones de metales pesados y cianuros, mencionados en la NOM-003-SEMARNAT-1997 para poder tener la certeza del cumplimiento total de dicha norma, de lo contrario no se puede asegurar que esta norma se cumpla completamente.

El agua residual tratada no debe quedarse estancada por un periodo de tiempo prolongado, ya que como se muestra en algunas cisternas esto influyó en el aumento de microorganismos, por lo que se debe hacer un recambio constante de agua para controlar esta proliferación. En estos casos las cisternas deberían lavarse y desinfectar con mayor regularidad, ya que no se pueden quedar vacías por largos periodos de tiempo.

El gasto de agua residual tratada que se genere en la PTAR-CA se debe incrementar en lo posible, de tal manera que se evite que las cisternas más lejanas sean llenadas con agua potable. Con ello se estarían liberando cantidades de agua potable para otros usos.

Es necesario llevar a cabo las reparaciones físicas que presentan cada una de las CAART, así como la implementación de un plan de monitoreo preventivo y correctivo periódico para conservar la adecuada calidad del agua residual tratada proveniente de la PTAR-CA y de esta manera garantizar el cumplimiento de la NOM-003-SEMARNAT-1997. Además de establecer un programa de llenado de las CAART conforme al riego de áreas verdes.

El riego por medio de mangueras presenta un problema de uniformidad del líquido ya que algunas zonas quedan demasiado saturadas con agua provocando encharcamientos.

Se recomienda establecer un plan de monitoreo periódico en los aspersores ya que es el punto final donde el agua residual tratada tiene contacto con la población.

Se sugiere llevar a cabo estudios que comparen las concentraciones de cloro libre residual con la presencia de bacterias patógenas ya que como se observa en los resultados, la presencia de cloro no siempre elimina este tipo de microorganismos perjudiciales a la salud de la comunidad universitaria expuesta.

BIBLIOGRAFÍA

Aboites, L., E. Cifuentes, B. Jiménez y M. L. Torregrosa. (2008). Agenda del Agua. Academia Mexicana de Ciencias. Red del Agua. México. 56 p.

Agua.org.mx. (2004). Agua en México. Consultado en julio de 2013. http://www.agua.org.mx/h2o/index.php?option=com_content&view=section&id=6&Itemid=300004

Apella, M. C. y P. Z. Araujo. (2005). Microbiología de Agua. Conceptos Básicos. En: *Posibilidades para la Provisión de Agua Segura Usando Nuevas Tecnologías. Puerto Iguazú, Argentina. Octubre 14-15.* pp. 33 - 50. Consultado en mayo de 2013. http://www.psa.es/webesp/projects/solarsafewater/documents/libro/02_Capitulo_02.pdf

APHA, WWA, WPCF. (1989). Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Ediciones Díaz de Santos, S.A. 17 Edición.

Becton, Dickinson and Company. (2009). Difco & BBL Manual. Manual of Microbiological Culture Media. Second Edition. Consultado en septiembre de 2012. http://www.bd.com/ds/technicalcenter/misc/difcobblmanual_2nded_lowres.pdf

BOLIO SALAZAR, E. E. (2009). Manual de Prácticas Análisis Clínicos III. Universidad de Colima. Dirección General de Educación Media Superior. Consultado en septiembre de 2012. http://docencia.izt.uam.mx/hgm/bq_fisiof_microbiana/documentos/pdf/manual%20microbiolog%EDA%20cl%EDnica.pdf

Bonilla Morales, S. (2011). Estudios de calidad del agua en la presa Valle de Bravo. Proyecto terminal in extenso. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 84 p.

Comisión Nacional del Agua. (2006). Manejo de las Aguas Residuales. El Caso de la Ciudad de México. IV Foro del Agua. Consultado en julio de 2013 <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/e/foro4/17marzo/combate/manejo.pdf>

Comisión Nacional del Agua. (2008). Programa Nacional Hídrico 2007-2012. México, D.F.

Comisión Nacional del Agua. (2009). Estadísticas del Agua de la Región Hidrológico-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México. Edición 2009. México, D.F.

Comisión Nacional del Agua. (2010). Programa de Sustentabilidad Hídrica del Valle de México. Consultado en julio de 2013. <http://www.conagua.gob.mx/sustentabilidadhidricadelvalledemexico/Introduccion.aspx?Pag=1>

Comisión Nacional del Agua. (2011a). Agenda del Agua 2030. México, D.F.

Comisión Nacional del Agua. (2011b). Estadísticas del agua en México, edición 2011. México, D.F.

Comisión Nacional del Agua. (2011c). Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. México, D.F.

Comisión Nacional del Agua. (2011d). Misión y visión. Consultado en julio de 2013. <http://www.cna.gob.mx/Contenido.aspx?n1=1&n2=27>

Comisión Nacional del Agua. (2012a). Acciones de infraestructura de drenaje y abastecimiento de agua en el Valle de México 2007-2012. México D.F.

- Comisión Nacional del Agua. (2012b). Atlas del agua en México 2012. México, D.F.
- Comisión Nacional del Agua. (2012c). Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. México, D.F.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos de 1917. Diario Oficial de la Federación. Publicada el 5 de febrero de 1917. Última reforma publicada el 11 de junio de 2013.
- De la Peña M. E., J. Ducci y V. Zamora Plascencia. (2013). Tratamiento de aguas residuales en México. Banco Interamericano de Desarrollo. 23 p.
- Enriquez, V. L., A. E. Soria y M. C. Salomón. (2003). Monitoreo de parásitos patógenos en efluentes agroindustriales. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Vol. 35. No. 2. Año 2003. 25-32 p. Consultado en noviembre de 2013. <http://bdigital.uncu.edu.ar/1747>.
- Escalante Estrada, V. E y G. E. Moeller Chávez. (2007). Panorama del reúso del agua residual tratada en México. Seminario "Manejo Integral de Aguas Residuales Domésticas". Bloque 3. Agua residual: ¿un recurso?; Cali, 13-14 nov. 2007. Consultado en septiembre de 2013 www.bvsde.paho.org/documentosdigitales/bvsde/texcom/.../escalapa.pdf
- Escalante, V., Cardoso, L., Ramírez, E., Moeller, G., Mantilla, G., Montecillos, J., Servín, C. y Villavicencio, F. (2003). Reúso del agua residual tratada en México. En Agua 2003: Usos Múltiples del Agua, para la Vida y el Desarrollo Sostenible; Cartagena de Indias, 29 set.-3 oct. 2003. Consultado en septiembre de 2013. www.bvsde.paho.org/bvsacd/agua2003/reus.pdf
- Fernández Cirelli, A. y C. du Mortier. (2005). Evaluación de la condición del agua para consumo humano en Latinoamérica. En: *Posibilidades para la Provisión de Agua Segura Usando Nuevas Tecnologías. Puerto Iguazú, Argentina. Octubre 14-15*. pp. 17-32. Consultado en mayo de 2013. http://www.revistavirtualpro.com/ediciones/agua_potable_posibilidades_para_la_provision_de_agua_segura_usando_nuevas_tecnologias-2007-01-01_31
- Fonseca Salazar, M. A. (2010). Bacteriófagos como indicadores de la calidad del agua en Ciudad Universitaria. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 62p.
- Fraenkel, P. y J. Thake. (2010). Dispositivos de Elevación del Agua - Manual Para Usuarios Y Planificadores. Alfaomega. 3ª ed. México. 352 p.
- García López, M D. y F. U. Fernández. La conservación de cepas microbianas. Colección Española de Cultivos Tipo (CECT). Universidad de Valencia. Consultado en septiembre de 2012. http://www.semicrobiologia.org/pdf/actualidad/SEM30_12.pdf
- García Santiago, E.I. (2009). Análisis de potencialidad de reuso de agua residual en el edificio 12 del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 104 p.
- Gobierno del Distrito Federal, Secretaría del Medio Ambiente, Secretaría de Obras y Servicios y Sistema de Aguas de la Ciudad de México. (2007). Programa de Manejo Sustentable del Agua para la Ciudad de México. México, D.F. Consultado en agosto de 2013. http://www.sma.df.gob.mx/dgpcp/images/ProgAgua_Cd.pdf
- González Becerril, E. (2009). Evaluación de la calidad fisicoquímica del agua residual y tratada en un proceso primario avanzado considerando el tamaño de partícula. Tesis de licenciatura. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 108 p.

Guagnelli, M. y M. Rebollar Barceló. (2005). Tecnologías de tratamiento de aguas en Latinoamérica: oferta disponible y diagnóstico de demanda. En: *Posibilidades para la Provisión de Agua Segura Usando Nuevas Tecnologías. Puerto Iguazú, Argentina. Octubre 14-15*. pp. 51-62. Consultado en mayo de 2013. http://www.revistavirtualpro.com/ediciones/agua_potable_posibilidades_para_la_provision_de_agua_segura_usando_nuevas_tecnologias-2007-01-01_31

HACH. (2000). Manual de análisis de agua 2nd ed. Hach Company. Loveland, Colorado, EE.UU. 217 p.

HACH. (2003). Sistemas de Análisis Pocket Colorimeter II. Manual de instrucciones Cloro (Cl₂). Hach Company. EE.UU. Consultado en enero de 2013. [file:///C:/Users/Jesus/Downloads/POCKET%20COLORIMETER%20%20II%20Manual%20de%20instrucciones-Cloro%20\(Cl2\)%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Jesus/Downloads/POCKET%20COLORIMETER%20%20II%20Manual%20de%20instrucciones-Cloro%20(Cl2)%20(3).pdf)

Hendricks, D. (2011). Fundamentals of Water Treatment Unit Processes: Physical, Chemical, and Biological. CRC Press. New York. 927 p.

INEGI. Anuario estadístico de los Estados Unidos Mexicanos 2012. México.

Ingraham, J. L. y C. A. Ingraham. (1998). Introducción a la Microbiología. Volumen 1. Editorial Reverté, S. A. Barcelona, España. 377 p.

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR). (2003). Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos). Consultado en julio de 2013. <http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/7010manualTecnicasanaliticas..pdf>

Instrumentación Científico Técnica. (2009). Filtración de Laboratorio. Guía de productos. Millipore. Consultado en septiembre de 2012. <http://www.cosela.es/imagenes/galeria/0.00903000%201321351423.pdf>

Instrumentación Científico Técnica. Cultimed. Manual Básico de Microbiología. Consultado en septiembre de 2012. <http://www.ictsl.net/downloads/microbiologia.pdf>

Jiménez-Cisneros B. E. (2001). La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada. Limusa Noriega Editores. México, D. F. 926 p.

Jiménez, B. y L. Marín. (2004). El agua en México vista desde la academia. Academia Mexicana de Ciencias. México, D.F. p

Ley de Aguas Nacionales. Diario Oficial de la Federación. Publicada el 1º de diciembre de 1992. Última reforma publicada el 07 de junio de 2013. 40, 74-86 p.

Ley Federal de Derechos. Diario Oficial de la Federación. Publicada el 31 de diciembre de 1981. Última reforma publicada el 09 de abril de 2012

Ley General del Equilibrio Ecológico y La Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación. Publicada el 28 de enero de 1988. Última reforma publicada el 07 de junio de 2013

Madigan, M., J. M. Martinko y J. Parker. (2003). Brock Biología de los Microorganismos, 10ª ed. Pearson Educación. Madrid. 1096 p.

Maya Rendón, C. (2000). Modificación de la calidad físico-química y microbiológica de los efluentes de agua tratada por su embalse en el Lago Nabor Carrillo. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 137 p.

Monges Morán, Y. L. (2009). Calidad del agua como elemento integrador para la rehabilitación del río Magdalena, Distrito Federal. Tesis de maestría. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 69 p.

NMX-AA-003-1980. Aguas residuales-Muestreo. Diario Oficial de la Federación. Publicada el 25 de marzo de 1980.

NMX-AA-005-SCFI-2000. Análisis de agua - Determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba. Diario Oficial de la Federación. Publicada el 18 de diciembre de 2000

NMX-AA-028-SCFI-2001. Análisis de agua - Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO₅) y residuales tratadas - Método de prueba. Diario Oficial de la Federación. Publicada el 17 de abril de 2001

NMX-AA-034-SCFI-2001. Análisis de agua - Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba. Diario Oficial de la Federación. Publicada el 01 de agosto de 2001.

NMX-AA-102-SCFI-2006. Calidad del agua – Detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* presuntiva – Método de filtración en membrana (cancela a la nmx-aa-102-1987). Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de agosto de 2006.

NOM-003-SEMARNAT-1997. Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Diario Oficial de la Federación. Publicada el 21 de septiembre de 1998

Ojeda Suárez, J. T. (2004). Manual de Análisis de Aguas. Instituto Tecnológico Superior De Irapuato Departamento de Ing. Bioquímica. 129 p. Consultado en noviembre de 2013. http://www.limpiemoselagua.com.mx/archivos/Libros/20_Manual%20de%20Analisis%20de%20Aguas%20Residuales.pdf

Olivas E., E. y L. R. Alarcón. (2001). Manual de prácticas de Microbiología básica y Microbiología de alimentos. Programa de nutrición. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Ciudad Juárez, Chihuahua. 107 p. Consultado en agosto de 2013. http://books.google.com.mx/books?id=Oy-kG04CIBUC&pg=PA83&lpg=PA83&dq=microbiologia+de+los+alimentos+coliformes&source=bl&ots=jZRxNxKQbp&sig=0u0NIoYLK73Kyj6Zl4GsbUxsrX8&hl=es-419&sa=X&ei=V_gtUo6OB0X02QXXt4DAAg&ved=0CCwQ6AEwAA#v=onepage&q=microbiologia%20de%20los%20alimentos%20coliformes&f=false

OMS, 2006. Guías para la calidad del agua potable. Consultado en enero de 2013. http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowsres.pdf?ua=1

Orta de Velázquez, M.T., I. Yáñez-Noguez, F.J. González Villarreal y E.I. García Santiago. (2012). Implementation proposal of safety plan for reuse of treatment wastewater in green areas, Case Study. En: *Disinfection of Water, Wastewater and Biosolids Conference*. Mexico City. 25-29 November 2012.

Ortiz Pineda, C. (2010). Prevalencia de huevos de helmintos en lodos, agua residual cruda y tratada, provenientes de un sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio El Rosal, Cundinamarca. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D.C. 125 p.

PRONATURA. El agua en México. Consultado en julio de 2013. http://www.pronatura.org.mx/agua_mexico.php

PUMAGUA Informe Final 2008. Consultado en septiembre de 2012. www.agua.unam.mx/.../pumagua/informes/informe_PUMAGUA2008.pdf.

PUMAGUA Resumen Ejecutivo 2009. Consultado en agosto de 2013. www.pumagua.unam.mx/assets/pdfs/.../2009/resumen_ejecutivo_2009.p...

PUMAGUA Informe de Avances 2010. Consultado en septiembre de 2012. www.pumagua.unam.mx/pub_informes.html.

Rivera Mota, M. (2009). Reducción de patógenos en agua residual a través de acidificación anaerobia. Tesis de Maestría. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 102 p.

Rodríguez González P. y Urzúa De La Cruz Ma. G. (1998). Análisis Bacteriológico de aguas residuales en las plantas de tratamiento de la delegación Xochimilco. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 69 p.

Sánchez, O., M. Herzig, E. Peters, R. Márquez y L. Zambrano. (2007). Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. Instituto Nacional de Ecología. 293 p. Consultado en julio de 2013. http://books.google.com.mx/books/about/Perspectivas_sobre_conservaci%C3%B3n_de_ecos.html?id=uWlrkIx-r3oC&redir_esc=y

Santos Márquez, M. I. (2010). Análisis microbiológico del agua de pozos, residual, tratada y de riego utilizada en Ciudad Universitaria. Tesis de licenciatura. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 59 p.

Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México (SEGEM). (Agosto, 2004). Agua y desarrollo sustentable, 4-5.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Subsecretaría De Fomento Y Normatividad Ambiental. (2012). Normas Mexicanas Vigentes. México, D.F.

Seoanes Calvo, M. (1999). Aguas residuales: tratamiento por humedales artificiales. Fundamentos científicos. Tecnologías. Diseño. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 322 p.

Serie autodidáctica de medición de la calidad del agua. Muestreo y preservación para coliformes fecales y huevos de helminto. Consultado en septiembre de 2012 www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Bactereologicos.pdf

Serie autodidáctica de medición de la calidad del agua. Muestreo y preservación parámetros físico-químicos. Consultado en septiembre de 2012 www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Fisicoquimicos.pdf

Silva Sandoval, C. (2009). Diagnostico fisicoquímico del agua para reúso en Ciudad Universitaria, UNAM. Tesis de licenciatura. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 121 p.

Tortota, G. J., B. R. Funke y C. L. Case. (2010). Microbiology an introduction. Décima edición. Perarson. United States of America. 812 p.

UNICEF. (2013, 13 de mayo). 2.400 millones de personas carecerán de saneamiento mejorado en 2015. Comunicado de prensa conjunto. Consultado en julio de 2013 http://www.unicef.org/spanish/media/media_69091.html

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 1999. Desinfección con cloro. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Consultado en noviembre de 2013. water.epa.gov/aboutow/owm/.../2004_07_07_septics_cs-99-062.pdf

USGS. 2001. A Primer on Water Quality. Consultado en junio de 2013. <http://pubs.usgs.gov/fs/fs-027-01/pdf/FS-027-01.pdf>

Val Segura R. Reúso del agua en la UNAM, Junio 2011. Consultado en septiembre de 2012. www.agua.unam.mx/assets/acuiferos/pdfs/.../rafaelval_pumagua.pdf.

Winn (h.) W., S. D. Allen, W. M. Janda, E. W. Koneman, G. W. Procop, P. C. Schreckenberger y G. L. Woods (2008). Koneman. Microbiological diagnosis: Text and Color Atlas. 6ª ed. Editorial Médica Panamericana. 1691 p.

Yáñez Noguez I., Ma. T. Orta L. de Velásquez, M. N. Rojas Valencia, F. González Villarreal y E. I. García Santiago. 2010. Relevancia del monitoreo de la calidad del agua tratada, en las prácticas de reuso en la UNAM. *XXXII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS 2010. 7-10 de Noviembre de 2010*, Punta Cana, República Dominicana.

ANEXO 1.

*Manual de acciones preventivas y
correctivas de las Cisternas de
Almacenamiento de Agua Residual Tratada
(CAART)*



Calidad del Agua

Instituto de Ingeniería de la UNAM



CONTENIDO

- 1. Introducción**
- 2. Objetivos y campo de aplicación**
- 3. Definiciones**
- 4. Cisternas de almacenamiento de agua residual**
 - 4.1. Cisterna Campus Central**
 - 4.1.1 Características físicas
 - 4.1.2 Acciones correctivas necesarias
 - 4.2. Cisterna Camellón Química**
 - 4.2.1 Características físicas
 - 4.2.2 Acciones correctivas necesarias
 - 4.3. Cisterna Camellón Veterinaria**
 - 4.3.1 Características físicas
 - 4.3.2 Acciones correctivas necesarias
 - 4.4. Cisterna Centro Médico**
 - 4.4.1 Características físicas
 - 4.4.2 Acciones correctivas necesarias
 - 4.5. Cisterna Pista de Calentamiento**
 - 4.5.1 Características físicas
 - 4.5.2 Acciones correctivas necesarias
 - 4.6. Cisterna Canchas Béisbol**
 - 4.6.1 Características físicas
 - 4.6.2 Acciones correctivas necesarias

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la inspección física que se realizó en cada una de las Cisternas de Almacenamiento de Agua Residual Tratada analizadas se plantean las recomendaciones necesarias para garantizar que la calidad del agua residual tratada preserve el mayor tiempo posible las características adecuadas conforme lo establece la legislación mexicana (NOM-003-SEMARNAT-1997), principalmente con servicios al público con contacto directo.

2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL.

Este manual presenta los criterios generales a considerar para la realización de acciones preventivas y correctivas en cada una de las cisternas de almacenamiento de agua residual tratada en el Campus de Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México, con el objeto de conservar la calidad del agua generada en la Planta de Tratamiento de Agua Residual “Cerro del Agua” para garantizar el cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana (NOM-0003-SEMARNAT-1997). Y apoyar a la DGO y C de la UNAM

OBJETIVOS PARTICULARES

Describir la ubicación y las características físicas que presentan cada una de las cisternas de almacenamiento de agua residual tratada analizadas.

Indicar las acciones correctivas necesarias en cada una de las cisternas de almacenamiento de agua residual tratada.

CAMPO DE APLICACION

Este manual aplica para las Cisternas de Almacenamiento de Agua Residual Tratada en el Campus de Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México

3. DEFINICIONES

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

Cisterna: Depósito o recipiente, que se emplea para almacenar y distribuir agua para uso y consumo humano, agua residual y/o agua residual tratada.

Hojarasca: Capa de la superficie del suelo forestal formada por desechos orgánicos inertes de trozos de plantas (por debajo de un cierto diámetro) como hojas, corteza, ramillas, flores, frutos y otras sustancias vegetales, que han caído recientemente o que están ligeramente descompuestas.

Larva: es una fase juveniles de un animal en estado de desarrollo, que ya ha abandonado su huevo y puede alimentarse por sí mismo, pero que aún no ha desarrollado la forma y la organización que caracteriza a los adultos de su especie.

Mantenimiento: Conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente.

Muestreo: Acción de obtener volúmenes, porciones, cantidades, biomasa representativas de un sitio determinado, para evaluar sus características físicas, químicas y biológicas.

4. CISTERNAS DE ALMACENAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

4.1. Cisterna Campus Central

4.1.1 Características físicas

Esta cisterna abastece de agua de riego a una zona de bastante concurrencia académica. Ubicada al norte de la Facultad de Arquitectura. La parte superior forma parte de un corredor que va hacia la Dirección General de Servicios Educativos (figura 1 a).

En esta cisterna la tapa se encuentra al nivel de la superficie de la cisterna, y esta es de concreto por lo que es muy pesada para levantarse además alcanza a notarse la acumulación de hojarasca en la base de la tapa. La escalera que tiene en su interior ha comenzado a perder la pintura que le sirve de recubrimiento y se alcanzan a notar un poco deteriorada una de las paredes internas de la cisterna (figura 1 b, c, d).



Figura 1 a, b, c, d. Cisterna Campus Central

4.1.2 Acciones correctivas necesarias

Subir el nivel de la tapa de la cisterna para evitar escurrimientos de agua o cualquier otro líquido hacia el interior de la cisterna. Y en el caso de que esto implicara el cambio de tapa esta tendría que estar muy bien asegurada con candado para prevenir accidentes debido a que esta cisterna está ubicada en una zona bastante concurrida. Además es conveniente llevar a cabo un mantenimiento interno periódico, para evitar que se deteriore la cisterna, así como a las escaleras ya que está expuesta a la corrosión por el agua.

4.2. Cisterna Camellón Química

4.2.1 Características físicas

Ubicada en el camellón central, entre la facultad de Química y la entrada al Instituto de Ingeniería, presenta solo una tapa, la cual recientemente se cambió y también se le hizo mantenimiento a la base de esta tapa. Sin embargo, presenta un hueco en la parte trasera a la tapa y pequeños escurrimientos de agua del lado donde se encuentra la válvula que controla el llenado de la cisterna como se muestra en la figura 2 a, b, c, d.



Figura 2 a, b, Cisterna Camellón Química



Figura 2 c, d. Cisterna Camellón Química

4.2.2 Acciones correctivas necesarias

En épocas de lluvias se notó que en algunas partes de la superficie de la cisterna se acumula agua, si esta es abundante puede llegar a escurrir hacia el interior de la cisterna por el hueco que presenta esta cisterna, por lo que es necesario tapanlo, además de que en determinado momento algún animal podría caer a la cisterna provocando de esta manera una alteración a la calidad del agua de la cisterna. Con respecto a las fugas es necesario identificarlas y repararlas para evitar un desperdicio continuo del agua.

4.3. Cisterna Camellón Veterinaria

4.3.1 Características físicas

Se encuentra ubicada sobre el camellón central, enfrente del Centro de Desarrollo Infantil del campus universitario (CENDI). En esta cisterna las tapas se encuentran casi al nivel superior de la cisterna, tal como se alcanzan a observar en la figura 3 a, b. Algo muy característico que se ha notado en esta cisterna es la presencia de heces de animales sobre las tapas y larvas de hormigas en algunas de ellas, así como restos de material orgánico. Figura 3 c, d. También presenta fugas de agua en tres de sus lados ubicadas en la parte de la zona rocosa y de árboles. Figura 3 e, f.



Figura 3 a, b, c, d, e, f. Cisterna Camellón Veterinaria

4.3.2 Acciones correctivas necesarias

La reparación de las fugas es de vital importancia para evitar el desperdicio de agua y que los encharcamientos de esta provoquen más daños a la cisterna. Aunque recientemente se le ha dado mantenimiento a las tapas, una de ellas presenta un deterioro muy avanzado y es necesario cambiarse, así también se requiere colocar

bases de concreto para cada una de las tapas para evitar que se oxiden con el agua de lluvia.

Debido a que es imposible controlar el acceso de los animales en esta área, por lo que es conveniente hacer un aseo periódico para retirar las heces de los animales, y las larvas de las hormigas, para evitar que estas caigan al interior de la cisterna cuando se levante la tapa.

4.4. Cisterna Centro Médico

4.4.1 Características físicas

Se encuentra del lado derecho de la entrada al edificio de Consejos Académicos, por lo que también es conocida como la cisterna de Consejos Académicos, la cual es utilizada como cancha de voleibol (figura 4 a). En esta cisterna la tapa se encuentra al nivel de la parte superior de la cisterna, además se nota que esta no sella adecuadamente quedando pequeñas aberturas donde se acumula hojarasca que se introduce al interior de la cisterna. Figura 4 b, c.



Figura 4 a, b Cisterna Centro Médico

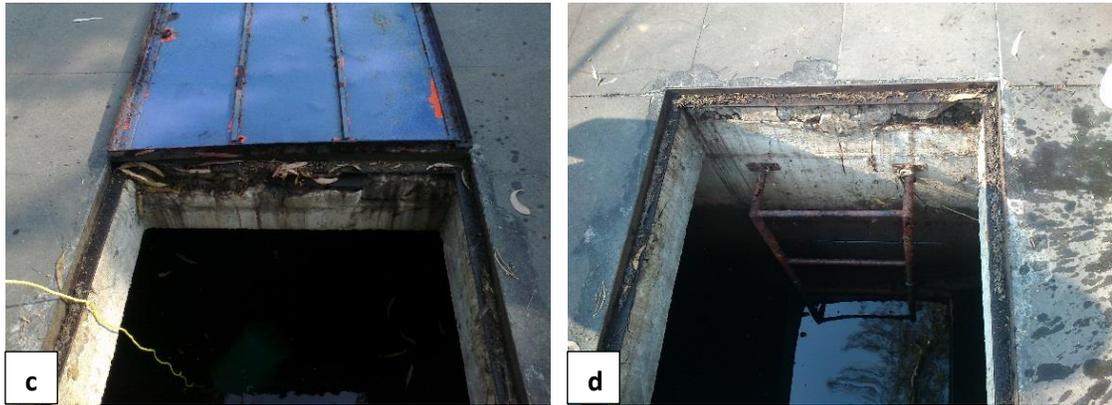


Figura 4 c, d. Cisterna Centro Médico

También la escalera que tiene en su interior (figura 4 d), comienza a notarse deteriorada debido a las condiciones de humedad a la que se encuentra expuesta, además en dos de sus costados se notan deterioradas.

4.4.2 Acciones correctivas necesarias

Aunque es utilizada como zona recreativa se necesita colocar una base de concreto en la tapa para evitar que en épocas de lluvias se introduzca agua de diferente calidad a la cisterna, además de cambiar la tapa y dar mantenimiento a las zonas afectadas de la cisterna. Por otra parte es importante hacer un cambio de la escalera y darle mantenimiento continuo para evitar su deterioro acelerado.

4.5. Cisterna Pista de Calentamiento

4.5.1 Características físicas

Se encuentra ubicado a un costado del edificio de medicina deportiva (figura 5 a). En esta cisterna dos de las tres tapas con la que cuenta se encuentran casi al nivel de la parte superior de la cisterna sirviendo únicamente de separación el marco de la misma tapa. Estas no se notan perforadas, sin embargo se encuentran separadas, con respecto al marco que les sirve como base (figura 5 b, c). La tapa que se ubica en donde llega la tubería de llenado de la cisterna, cuenta con una base de concreto y su lamina superior comienza a presentar deterioro y pequeñas fisuras (figura 5 d, e). Esta cisterna al parecer cuenta con una capa de impermeabilizante que la

recubre, la cual ha comenzado a desgastarse, notándose pequeñas grietas en donde crece el pasto (figura 5 f). En muy pocas ocasiones se ha notado demasiada hojarasca sobre la cisterna.



Figura 5 a, b, c, d, e, f. Cisterna Pista de Calentamiento

4.5.2 Acciones correctivas necesarias

En las tapas que se encuentran casi al nivel de la superficie de la cisterna es necesario hacerles una base de concreto, cambiar estas o soldarlas, además de aplicarle otra capa de impermeabilizante para impedir el crecimiento de vegetación. A la tapa que se encuentra dónde está la tubería es necesario darle mantenimiento para evitar que se siga deteriorando.

4.6. Cisterna Canchas Béisbol

4.6.1 Características físicas

Se encuentra ubicada detrás de la caseta de los jardineros de esta zona. En esta cisterna se han observado grietas y orificios en las bases de concreto de las tapas como se muestra en la figura 6 a, b, c, d.



Figura 6 a, b. Cisterna Canchas Béisbol

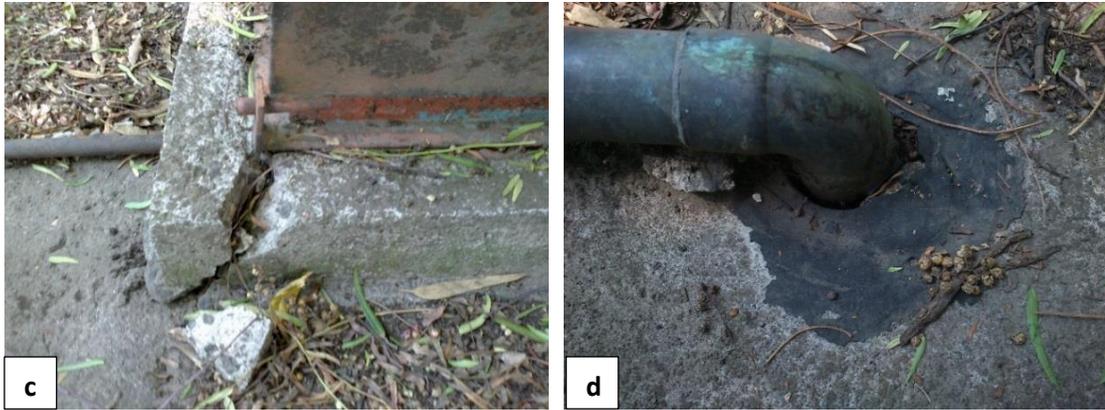


Figura 6 c, d. Cisterna Canchas Béisbol

Y en ocasiones se ha encontrado cubierta por una capa de hojarasca procedente de los árboles que se encuentran a su alrededor, aunque en este sentido también se ha notado que se lleva a cabo una limpieza de esta hojarasca (figura 6 e, f).



Figura 6 e, f, Cisterna Canchas Béisbol

En la parte trasera de la cisterna se ha observado restos de arboles y basura, que si bien no afectan de manera directa a la cisterna, impiden que se observe alguna posible fuga de agua (figura 6 g, h).



Figura 6 g, h. Cisterna Canchas Béisbol

También las tapas comienzan a deteriorarse, debido a las condiciones ambientales a las que se encuentran, por lo que han comenzado a perforarse o a perder el recubrimiento de pintura ya sea por la parte exterior o la interior (figura 6. i, j).



Figura 6. i, j. Cisterna Canchas Béisbol

4.6.2 Acciones correctivas necesarias

Es primordial que se realice un mantenimiento a las bases de las tapas, en especial a la que se encuentra notablemente en malas condiciones, así como el taponear los orificios presentes para evitar que en épocas de lluvia la hojarasca o cualquier otro material puedan contaminar el agua de la cisterna. El cambio de tapas sería lo ideal, pero en su defecto, el mantenimiento constante en cuanto a su pintura ayudaría a preservarlas en mejores condiciones por mayor tiempo.

Así mismo es muy importante tratar de hacer una limpieza de la hojarasca de manera continua, que mientras no se haga el mantenimiento adecuado a la cisterna, evitará que esta quede retenida en las grietas y orificios introduciéndose hacia el interior de la cisterna.

Reubicar los restos de material orgánico y basura que se encuentra en la parte trasera de la cisterna ya que podrían servir como refugio de animales que podrían ser peligrosos al personal de esta área

Nota

Este manual se realizó en base a las observaciones hechas a las estructuras físicas de cada una de las Cisternas de Almacenamiento de Agua Residual Tratada que se llevó a cabo conforme se realizaron los muestreos, en el periodo comprendido de agosto de 2012 a agosto de 2013, además se hizo una última revisión en febrero del 2014 para identificar algunas mejoras que se les hubiesen hecho desde el último muestreo realizado en agosto de 2013.

ANEXO 2. FUNDAMENTOS DE LAS TÉCNICAS Y PRUEBAS REALIZADAS

MÉTODO DE FILTRACIÓN EN MEMBRANA

El método se basa en la filtración de una muestra directa o una alícuota de la muestra a través de una membrana de celulosa que retiene los organismos, colocando la membrana ya sea en un medio de cultivo selectivo de agar lactosado o en un cojinete absorbente saturado con un medio líquido lactosado. La membrana se incuba durante 24 h a $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ para la detección de organismos coliformes, o alternativamente a $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ para la presencia de organismos coliformes termotolerantes. Se lleva a cabo la cuenta directa de las colonias características desarrolladas sobre la membrana, y algunas de estas colonias se resiembran para pruebas confirmativas para producción de gas e indol. Finalmente se hace el cálculo del número de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* presuntiva que pueden estar presentes en 100 mL de la muestra.

TINCIÓN DE GRAM

Su fundamento radica en la diferente estructura de la pared celular de los grupos de bacterias, las bacterias Gram positivas tienen una gruesa capa de peptidoglicano en su pared, mientras que las bacterias Gram negativas tienen una capa de peptidoglicano más fina y una capa lipopolisacáridica externa. Tras la tinción con el primer colorante (Cristal violeta) se efectúa un lavado con etanol que arrastrará al colorante sólo en las Gram negativas, mientras que en las Gram positivas el colorante queda retenido y las células permanecerán azules. Las células Gram negativas se teñirán después con un colorante de contraste (safranina) para que puedan observarse de color rosa o rojo.

Procedimiento

1. Hacer y fijar un frotis de la muestra por analizar, pasándola suavemente en la flama de un mechero.
2. Cubrir la preparación con 2 gotas de violeta de genciana (o cristal violeta), y mantener durante 1 minuto. En este paso, todas las células quedan teñidas por el colorante.
3. Lavar con agua destilada. Escurrir el colorante volcando el porta y cubrir con 2 gotas de lugol. Dejar actuar durante 1 minuto. De esta forma se refuerza la interacción entre el colorante y la pared celular. Lavar cuidadosamente con agua destilada
4. Inclinando su portaobjetos, agregar gota a gota el alcohol-acetona y dejar escurrir hasta que no se observa desprendimiento de colorante. Generalmente el tiempo es de 15 segundos, pero este puede variar dependiendo del grosor del frotis. Añadir inmediatamente agua para evitar el arrastre completo de todo el colorante. En esta fase se produce la decoloración diferencial de las Gram negativas.
5. Agregar 2 gotas del colorante de contraste (safranina). Dejar actuar de 30 segundos a 1 minuto. En esta fase las Gram negativas adquirirán el color rojo de la safranina mientras que las Gram positivas continuarán con el color azul propio del primer colorante. Lavar con agua, eliminar cuidadosamente el exceso de agua con una toalla de papel y secar la preparación al aire.
6. Observar al microscopio con el objetivo de inmersión (100x), (recordar usar aceite de inmersión).
7. Al finalizar las observaciones limpiar cuidadosamente el objetivo con papel seda para eliminar el exceso de aceite y evitar incrustaciones que dañan a estos sistemas.
8. Reportar las observaciones
 - ✓ Forma (bacilos, cocos)
 - ✓ Agrupación
 - ✓ Color (tipo de Gram)Comparar las observaciones realizadas con las reportadas en la literatura.

CONSERVACIÓN DE MICROORGANISMOS

Los tres objetivos que hay que alcanzar para conservar correctamente las cepas microbianas en los laboratorios de microbiología son: que el cultivo a conservar sea puro, evitando que se produzcan contaminaciones durante el proceso de conservación; que durante el tiempo de conservación sobrevivan al menos el 70-80% de las células, y por último, que estas células permanezcan genéticamente estables.

Conservación por transferencia periódica

La cepa microbiana se guarda en forma de cultivo activo en el medio de cultivo en el que ha crecido. Sin embargo, estas células no pueden permanecer indefinidamente en el mismo tubo, porque al seguir activas excretan productos tóxicos del metabolismo que se acumulan, provocando el envejecimiento y muerte celulares, por lo que es necesario transferirlas a otro tubo con medio de cultivo fresco.

Técnicas de cultivo

La utilización de cultivos es fundamental para determinar las características físicas, químicas y bioquímicas de los microorganismos; en este caso, principalmente de las bacterias. Para ellos contamos con un gran número y tipo de ellos, así como diversas técnicas de cultivo que nos facilitan el trabajo.

Desarrollo

Prender el mechero para crear un área estéril y así evitar la contaminación personal y de los medios de cultivo. Colocar las cajas en posición invertida sobre la mesa de trabajo para facilitar su manipulación

- Procedimiento de sembrado por estrías en placa

1. Esterilizar el filamento del asa de siembra y tomar la caja de Petri que contiene el medio de cultivo sembrado. Cerca del mechero esperar que se enfríe el asa y tomar una colonia de la placa. Regresa la caja a su tapadera.
2. Tomar una caja Petri con agar estéril (donde se va a sembrar) y con cuidado de no romper el agar, inocular la muestra en un extremo de la caja y con el asa en posición ligeramente horizontal realizar las estrías (muy juntas), oscilando el asa de siembra sobre la superficie de una porción pequeña del agar; mediante un balanceo sucesivo y rápido de la muñeca.
3. Esterilizar el asa de nuevo y dejarla enfriar cerca del mechero. Tocar una vez con el asa de siembra las estrías sembradas la primera vez y realizar sobre una porción virgen del agar una segunda tanda de estrías que no toque la primera.
4. Repetir exactamente la operación descrita en el punto anterior, pero tocando al empezar la segunda tanda de estrías, hasta completar 3 o 4. No debe hacerse más presión sobre el agar que la debida al propio peso del asa y su mango. Se debe emplear un asa de siembra en buen estado, pues una rota o deteriorada rasgará el agar.
5. Colocar en la incubadora y dejar en posición invertida 24 horas al término de las cuales se puede observar ya el desarrollo de colonias aisladas.

- Procedimiento de sembrado por estrías en agar inclinado

1. Esterilizar el filamento del asa de siembra y tomar la caja de Petri que contiene el medio de cultivo sembrado. Cerca del mechero esperar que se enfríe el asa y tomar una colonia de la placa. Regresa la caja a su tapadera.
2. Tomar el tubo de agar en pico de flauta (agar inclinado) y cerca del mechero retirar el tapón de ayudándose con los dedos meñique y anular y flamear la boca del tubo.
3. Introducir el asa con la muestra (cuidando de no tocar las paredes del tubo) y empezando en el área del fondo del agar realizar una estría hacia fuera hasta terminar en la punta del agar. Retirar el asa.
4. Flamear la boca del tubo de nuevo y colocar el tapón. Esterilizar el asa y dejarla enfriar.
5. Colocar en la incubadora y observar el desarrollo a las 24 o 48 horas después de la siembra.

DETERMINACIÓN DE HUEVOS DE HELMINTO

Fundamento:

Utiliza el principio de las flotaciones con soluciones de densidad específica, y con la ayuda del centrifugado, se limpian las muestras de detritus permitiendo la observación de los huevos de helminto. Es aplicable para cuantificación de huevos de helmintos en aguas residuales crudas.

ESCALA DE MACFARLAND

Fundamento:

Es un método indirecto para medir la masa bacteriana. Se trata de una serie de patrones de turbidez previamente calibrados. Consiste en varios tubos de vidrio herméticamente cerrados que contienen (1% de BaCl₂ más cantidades crecientes de H₂SO₄ al 1%); por lo tanto, en cada tubo se origina un precipitado de BaSO₄, origen de la turbidez. Para cada cepa bacteriana hay que establecer la equivalencia entre la turbidez de cada tubo y la masa o la concentración de bacterias (en céls/mL) que genera una turbidez similar.

PRUEBAS BIOQUÍMICAS DEL SISTEMA API-20E

Prueba del indol

Fundamento:

El indol, un bencilpirrol, es uno de los productos de degradación metabólica del aminoácido triptófano. Las bacterias que tienen la enzima triptofanasa son capaces de hidrolizar y desaminar el triptófano con producción de indol, ácido pirúvico y amoníaco. La producción de indol es una característica importante para la identificación de muchas especies de microorganismos, de particular utilidad en la diferenciación de *Escherichia coli* (positiva) de los miembros del grupo *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Hafnia*, *Serratia* (la mayoría negativas).

La prueba del indol se basa en la formación de un complejo de color rojo cuando el indol reacciona con el grupo aldehído del *p*-dimeilaminobenzaldehído. Este es el producto químico activo de los reactivos de Kovac y de Ehrlich.

Los siguientes microorganismos son útiles como controles:

A. Control positivo: *Escherichia coli*.

B. Control negativo: *Klebsiella pneumoniae*.

Prueba de la citocromo oxidasa

Fundamento:

Los citocromos son hemoproteínas que contienen hierro y actúan como último eslabón de la cadena de respiración aerobia, transfiriendo electrones (hidrógeno) al oxígeno, con la formación de agua. El sistema citocromo se encuentra en microorganismos aerobios o microaerófilos y anaerobios facultativos, de modo que la prueba de la oxidasa es importante para identificar a los microorganismos que carecen de la enzima o son anaerobios obligados. La prueba tiene su mayor utilidad para diferenciar colonias sospechosas de pertenecer a alguna de las *Enterobacteriaceae* (todas negativas) y para identificar las sospechosas de pertenecer a otros géneros como *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Neisseria*, *Campylobacter* y *Pasteurella* (positivas).

La prueba de citocromo oxidasa utiliza ciertos colorantes reactivos, como el dihidrocloruro de *p*-fenilendiamina que sustituye al oxígeno como aceptador artificial de electrones. En estado reducido, el colorante es incoloro; sin embargo, en presencia de citocromo oxidasa y de oxígeno atmosférico la *p*-fenilendiamina se oxida y forma azul de indofenol.

Deben probarse especies bacterianas que muestran reacciones positivas y negativas. Se sugieren las siguientes:

A. Control positivo: *Pseudomonas aeruginosa*.

B. Control negativo: *Escherichia coli*.

Interpretación

Las colonias bacterianas que tienen actividad de citocromo oxidasa desarrollan un color azul oscuro en el sitio de inoculación en el término de 10 segundos. Cualquier microorganismo que produzca color azul entre los 10 y 60 segundos debe ser probado nuevamente, ya que es probable que no pertenezca a las *Enterobacteriaceae*. Para esta prueba no deben utilizarse ansas de

acero inoxidable o níquel-cromo, porque los productos de oxidación superficiales producidos, cuando se esterilizan en llama, pueden provocar reacciones falsas positivas.

Prueba de la ONPG

Fundamento:

El *o*-nitrofenil- β -D-galactopiranosido (ONPG) tiene estructura similar a la lactosa, excepto porque la glucosa ha sido sustituida por un grupo *o*-nitrofenilo. Por hidrólisis, a través de la acción de la enzima β -galactosidasa, el ONPG produce dos residuos: galactosa y *o*-nitrofenol. El ONPG es un compuesto incoloro: el *o*-nitrofenol es amarillo, lo que permite la visualización de la hidrólisis.

Las bacterias fermentadoras de lactosa tienen tanto lactosa permeasa como β -galactosidasa, dos enzimas necesarias para la producción de ácido en la prueba de fermentación de la lactosa. La permeasa es necesaria para que la molécula de lactosa pueda penetrar en el interior de la célula bacteriana, donde la β -galactosidasa puede degradar el puente galactósido y producir glucosa y galactosa. Las bacterias no fermentadoras de lactosa carecen de ambas enzimas y son incapaces de producir ácido a partir de la lactosa. Algunas especies bacterianas parecen ser no fermentadoras de la lactosa debido a que carecen de permeasa, pero tienen β -galactosidasa y dan una reacción de ONPG positiva. Estos denominados fermentadores lentos de la lactosa pueden producir ácido en forma tardía a partir de la lactosa debido a la actividad permeasa deficiente. En estos casos, una prueba ONPG positiva puede proporcionar una identificación rápida de la fermentación retardada de la lactosa.

Control:

A. Control positivo: *Escherichia coli*.

B. Control negativo: especies de *Proteus*.

Interpretación

La velocidad de hidrólisis del ONPG a *o*-nitrofenol puede ser rápida en el caso de algunos microorganismos y produce un color amarillo visible en el término de 5 a 10 minutos. La mayoría de las pruebas son positivas dentro de la hora: sin embargo, las reacciones no deben considerarse negativas antes de las 24 horas de incubación. El color amarillo suele ser bien definido e indica que el microorganismo ha producido *o*-nitrofenol a partir del sustrato de ONPG por acción de la β -galactosidasa.

Prueba de Voges-Proskauer

Fundamento:

Voges-Proskauer es un epónimo doble, en honor de dos microbiólogos que trabajaron a principios del siglo xx. Estos investigadores fueron los primeros en observar la reacción de color rojo producida en medios de cultivo adecuados después del tratamiento con hidróxido de potasio. Luego se descubrió que el producto activo del medio, formado por el metabolismo bacteriano, es el acetil metil carbinol, producto de la vía del butilenglicol.

El ácido pirúvico, el principal compuesto formado durante la degradación fermentativa de la glucosa, se metaboliza más tarde a través de diferentes vías metabólicas, según los sistemas enzimáticos que tengan las diferentes bacterias. Una de esas vías da como resultado la producción de acetoína (acetil metil carbinol), un producto final de reacción neutra. Los microorganismos del grupo *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Hafnia* y *Serratia* producen acetoína como producto metabólico final principal del metabolismo de la glucosa y forman cantidades pequeñas de ácidos mixtos. En presencia de oxígeno atmosférico e hidróxido de potasio al 40%, la acetoína se convierte a diacetilo y el α -naftol sirve de catalizador para producir un complejo de color rojo.

Los controles sugeridos son los siguientes:

A. Control positivo: *Enterobacter aerogenes*.

B. Control negativo: *Escherichia coli*

Prueba del citrato

Fundamento:

El citrato de sodio es una sal del ácido cítrico, compuesto orgánico simple que se encuentra como uno de los metabolitos del ciclo de los ácidos tricarboxílicos (ciclo de Krebs). Algunas bacterias pueden obtener energía de fuentes distintas de la fermentación de los hidratos de carbono, con el citrato como única fuente de carbono. La medición de esta característica es importante para identificar muchos miembros de la familia *Enterobacteriaceae*. Cualquier medio usado para detectar la utilización del citrato por las bacterias que se van a probar debe carecer de proteínas e hidratos de carbono como fuente de carbono.

La utilización del citrato por la bacteria que se va a probar se detecta en el medio de citrato por la producción de subproductos alcalinos. El medio contiene citrato de sodio, que es un anión, como única fuente de carbono, y fosfato de amonio como única fuente de nitrógeno. Las bacterias que pueden utilizar el citrato también pueden extraer nitrógeno de la sal de amonio, con producción de amoníaco (NH_3^+), lo que produce la alcalinización del medio por conversión del NH_3^{2+} a hidróxido de amonio (NH_4OH). El indicador es el azul de bromotimol, que es amarillo por debajo de pH 6 y azul por encima de pH 7,6.

PRUEBA DEL CITRATO

Enzima

Citrato de sodio ----- > Productos metabólicos alcalinos - ↑pH

Azul de bromotimol ----- > Azul de bromotimol

(Verde)

(Azul)

pH 6,9

pH 7,6

Las siguientes especies son los controles sugeridos:

A. Control positivo: *Enterobacter aerogenes*.

B. Control negativo: *Escherichia coli*.

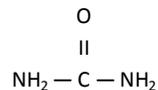
Interpretación

La prueba positiva está representada por la producción de color azul oscuro en el término de 24 a 48 horas, que indica que el microorganismo en prueba ha sido capaz de utilizar el citrato contenido en el medio, con formación de productos alcalinos.

Prueba de la ureasa convencional

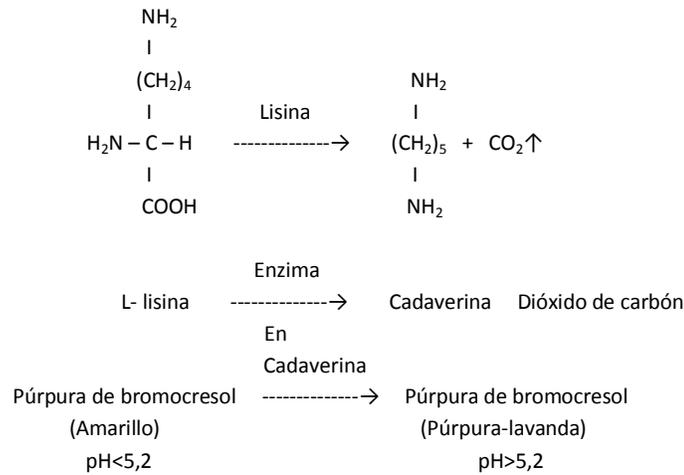
Fundamento:

La urea es una diamida del ácido carbónico con la fórmula



Todas las amidas se hidrolizan fácilmente, con liberación de amoníaco y dióxido de carbono. La ureasa es una enzima que tienen muchas especies de microorganismos que pueden hidrolizar la urea según la siguiente reacción química

MECANISMO DE LA REACCIÓN DE LISINA DESCARBOXILASA



Los siguientes microorganismos son los sugeridos como controles positivos y negativos:

AMINO ÁCIDO	CONTROL POSITIVO	CONTROL NEGATIVO
Lisina	<i>Enterobacter aerogenes</i>	<i>Enterobacter cloacae</i>
Ornitina	<i>Enterobacter cloacae</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i>
Arginina	<i>Enterobacter cloacae</i>	<i>Enterobacter aerogenes</i>

Prueba de oxidación-fermentación (Hugh y Leifson)

Fundamento:

Los microorganismos sacarolíticos degradan la glucosa, ya sea por fermentación o por oxidación. Los productos finales de la fermentación son ácidos mixtos relativamente fuertes, que pueden detectarse en un medio convencional de fermentación. Sin embargo, los ácidos formados por degradación oxidativa de la glucosa son en extremo débiles y para detectarlos es necesario el medio más sensible de oxidación-fermentación de Hugh y Leifson (medio OF).

El medio OF de Hugh y Leifson difiere de los medios para fermentación de hidratos de carbono en los siguientes aspectos:

La concentración de peptona se reduce del 1% al 0,2%.

La concentración del hidrato de carbono aumenta del 0,5% al 1,0%.

La concentración de agar se reduce del 1,5% al 0,3%, lo que hace que el medio sea semisólido.

La baja relación proteína/hidratos de carbono reduce la formación de aminas alcalinas que pueden neutralizar las pequeñas cantidades de ácidos débiles que pueden formarse a partir del metabolismo oxidativo. Las cantidades relativamente elevadas de hidratos de carbono sirven para aumentar la cantidad de ácido que es posible formar. La consistencia semisólida del agar permite que los ácidos que se forman en su superficie se difundan a través del medio, lo que facilita la visualización del cambio de pH del indicador. En este medio también puede observarse la motilidad.

Control:

A. Fermentador de glucosa: *Escherichia coli*.

B. Oxidador de glucosa: *Pseudomonas aeruginosa*.

C. No sacarolítico: especies de *Moraxella*.

Interpretación

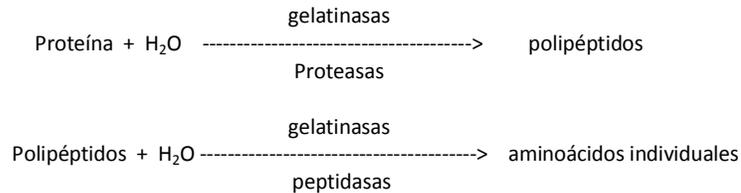
La producción de ácido se detecta en el medio por la aparición de color amarillo. En el caso de los microorganismos oxidativos, la producción de color se puede notar primero cerca de la superficie del medio. Los patrones de reacción son los siguientes:

TUBO ABIERTO	TUBOS CUBIERTOS	METABOLISMO
Ácido (amarillo)	Alcalino (verde)	Oxidativo
Ácido (amarillo)	Ácido (amarillo)	Fermentativo
Alcalino (verde o azul)	Alcalino (verde o azul)	No sacarolítico

Prueba de la gelatina

Fundamento:

Determinar la capacidad de un organismo de producir enzimas de tipo proteolítico (gelatinasas) que licuan la gelatina. Las proteínas que se producen naturalmente son demasiado grandes para entrar en una célula bacteriana; por lo tanto, para que una célula utilice las proteínas, primero deben ser catabolizadas en componentes más pequeños. Las enzimas exonucleares de tipo proteolítico, gelatinasas, son secretadas por ciertas bacterias para desdoblar a las proteínas y esta capacidad ayuda a la identificación bacteriana.



Prueba de sulfuro

Fundamento:

Determinar si un organismo es móvil o inmóvil, si es capaz de liberar ácido sulfhídrico por acción enzimática de los aminoácidos que contienen azufre produciendo una reacción visible de color negro y por último la capacidad de desdoblar el indol de la molécula triptófano, además que la consistencia del medio permite la observación de la movilidad de algunas bacterias.

Interpretación:

Positivo: ennegrecimiento del medio

Negativo: sin ennegrecimiento

Prueba de TDA

Fundamento:

Se detecta la presencia de la enzima TDA (triptófano desaminasa) La enzima produce la desaminación del sustrato (triptófano) Identificación: la adición de FeCl_3 da verde oscuro si está presente TDA.

Sólidos Suspendidos Totales

Fundamento:

El principio de este método se basa en la medición cuantitativa de los sólidos y sales disueltas así como la cantidad de materia orgánica contenidos en aguas naturales y residuales, mediante la evaporación y calcinación de la muestra filtrada o no, en su caso, a temperaturas específicas, en donde los residuos son pesados y sirven de base para el cálculo del contenido de estos.

Demanda Bioquímica de Oxígeno

Fundamento:

El método se basa en medir la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para efectuar la oxidación de la materia orgánica presente en aguas naturales y residuales y se determina por la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto al cabo de cinco días de incubación a 20°C

ANEXO 3. COMPOSICIÓN DE MEDIOS DE CULTIVO Y REACTIVOS UTILIZADOS

Agar m FC

Se utilizan en el cultivo y la enumeración de coliformes fecales por la técnica de filtración en membrana.

FÓRMULA POR LITRO

Composición	gr/L
Triptosa	10,0
Proteosa peptona N ° 3	5,0
Extracto de Levadura	3,0
Lactosa	12,5
Sales biliares No. 3	1,5
Cloruro de Sodio	5,0
Agar	15,0
Azul de anilina	0,1
pH 7.4 ± 0.2	

MODO DE PREPARACIÓN:

Suspender 52 g del polvo en 1 L de agua purificada. Mezclar a fondo. Calentar agitando frecuentemente y hervir durante 1 minuto para disolver completamente el polvo. Distribuir en cajas Petri.

FUNDAMENTO:

El Agar m FC contienen péptidos como fuentes de carbono, nitrógeno, vitaminas y minerales. El extracto de levadura suministra vitaminas del complejo B que estimulan el crecimiento de bacterias. La lactosa es un carbohidrato. Sales biliares n ° 3 inhibe el crecimiento de bacterias Gram positivas. Agar m FC contiene agar como el agente solidificante. El sistema indicador diferencial combina anilina ácido azul y rosólico.

MORFOLOGÍA COLONIAL:

Las colonias de coliformes fecales son de distintos tonos de color azul, los coliformes no fecales y otros organismos son de color gris a color crema.

Agar m Endo LES

Se utiliza para enumerar los coliformes en el agua por la técnica de filtración en membrana.

FÓRMULA POR LITRO

Composición	gr/L
Extracto de Levadura	1,2 g
Casitona	3,7 g
Thiopeptone	3,7 g
Triptosa	7,5 g
Lactosa	9,4 g
Fosfato dipotásico	3,3 g
Fosfato monopotásico	1,0 g
Cloruro de Sodio	3,7 g

Desoxicolato de Sodio	0,1 g
Lauril Sulfato de Sodio	0.05 g
Sulfito de Sodio	1,6 g
Fucsina básica	0,8 g
Agar	15,0 g

pH 7.2 ± 0.2

MODO DE PREPARACIÓN:

Suspender 51 g del polvo en 1 L de agua purificada Calentar agitando frecuentemente y hervir durante 1 minuto para disolver completamente el polvo. No esterilice en autoclave. Distribuir en cajas Petri

FUNDAMENTO:

El Agar m Endo LES contiene peptonas como fuentes de carbono, de nitrógeno, vitaminas y minerales. El extracto de levadura suministra vitaminas del complejo B que estimulan el crecimiento de bacterias. La lactosa es el carbohidrato. Los fosfatos son agentes amortiguadores. El cloruro sodio mantiene el equilibrio osmótico del medio. El desoxicolato de sodio y el lauril sulfato de sodio son agregados como inhibidores. La fucsina básica es un indicador de pH. El sulfito de sodio se añade para decolorar la solución básica fucsina. El agar es el agente de solidificación. Las bacterias fermentadoras de lactosa producen acetaldehídos que reaccionan con el sulfito de sodio y la fucsina para formar colonias de color rojo. El desarrollo de un brillo metálico se produce cuando el organismo produce aldehídos con la fermentación rápida de la lactosa. Si el inóculo es demasiado pesado, se suprime el brillo. Las bacterias no fermentadoras de lactosa forman colonias incoloras claras.

MORFOLOGÍA COLONIAL.

Todas las colonias que son de color rojo y tienen el brillo metálico verdoso característico son considerados coliformes. El brillo puede cubrir toda la colonia, sólo puede estar en el centro o puede aparecer únicamente alrededor de los bordes. En ocasiones, los organismos no coliformes pueden producir colonias típicas con brillo. Los organismos coliformes pueden también ocasionalmente producir colonias atípicas (colonias rojas o nucleadas oscuras sin brillo). Es aconsejable verificar los dos tipos de colonias.

Agar Endo

Medio de cultivo ligeramente selectivo y diferencial para la detección de coliformes y otros microorganismos entéricos.

FÓRMULA POR LITRO

Composición	g/L
Fosfato dipotásico	3,5 g
Digerido péptico de Tejido de animal	10,0 g
Agar	15,0 g
Lactosa	10,0 g
Sulfito de Sodio	2,5 g
Fucsina básica	0,5 g
pH 7.5 ± 0.2	

MODO DE PREPARACIÓN:

Suspender 41.5 g del polvo en 1 L de agua purificada. Mezclar vigorosamente. Calentar agitando frecuentemente y hervir durante 1 minuto para disolver completamente el polvo. Esterilizar a 121°C durante 15 minutos. Dejar enfriar a 45-50°C y resuspender el precipitado por agitación antes de su uso.

FUNDAMENTO:

La selectividad del agar Endo se debe a la combinación del sulfito de sodio con fucsina básica, lo cual ocasiona la supresión parcial de los microorganismos Gram positivos. Los coliformes fermentan la lactosa, produciendo colonias de color rosa oscuro a rojizo con un brillo metálico verdoso iridiscente y una coloración similar en el medio. Las colonias de microorganismos que no fermentan la lactosa son incoloras o de color rosa pálido en contraste con el fondo rosa claro del medio.

LA MORFOLOGÍA COLONIAL TÍPICA:

<i>Escherichia coli</i>	Rosadas con brillo metálico verde
<i>Enterobacter / Klebsiella</i>	Grandes, mucoides, rosa
<i>Proteus</i>	incoloro a rosa pálido
<i>Salmonella</i>	incoloro a rosa pálido
<i>Shigella</i>	incoloro a rosa pálido
<i>Pseudomonas</i>	irregular, incoloro
Las bacterias gram-positivas	No hay crecimiento de ligero crecimiento

Agar Mac Conkey

Medio empleado para aislar e identificar selectivamente a enterobacterias como *Salmonella*, *Shigellas* y coliformes a partir de heces fecales, orinas, aguas negras y diversos alimentos.

FORMULA POR LITRO

Composición	gr/L
Peptona de Gelatina	17.0 g
Peptona de Caseína	1.5 g
Peptona de Carne	1.5 g
Lactosa	10.0 g
Sales Biliares	1.5 g
Cloruro de Sodio	5.0 g
Agar	13.5 g
Rojo Neutro	0.03 g
Cristal Violeta	0.001 g
pH final 7.1 +/- 0.2	

PREPARACIÓN:

Suspender 50 g del medio deshidratado en un litro de agua destilada o desionizada. Calentar a ebullición, agitando con frecuencia y hervir durante 1 minuto. Esterilizar a 121°C durante 15 minutos. Enfriar a 45 – 50°C y vaciar en cajas de Petri. Dejar solidificar y luego invertir las cajas para evitar que se deposite un exceso de humedad en la superficie del medio.

FUNDAMENTO:

Los gérmenes Gram positivas son inhibidos por las sales biliares y el cristal violeta. Las enterobacterias fermentadoras de la lactosa bajan el pH del medio que es detectado por el indicador rojo neutro dando colonias rojas o rosadas. Las no fermentadoras de la Lactosa dan colonias transparentes, incoloras o amarillas. En el agar de MacConkey crecen también bacilos Gram negativos que no pertenecen a la familia *Enterobacteriaceae*, como *Pseudomonas* y *Aeromonas*. Asimismo, pueden desarrollarse en número reducido colonias puntiformes de *Streptococcus fecalis* (enterococos) de color rojo y de algunos estafilocos cuyas colonias son pequeñas, opacas de color rosa pálido. En este medio puede usarse en la diferenciación de *Mycobacterium*.

MORFOLOGÍA COLONIAL:

<i>Escherichia coli</i>	De rojas a rosadas. No son mucoides. Pueden rodearse de un precipitado opaco de sales brillantes
<i>Enterobacter</i>	Grandes, rosadas mucoides
<i>Klebsiella</i>	Grandes, rosadas mucoides
<i>Serratia</i>	Rojas o rosas. No son mucoides
<i>Arizona</i>	Incoloras, transparentes, rojas si se fermentan la lactosa
<i>Citrobacter</i>	Incoloras, transparentes, rojas si se fermentan la lactosa
<i>Proteus</i>	Incoloras transparentes
<i>Pseudomonas</i>	Incoloras, hasta café verdosas. Olor dulce característico
<i>Salmonella</i>	Incoloras, transparentes o rosa muy tenue
<i>Shigella</i>	Incoloras, transparentes o ambar
<i>Estafilocos</i>	Puntiformes, rosa pálido, opacas y escasas
<i>Enterococos</i>	Escasas, puntiformes, rojas, opacas y con un halo claro como 1 mm de diámetro alrededor de la colonia Ligeramente elevadas, de tamaño medio, de 1 a 2 mm de diámetro. Transparentes, desde incoloras hasta ambar

Agar Sulfito de Bismuto

Se emplea como medio altamente selectivo para el aislamiento de *Salmonella typhi* y de otras *Salmonellas* en gran diversidad de muestras muy contaminadas.

FÓRMULA POR LITRO

Composición	gr/L
Indicador de Sulfito Bismuto	8,0
Digerido pancreático de caseína	5,0
Digerido péptico de tejido animal	5,0
Extracto de Carne	5,0
Dextrosa	5,0
Sulfato ferroso	0,3
Fosfato disódico	4,0
Verde Brillante	0,025
Agar	20,0

pH: 7,5±0,2

PREPARACIÓN:

Suspender 52 g en 1 L de agua destilada; calentar y agitar hasta ebullición y hervir durante 1 minuto. No esterilizar en autoclave. Dejar enfriar hasta 45°C, y distribuir en placas de Petri estériles sin dejar de agitar. Las placas quedan turbias de color verdoso.

FUNDAMENTO:

En el agar Sulfito de Bismuto el extracto de carne y la peptona proporcionan nitrógeno, vitaminas y minerales. La dextrosa es una fuente de energía. El fosfato disódico es un agente amortiguador. El indicador de sulfito de bismuto y verde brillante son complementarios en la inhibición las bacterias Gram positivas y miembros del grupo coliforme, al tiempo que permite a *Salmonella* crecer exuberantemente. El sulfato ferroso está incluido para la detección de producción de H₂S. Cuando la producción de H₂S se presenta, el hierro en la fórmula es precipitado, dando cultivos positivos de la característica de color marrón a negro con brillo metálico. El agar es el agente solidificante.

MORFOLOGÍA COLONIAL:

<i>Salmonella typhi</i>	Colonias de centro negro y borde claro rodeadas por zonas negras parduzcas.
<i>Salmonella spp</i>	Las colonias de color negro o gris verdoso pueden presentar brillo, con o sin oscurecimiento del medio que las rodea.
Bacterias coliformes, <i>Proteus</i> y otras	Colonias pequeñas, entre verdes y marrones, a veces mucosas.

Agar Cetrimida

Empleado para el aislamiento y diferenciación de *Pseudomonas aeruginosa*, a partir de diversos materiales.

FÓRMULA POR LITRO

Composición	gr/ L
Peptona de gelatina	20,0
Cloruro de magnesio	1,4
Sulfato potásico	10,0
N-cetil-N, N, N,-trimetilamonibromuro (cetrimida)	0,3
Agar-agar	13,0
Aditivo: glicerina 10 mL	
pH: 7,2 ± 0,2.	

PREPARACIÓN:

Disolver 44,5 g/L , añadir 10 mL de glicerina, esterilizar en autoclave (15 minutos a 121°C) y verter en cajas Petri.

FUNDAMENTO:

La peptona de gelatina proporciona los nutrientes necesarios para el crecimiento. La producción de piocianina es estimulada por la cloruro de magnesio y sulfato de potasio en el medio. El cetrimida es un amonio cuaternario, compuesto detergente catiónico, que es inhibidora de una amplia variedad de especies bacterianas incluyendo especies de *Pseudomonas* distintos de *Pseudomonas aeruginosa*. El agar es un agente solidificante. El agar Cetrimida se complementa con 1% de glicerol como fuente de carbono.

MORFOLOGÍA COLONIAL:

Las colonias de *Pseudomonas aeruginosa* forman un pigmento verde azulado (piocianina) y son fluorescentes a la luz UV, sin embargo, ciertas cepas de *P. aeruginosa* no pueden producir piocianina. Otras especies de *Pseudomonas* no producen piocianina, pero son fluorescentes bajo la luz ultravioleta. La mayoría de las especies de no *Pseudomonas* son inhibidos también especies de *Pseudomonas* son inhibidos La tinción de Gram, pruebas bioquímicas y procedimientos serológicos deben realizarse para confirmar los hallazgos.

Agar Sal y Manitol

El Agar Sal y Manitol es utilizado para el aislamiento selectivo y recuento de Estafilococos patógenos en productos lácteos, cárnicos, marinos y otros productos alimenticios. También se emplea con el mismo fin en productos farmacéuticos y cosméticos.

FÓRMULA POR LITRO

Composición	gr/ L
Digerido Pancreático de Caseína	5,0
Digerido Péptico de Tejido Animal	5,0
Extracto de Carne	1,0
Cloruro de Sodio	75,0
D-Manitol	10,0
Rojo de fenol	0,025
Agar	15,0
pH 7.4 ± 0.2	

PREPARACIÓN:

Suspender 111 g del medio en un litro de agua destilada. Calentar con agitación suave hasta su completa disolución y hervir durante un minuto. Esterilizar en autoclave a 121°C (15 libras de presión) durante 15 minutos. Dejar enfriar a una temperatura entre 45-50°C y vaciar en cajas de Petri estériles.

FUNDAMENTO:

El Agar Manitol Salado es un medio nutritivo debido a su contenido de peptonas y extracto de carne, los cuales abastecen de factores de crecimiento esenciales tales como nitrógeno, carbono, azufre, y trazas de nutrientes. La concentración de 7,5% de cloruro de sodio resulta en la inhibición parcial o completa de organismos bacterianos distintos de los estafilococos. Con la fermentación de la D-Manitol se genera ácido que ocasiona el viraje del rojo de fenol al amarillo, permitiendo así una mayor claridad en el momento de establecer el diagnóstico, ya que la mayoría de los Estafilococos patógenos fermentan este azúcar. El agar es un agente solidificante.

MORFOLOGÍA COLONIAL:

<i>Staphylococcus aureus</i>	Colonias pequeñas a medianas con zonas amarillas alrededor
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	Colonias pequeñas de color rojo sin cambio en el color del medio
Micrococcos	Colonias grandes de color naranja a blanco
Bacterias Gram negativas	Inhibidas o muy poco desarrollo

Agar Nutritivo

Medio recomendado para el cultivo de gran variedad de bacterias y para el recuento de organismos en aguas, aguas residuales, heces y otros materiales.

FÓRMULA POR LITRO

Composición	gr/ L
Extracto de Carne	3,0
Peptona de Gelatina	5,0
Agar	15,0
pH final: 6,8 ±0,2	

PREPARACIÓN:

Suspender 23 g en 1 l de agua destilada; calentar y agitar hasta ebullición y disolución total y hervir durante 1 minuto. Esterilizar a 121°C durante 15 minutos. Distribuir en cajas Petri.

FUNDAMENTO:

La formulación relativamente simple proporciona los nutrientes necesarios para la replicación de un gran número de microorganismos que no son excesivamente exigentes. El extracto de carne contiene sustancias solubles en agua, incluyendo carbohidratos, vitaminas, compuestos orgánicos nitrógenados y sales. Las peptonas son la principal fuente de nitrógeno orgánico, particularmente de aminoácidos y péptidos de cadena larga. El agar es el agente solidificante.

Agar BHI

El agar de Infusión Cerebro Corazón es un medio de uso general adecuado para el cultivo de una amplia variedad de tipos de organismos, incluyendo bacterias, levaduras y mohos. Con la adición de 5% o 10% de sangre de oveja, es usado para el aislamiento y cultivo de una amplia variedad de especies de hongos, incluyendo hongos sistémicos, de fuentes clínicas y no clínicas.

FÓRMULA POR LITRO

Composición	gr/ L
Infusión de cerebro corazón (sólidos)	8,0
Digerido Péptico de Tejido Animal	5,0
Digerido Pancreático de Caseína	16,0
Cloruro de Sodio	5,0
glucosa	2,0
Fosfato disódico de hidrógeno	2,5
Agar	13,5

pH 7,4 ± 0,2

PREPARACIÓN

Suspender 52 g en 1 L de agua purificada, mezclar bien. Calentar agitando frecuentemente y hervir durante 1 minuto para disolver completamente el polvo. Esterilizar a 121°C durante 15 minutos. Agitar suavemente para distribuir en cajas Petri el precipitado de manera uniforme en todo el medio.

FUNDAMENTO:

Las peptonas y la infusión son fuentes de nitrógeno orgánico, carbono, azufre, vitaminas y sustancias traza. La glucosa es la fuente de hidratos de carbono que los microorganismos utilizan para la fermentación. El medio es el amortiguador a través del uso del fosfato disódico.

REACTIVOS

Reactivo de oxidasa

N,N,N,N-tetrametil-1,4-fenilenediamina -----10,0 g
Ácido ascórbico ----- 2,0 g
Agua desionizada ----- 1 L

Reactivo TDA

Percloruro de hierro (expresado en hierro) ----- 3,4 g
H₂O ----- 100 mL

Reactivo JAMES

HCL 1N -----100 mL
Componente J 2183 ----- 0,66 g (confidencial)

Reactivo VP 1

Hidróxido potásico -----40 g
H₂O ----- 100 mL

Reactivo VP 2

α-naftol -----6 g
H₂O ----- 100 mL

SULFATO DE ZINC HEPTAHIDRATADO:

Uso pertinente en minería como separador de minerales en el proceso de flotación de minas polimetálicas, en la industria de producción de rayón, pintura, barnices y pegamentos, en la agricultura como fungicida y como micronutriente en fertilizantes para evitar y corregir las deficiencias de zinc en el suelo de cultivo.

Formula química: $ZnSO_4 + 7H_2O$

PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN SATURADA DE SULFATO DE ZINC, GRAVEDAD ESPECÍFICA 1:18

Sulfato de zinc-----331 g
Agua destilada----- 670 mL

Disolver 331 g de sulfato de zinc en 670 mL de agua destilada y agitar hasta homogenizar, lograr la densidad deseada agregando más reactivo o líquido según sea el caso (1:18) con el densitómetro.

Tween-80

Formula Molecular: $C_{64}H_{124}O_{26}$

Preparación de la solución de tritón Tween-80 al 00.01 %

Tween-80----- 1mL
Agua destilada ----- 1000 mL

Disolver el Tween-80 lo más rápido posible en el agua destilada, agitando en parrilla de agitación hasta su completa disolución. Almacenar en recipiente hermético.

Reactivos para Tinción de Gram

Marca Hycel No. Cat. 541

Violeta de Genciana ----cat. 6269

Gram Yodo -----cat. 724

Safranina -----cat. 826

Alcohol acetona -----cat. 901

MATERIALES

Filtros de membrana MF-Millipore

Membrana filtrante estéril de 47 mm de diámetro y tamaño de poro de 0.45 μm , marca MILLIPORE (número de catálogo: HAWG047S6) color blanco, compuesta por una mezcla de acetato de celulosa y nitrato de celulosa biológicamente inertes.

Filtros GF/A

Filtro de fibra de vidrio. Marca Whatman grado GF/A (número de catálogo: 1820 055), de 5.5 de tamaño de diámetro.

Reactivo para cloro

REACTIVO DPD CLORO LIBRE C/100 21055-69 Clave: HA21055-69

Reactivo de solución tampón de nutriente para DBO

NUTRIENT BFR SOLN PLWS 3ML PK/50 [HACH] Clave: HA1486166

ANEXO 4. TABLAS DE MUESTREO Y DATOS

PTAR Cerro del Agua

Influyente	Fecha de muestreo	Coliformes fecales [UFC/100mL]	Huevos de helminto [h/L]	DBO5 [mg/L]	SST [mg/L]
	29/08/2012	7.E+12	---	123	300
	26/09/2012	---	---	---	---
	31/10/2012	1.E+08	120	153	405
	28/11/2012	2.E+07	---	580	755
	13/02/2013	1.E+07	124	---	---
	06/03/2013	5.E+07	---	---	---
	03/04/2013	2.E+07	116	---	---
	16/05/2013	1.E+08	---	---	---
	05/06/2013	6.E+07	120	---	---
08/08/2013	---	---	---	---	---

--- No determinado

# de mediciones realizadas	8
# de mediciones que no cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	8
% de mediciones que no cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	100.00%
# de mediciones que cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	0
% de mediciones que cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	0.00%

Efluente	Fecha de muestreo	Coliformes fecales [UFC/100mL]	Huevos de helminto [h/L]	DBO5 [mg/L]	SST [mg/L]
	29/08/2012	7.E+02	---	12	12
	26/09/2012	---	---	---	---
	31/10/2012	0	0	13	18
	28/11/2012	8.E+03	0	8	0
	13/02/2013	0	0	6	1
	06/03/2013	0	0	4	0
	03/04/2013	0	0	5	0
	16/05/2013	9.E+01	0	5	0
	05/06/2013	0	0	5	0
	08/08/2013	---	---	---	---

--- No determinado

# de mediciones realizadas	8
# de mediciones que no cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	2
% de mediciones que no cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	25.00%
# de mediciones que cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	6
% de mediciones que cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	75.00%

Cisternas de almacenamiento de agua residual tratada

Cisterna Campus Central	Fecha de muestreo	Coliformes fecales [UFC/100mL]	Huevos de helminto [h/L]	DBO5 [mg/L]	SST [mg/L]
	22/08/2012	3.E+01	-	34	12
	21/09/2012	1.E+02	0	40	18
	24/10/2012	---	---	---	---
	21/11/2012	0	0	7	1
	20/02/2013	0	0	6	1
	13/03/2013	0	0	11	0
	10/04/2013	1.E+00	0	9	0
	16/05/2013	2.E+02	0	12	1
	12/06/2013	0	0	6	0
	08/08/2013	6.E+02	0	6	0

--- No determinado

# de mediciones realizadas	9
# de mediciones que no cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	1
% de mediciones que no cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	11.11%
# de mediciones que cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	8
% de mediciones que cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	88.89%

Cisterna Camellón Química	Fecha de muestreo	Coliformes fecales [UFC/100mL]	Huevos de helminto [h/L]	DBO5 [mg/L]	SST [mg/L]
	22/08/2012	1.E+03	-	36	16
	21/09/2012	1.E+02	0	44	19
	24/10/2012	---	---	---	---
	21/11/2012	0	0	8	0
	20/02/2013	0	0	5	1
	07/03/2013	0	0	7	0
	04/04/2013	0	0	7	0
	16/05/2013	9.E+01	0	9	1
	12/06/2013	2.E+02	0	5	0
	08/08/2013	7.E+01	0	12	0

--- No determinado

# de mediciones realizadas	9
# de mediciones que no cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	1
% de mediciones que no cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	11.11%
# de mediciones que cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	8
% de mediciones que cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	88.89%

Cisterna Camellón Veterinaria	Fecha de muestreo	Coliformes fecales [UFC/100mL]	Huevos de helminto [h/L]	DBO5 [mg/L]	SST [mg/L]
	22/08/2012	0	---	11	8
	21/09/2012	0	0	10	14
	24/10/2012	---	---	---	---
	22/11/2012	0	0	10	4
	13/02/2013	---	---	---	---
	14/03/2013	4.E+02	0	9	0
	10/04/2013	0	0	10	0
	22/05/2013	3.E+03	0	10	1
	12/06/2013	2.E+00	0	6	1
	08/08/2013	6.E+01	0	12	0

--- No determinado

# de mediciones realizadas	8
# de mediciones que no cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	2
% de mediciones que no cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	25.00%
# de mediciones que cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	6
% de mediciones que cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	75.00%

Cisterna Centro Médico	Fecha de muestreo	Coliformes fecales [UFC/100mL]	Huevos de helminto [h/L]	DBO5 [mg/L]	SST [mg/L]
	22/08/2012	8.E+02	-	39	14
	21/09/2012	0	0	41	16
	24/10/2012	---	---	---	---
	21/11/2012	0	0	9	1
	20/02/2013	---	---	---	---
	13/03/2013	2.E+01	0	9	0
	04/04/2013	9.E+01	0	8	0
	22/05/2013	2.E+02	0	10	0
	12/06/2013	1.E+03	0	5	0
	08/08/2013	4.E+02	0	8	0

--- No determinado

# de mediciones realizadas	8
# de mediciones que no cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	3
% de mediciones que no cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	37.50%
# de mediciones que cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	5
% de mediciones que cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	62.500%

Cisterna Pista de Calentamiento	Fecha de muestreo	Coliformes fecales [UFC/100mL]	Huevos de helminto [h/L]	DBO5 [mg/L]	SST [mg/L]
	22/08/2012	1.E+03	-	17	11
	21/09/2012	4.E+03	0	19	16
	24/10/2012	---	---	---	---
	22/11/2012	0	0	2	0
	13/02/2013	0	0	0	0
	14/03/2013	0	0	9	0
	11/04/2013	3.E+00	0	5	1
	23/05/2013	3.E+03	0	6	0
	06/06/2013	5.E+01	0	2	0
	08/08/2013	---	---	---	---

--- No determinado

# de mediciones realizadas	8
# de mediciones que no cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	3
% de mediciones que no cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	37.50%
# de mediciones que cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	5
% de mediciones que cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	62.500%

Cisterna Canchas Béisbol	Fecha de muestreo	Coliformes fecales [UFC/100mL]	Huevos de helminto [h/L]	DBO5 [mg/L]	SST [mg/L]
	22/08/2012	1.E+02	-	32	12
	21/09/2012	1.E+03	0	36	13
	24/10/2012	---	---	---	---
	22/11/2012	0	0	18	3
	13/02/2013	0	0	7	0
	07/03/2013	0	0	5	0
	11/04/2013	1.E+01	0	5	0
	22/05/2013	0	0	0	0
	06/06/2013	0	0	0	0
	08/08/2013	---	---	---	---

--- No determinado

# de mediciones realizadas	8
# de mediciones que no cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	1
% de mediciones que no cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	12.50%
# de mediciones que cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	7
% de mediciones que cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	87.500%

Aspersores de agua residual tratada

Aspersor Campus Central	Fecha de muestreo	Coliformes fecales [UFC/100mL]	DBO5 [mg/L]	SST [mg/L]
	24/10/2012	---	---	---
	21/11/2012	0	11	2
	20/02/2013	5.E+00	6	0
	13/03/2013	3.E+00	10	0
	10/04/2013	2.E+00	9	0
	16/05/2013	1.E+02	13	0
	12/06/2013	---	---	---
	08/08/2013	---	---	---

--- No determinado

# de mediciones realizadas	5
# de mediciones que no cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	0
% de mediciones que no cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	0.00%
# de mediciones que cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	5
% de mediciones que cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	100.00%

Aspersor Camellón Química	Fecha de muestreo	Coliformes fecales [UFC/100mL]	DBO5 [mg/L]	SST [mg/L]
	24/10/2012	---	---	---
	21/11/2012	0	7	1
	20/02/2013	6.E+00	6	1
	13/03/2013	1.E+00	11	0
	04/04/2013	2.E+00	9	0
	22/05/2013	---	---	---
	12/06/2013	---	---	---
	08/08/2013	---	---	---

--- No determinado

# de mediciones realizadas	4
# de mediciones que no cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	0
% de mediciones que no cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	0.00%
# de mediciones que cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	4
% de mediciones que cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	100.00%

Aspensor Camellón Veterinaria	Fecha de muestreo	Coliformes fecales [UFC/100mL]	DBO5 [mg/L]	SST [mg/L]
	24/10/2012	---	---	---
	22/11/2012	---	---	---
	13/02/2013	---	---	---
	14/03/2013	1.E+03	7	0
	10/04/2013	0	9	0
	22/05/2013	3.E+03	12	1
	12/06/2013	---	---	---
	08/08/2013	---	---	---

--- No determinado

# de mediciones realizadas	3
# de mediciones que no cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	2
% de mediciones que no cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	66.67%
# de mediciones que cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	1
% de mediciones que cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	33.33%

Aspensor Centro Médico	Fecha de muestreo	Coliformes fecales [UFC/100mL]	DBO5 [mg/L]	SST [mg/L]
	24/10/2012	---	---	---
	21/11/2012	0	12	1
	20/02/2013	---	---	---
	13/03/2013	0	9	0
	04/04/2013	0	8	0
	22/05/2013	---	---	---
	12/06/2013	---	---	---
	08/08/2013	---	---	---

--- No determinado

# de mediciones realizadas	3
# de mediciones que no cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	0
% de mediciones que no cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	0.00%
# de mediciones que cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	3
% de mediciones que cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	100.00%

Aspersor Pista de Calentamiento	Fecha de muestreo	Coliformes fecales [UFC/100mL]	DBO5 [mg/L]	SST [mg/L]
	24/10/2012	---	---	---
	22/11/2012	0	3	0
	13/02/2013	0	0	0
	14/03/2013	0	8	0
	11/04/2013	---	---	---
	23/05/2013	---	---	---
	06/06/2013	1.E+00	2	0
	08/08/2013	---	---	---

--- No determinado

# de mediciones realizadas	4
# de mediciones que no cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	0
% de mediciones que no cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	0.00%
# de mediciones que cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	4
% de mediciones que cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	100.00%

Aspersor Canchas Béisbol	Fecha de muestreo	Coliformes fecales [UFC/100mL]	DBO5 [mg/L]	SST [mg/L]
	24/10/2012	---	---	---
	22/11/2012	0	16	1
	13/02/2013	3.E+00	6	0
	07/03/2013	0	5	0
	11/04/2013	1.E+01	5	0
	22/05/2013	0	0	0
	06/06/2013	0	0	0
	08/08/2013	---	---	---

--- No determinado

# de mediciones realizadas	6
# de mediciones que no cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	0
% de mediciones que no cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	0.00%
# de mediciones que cumplen con la NOM-003-SEMARNAT-1997	6
% de mediciones que cumplen NOM-003-SEMARNAT-1997	100.00%