



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**“ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL EFLUENTE DE LAS  
PLANTAS BRAIN Y DETERMINACIÓN DE BIOAEROSOLES  
EN LA ZONA DE RIEGO DE LAS ISLAS DE C.U.”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**QUÍMICA FARMACÉUTICA BIÓLOGA**

**P R E S E N T A**

**MARÍA GUADALUPE CORONA GARCÍA**



**México, D.F.**

**2009**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** Profesor: JORGE SOTO Y SORIA

**VOCAL:** Profesor: VÍCTOR MANUEL LUNA PABELLO

**SECRETARIO:** Profesor: MARÍA NEFTALÍ ROJAS VALENCIA

**1er. SUPLENTE:** Profesor: IRMA RUÍZ SILVA

**2° SUPLENTE:** Profesor: MÓNICA BERENICE HERAS CHAVARRÍA

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:** COORDINACIÓN DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

---

**ASESOR DEL TEMA:** DRA. MARÍA NEFTALÍ ROJAS VALENCIA

---

**SUPERVISOR TÉCNICO:** DRA. MARÍA TERESA ORTA LEDESMA

---

**SUSTENTANTE:** MARÍA GUADALUPE CORONA GARCÍA

---

*La oscuridad engendra la violencia  
y la violencia pide oscuridad  
para cuajar el crimen.  
Por eso el dos de octubre aguardó hasta la noche  
para que nadie viera la mano que empuñaba  
el arma, sino sólo su efecto de relámpago.*

*¿Y a esa luz, breve y lívida, quién? ¿Quién es el que mata?  
¿Quiénes los que agonizan, los que mueren?  
¿Los que huyen sin zapatos?  
¿Los que van a caer al pozo de una cárcel?  
¿Los que se pudren en el hospital?  
¿Los que se quedan mudos, para siempre, de espanto?*

***¿Quién? ¿Quiénes? Nadie. Al día siguiente, nadie.  
La plaza amaneció barrida; los periódicos  
dieron como noticia principal  
el estado del tiempo.  
Y en la televisión, en la radio, en el cine  
no hubo ningún cambio de programa,  
ningún anuncio intercalado ni un  
minuto de silencio en el banquete.  
(Pues prosiguió el banquete.)***

*No busques lo que no hay: huellas, cadáveres  
que todo se le ha dado como ofrenda a una diosa,  
a la Devoradora de Excrementos.*

*No hurgues en los archivos pues nada consta en actas.*

*Más que aquí que toco una llaga: es mi memoria.  
Duele, luego es verdad. Sangre con sangre  
y si la llamo mía traiciono a todos.*

*Recuerdo, recordamos.  
Ésta es nuestra manera de ayudar a que amanezca  
sobre tantas conciencias mancilladas,  
sobre un texto iracundo, sobre una reja abierta,  
sobre el rostro amparado tras la máscara.  
**Recuerdo, recordemos**  
**Hasta que la justicia se siente entre nosotros.***

**MEMORIAL DE TLATELOLCO**  
**Rosario Castellanos**



## *Dedicatorias*

*A **DIEGO**<sup>†</sup> mi amor, te fuiste con el alma limpia pues no conociste la maldad de este mundo...donde quieras que estés, donde tu alma llevó el señor, nunca morirás, dentro de mí siempre estarás, tu eres la sangre dentro de mi corazón, tu recuerdo para mí es una bendición... en todo momento estas presente en mi corazón hijo.*

*Para **ANDY** mi gran amor, tal vez no te acuerdes pero, hicimos esto juntas y me demostraste que tienes una fortaleza increíble, eres la luz de mi vida.*

*A **LUIS** cariño gracias por estar siempre conmigo, (en las buenas, en las malas y en las peores) por tu apoyo, amor y paciencia incondicional, en el desarrollo de mi vida profesional.*

*A mi lindo y amado padre **ELOY CORONA VIDAL**<sup>†</sup>, porque cada paso firme que doy en mi largo andar, esta sustentado en el amor y tú presencia, donde quiera que estés.*

*A mi madre **BERTA GARCÍA GARCÍA** por haberme dado la vida, por creer en mí y enseñarme que puedo lograr todo lo que me proponga, sabes perfectamente que sin ti no lo habría logrado.*

*A mis hermanos **EDITH, ELOY** y **MÓNICA** nunca lo hubiera conseguido sin su ayuda y sin su amor, nunca olviden que siempre veré por ustedes, gracias por estar siempre a mi lado.*

# *Agradecimientos*

A Dios por darme la oportunidad de llegar a este momento que alguna vez creí imposible de alcanzar.

A la Dra. María Neftalí Rojas Valencia una persona extraordinaria en todos los aspectos y todo un ejemplo de vida, gracias por sus consejos, por haberme apoyado en estos momentos de mi vida y durante la realización de este proyecto, por su paciencia y sobre todo por darle el valor que requiere este trabajo.

A la Dra. María Teresa Orta Ledesma por las correcciones hechas a esta tesis y por permitirme ser parte de su grupo de trabajo.

A mi jurado por todas las recomendaciones y tiempo dedicado a la revisión de la tesis.

A la Dra. Yolanda López Vidal, Amieva Maribel y a todo su equipo del Laboratorio del Departamento de Microbiología y Parasitología de la Facultad de Medicina de la UNAM.

Muy en especial a la Dra. María del Carmen Calderón Esquerro de Ciencias de la Atmosfera de la UNAM, por haberme prestado su equipo, sin el cual no se habría podido realizar este trabajo.

A la H. Facultad de Química por darme los mejores años de mi vida como estudiante, los mejores amigos que jamás creí encontrar, los maestros que luego se volvieron mis grandes amigos, por que ahí aprendí que en la Universidad no solo se estudia una carrera, se aprende a ser una mejor persona y a vivir luchando por lo que se cree.

Al Instituto de Ingeniería por permitirme estar dentro de sus instalaciones y dejarme una gran experiencia en mi vida.

A toda mi familia García García y todos los Corona por alentarme siempre a querer salir adelante, los quiero mucho y este trabajo que me llevo un año hacerlo, también es para ustedes.

A las familias Mendoza Hernández y Hernández Barrón, por su gran apoyo incondicional, por dejarme ver terminado uno de mis más grandes sueños, por darme la esperanza y la fe de ser mejor cada día.

A TODOS mis amigos Juan, Isabel, América, Edith, Denia, Gaby, Nelly, Oscar, Mario, Alfredo, Lulú, Nancy Ortiz, Fabián, Alejandro, Sergio y... los que me faltaron; por compartir conmigo tantas experiencias y tan lindos recuerdos.

A mis compañeros del cubículo 410: Raúl, Erick, Karen, Jazmín, Germán, Miguel, Dulce, Julio, Abraham, Leonardo, Juan Carlos, Sara, Raúl Alba, Alfonso, Álvaro por hacer los días de trabajo agradables.

Muy en especial a Ernestina y Claudia que me ayudaron bastante, sobre todo en esos días de muestreo que tanto las necesite y que no me fallaron, mil gracias.

A Ana Ipiña por la LAP y por estar siempre cerca de mi familia, al igual que Carlos y Nancy.

Y finalmente y no por ser menos importante a la UNAM por permitirme ser parte de la mejor Universidad de México y ser orgullosamente universitaria.

¡¡¡México, PUMAS, Universidad!!!

¡¡ Gooya Gooya...!!

Este trabajo fue realizado con el financiamiento del:

Proyecto PUMAGUA “*Programa de Manejo, Uso y Reuso del Agua en la UNAM*” a través del Programa de becas del Instituto de Ingeniería.

---

**CONTENIDO**

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	III
LISTA DE TABLAS.....	V
ABREVIATURAS.....	VI
<b>1. RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>4. ANTECEDENTES.....</b>	<b>6</b>
<b>5. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
5.1 Aguas residuales.....	10
5.1.1 Tratamiento de las aguas residuales.....	10
5.1.2 Uso de aguas residuales.....	10
5.2 Recarga de acuíferos.....	11
5.2.1 Problemas sanitarios y ambientales provocados por las aguas residuales en aguas subterráneas.....	11
5.2.2 Vulnerabilidad de los acuíferos subterráneos a la contaminación.....	12
5.3 Plantas de tratamiento de agua residual BRAIN.....	13
5.4 Aguas residuales para riego.....	15
5.4.1 Aspectos sanitarios.....	16
5.4.2 Riesgos para la salud debido al uso de aguas residuales en el sistema de riego por aspersión.....	17
5.5 Bioaerosoles.....	17
5.5.1 Comportamiento aerodinámico.....	17
5.5.2 Factores ambientales.....	19
5.5.3 Vías de entrada.....	19
5.5.4 Métodos de muestreo y análisis.....	20
5.5.4.1 Muestreadores.....	21
5.5.4.1.1 Impactadores.....	21
5.5.4.1.2 Muestreadores de una etapa.....	22
5.5.4.1.3 Impactadores en líquido (Impingers).....	22
5.5.4.1.4 Impingers con fraccionamiento de tamaño.....	23
5.5.4.2 Muestreadores de centrífuga.....	23
5.5.5 Técnicas analíticas.....	24

---

5.5.6 Criterios numéricos de valoración .....	25
<b>6. HIPÓTESIS .....</b>	<b>27</b>
<b>7. OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>27</b>
7.1 Objetivos particulares .....	27
<b>8. METODOLOGÍA .....</b>	<b>28</b>
8.1 Selección de las plantas de tratamiento BRAIN .....	28
8.1.1 Toma de muestra de las plantas BRAIN.....	29
8.2 Toma de muestra del agua tratada para riego.....	30
8.3 Análisis microbiológico del agua tratada en el laboratorio .....	30
8.4 Monitoreo del aire en la zona de riego .....	31
8.4.1 Identificación de bioaerosoles .....	32
8.5 Determinación de huevos de helminto en la cisterna central.....	32
<b>9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>33</b>
9.1 Calidad microbiológica del efluente de las plantas BRAIN .....	33
9.2 Calidad microbiológica del agua de reuso para riego en la cisterna central de “Las Islas”.....	39
9.3 Determinación de bioaerosoles que se pueden distribuir por aspersion en el sistema de riego de “Las Islas”.....	44
<b>10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>58</b>
<b>11. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>60</b>
<b>ANEXO I</b>	
ESQUEMA DE DILUCIONES.....	68
<b>ANEXO II</b>	
ARCHIVO FOTOGRÁFICO.....	70

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Número</b>	<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1	Diagrama de flujo de proceso para instalaciones con capacidad de 5m <sup>3</sup> /d.	14
2	Diagrama de flujo de proceso para instalaciones con capacidad de 10 y 15m <sup>3</sup> /d.	14
3	Biorreactor anaerobio integrado.	15
4	Muestreadores de cascada Andersen de dos y seis etapas.	22
5	Muestreadores en fase líquida con fraccionamiento de tamaño.	23
6	Muestreador de centrífuga Biotest.	24
7	Monitoreo del aire durante el riego por aspersión a diferentes alturas: suelo, 94 y 115 cm	31
8	Gran vegetación en la PTAR Registro de aspirantes (oficinas).	34
9	Vegetación en la PTAR Caseta de vigilancia circ. Mario de la Cueva.	34
10	Promedio de los parámetros microbiológicos del efluente de las plantas BRAIN.	36
11	Distribución de los coliformes fecales en el efluente de las plantas BRAIN.	37
12	Análisis microbiológico de la cisterna central de “Las Islas”.	42
13	Comparación de parámetros microbiológicos entre la cisterna central y aspersores.	43
14	Esquema de diluciones	68
15	Muestreo en la cámara de agua tratada de una PTAR BRAIN	70
16	Cámara de cloro de la planta BRAIN de Odontología ala sur	70
17	Falta de mantenimiento planta BRAIN Odontología ala norte	70
18	PTAR BRAIN ubicada en la Dirección de teatro y danza	70
19	Cámara de agua tratada de la planta BRAIN C. vigilancia estadio Olímpico	70
20	PTAR BRAIN ubicada en las canchas de futbol “pumitas”	70
21	Muestras de agua tratada de las 15 plantas BRAIN	71
22	Cisterna central de “Las Islas”	71
23	Muestras de agua tratada para riego de la cisterna central y de un aspersor	71

24	Riego por aspersión con agua tratada en “Las Islas”	71
25	Equipo Andersen de una etapa	71
26	Monitoreo del aire en el momento del riego	71
27	UFC de CT en Agar m Endo Les por la técnica filtración de membrana	72
28	Diluciones en Agar m FC para la cuenta de UFC de coliformes fecales	72
29	UFC en TSA utilizando el equipo Andersen	72
30	UFC de CT utilizando el equipo Andersen	72
31	Medios de cultivo para CT y CF sin crecimiento	72

---

**LISTA DE TABLAS**

<b>Número</b>	<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
1	Factores que afectan la elección del método de riego y medidas necesarias cuando se emplean aguas residuales.	16
2	Comportamiento aerodinámico de partículas suspendidas en el aire.	18
3	Estado actual de las plantas BRAIN.	28
4	Plantas de tratamiento BRAIN a las que se les realizó análisis microbiológico.	29
5	Promedio de los parámetros microbiológicos del efluente de las plantas BRAIN.	35
6	Comparación de los coliformes fecales en tres plantas de tratamiento.	38
7	Límites máximos permisibles de contaminantes dependiendo del reuso.	39
8	Análisis microbiológico de la cisterna central de "Las Islas".	41
9	Determinación de huevos de helminto en la cisterna central.	43
10	UFC/m <sup>3</sup> de aire en "Las Islas" en el momento del riego por aspersión.	45
11	UFC/m <sup>3</sup> de aire en "Las Islas" cuando no se esté regando.	46
12	Límites según P. Boutin para partículas biológicas aerotransportables.	47
13	Microorganismos identificados en el ambiente en la zona de riego de las islas.	48
14	Microorganismos de importancia médica que se pueden transmitir por el riego por aspersión.	48
15	Identificación de microorganismos en zonas de riego.	49
16	Vibriones de importancia médica.	55



---

## ABREVIATURAS

°C → grados centígrados

av. → avenida

BRAIN → bio-reactor anaerobio integrado

C. → caseta

circ. → circuito

CF → coliformes fecales

CT → coliformes totales

CU → Ciudad Universitaria

DBO<sub>5</sub> → Demanda Bioquímica de Oxígeno

h → horas

h/L → huevos por litro

L/s → litros por segundo

m<sup>3</sup>/d → metros cúbicos por día

mg/L → miligramos por litro

PTAR → planta de tratamiento de aguas residuales

PTARCU → planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria

SST → sólidos suspendidos totales

TSA → agar soya tripticaseína

UFC → unidades formadoras de colonias

UFC/m<sup>3</sup> → unidades formadoras de colonias por metro cúbico

UNAM → Universidad Nacional Autónoma de México

---

## 1. RESUMEN

Hoy en día existe una política en México a cerca del uso del agua, que favorece el tratamiento y el reuso de la misma. Estos nuevos criterios para la utilización del agua los han adoptado las autoridades de la UNAM, que plantean el tratamiento de todas las descargas de las aguas residuales generadas en el Campus Universitario, con el fin de ahorrar este recurso.

Unas de las acciones que se han llevado a cabo son: la substitución de agua potable por agua residual tratada en el riego de áreas verdes y la infiltración de agua tratada, al subsuelo para limitar la sobreexplotación del manto acuífero.

En el presente trabajo se evalúa la calidad microbiológica del efluente de quince plantas de tratamiento BRAIN, que se emplean para recarga del acuífero y se determina de igual forma la calidad microbiológica del agua tratada que proviene de la planta de tratamiento de agua residual de Ciudad Universitaria (PTARCU), que se utiliza para el riego de los jardines del campus; también se realiza un monitoreo del aire en la zona de riego, como una herramienta más para evaluar la calidad del agua.

El análisis microbiológico del efluente de las plantas BRAIN y algunas de sus instalaciones, demostraron que las plantas han recibido escaso mantenimiento; por lo que se deben de realizar nuevas evaluaciones a las instalaciones, para reparar daños y no haya problemas en materia de protección a la salud pública y de contaminación a los cuerpos de agua. Se recomienda la instalación de un sistema que haga cumplir los límites establecidos por la NOM-015-CONAGUA-2007, Infiltración artificial de agua a los acuíferos.- Características y especificaciones de las obras y del agua.

Por otro lado el agua que se emplea en el riego, presento en algunos muestreos un número considerable de coliformes fecales y se encontraron las bacterias patógenas *Staphylococcus saprophyticus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Vibrio damsela*, *Vibrio fluvialis* y *Aeromonas hydrophila* en el aire en el momento del riego.

Se deben de tomar las medidas pertinentes para mejorar el funcionamiento de las plantas de tratamiento BRAIN y la PTARCU, para que en los análisis microbiológicos posteriores, los resultados sean satisfactorios y se cumpla con lo que dictan las normas mexicanas; de esta manera se podrá seguir ahorrando en la UNAM un recurso tan importante como es el agua.

---

## 2. JUSTIFICACIÓN

La Ciudad Universitaria (CU) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) genera aproximadamente 110L/s de aguas residuales. De este caudal, 70 L/s son captados por la red de drenaje original, la cual abastece la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de CU (PTARCU), que cuenta con una capacidad para tratar 40L/s; el resto del caudal captado es descargado en la red de drenaje municipal de la ciudad. La PTARCU cuenta con tres procesos de tratamiento en paralelo: lodos activados (20L/s), discos biológicos (10L/s) y filtro percolador (10L/s). El agua tratada previa filtración y desinfección, es utilizada en el riego de la mayoría de las áreas verdes de CU (Noyola, 2004).

El riego de los jardines del campus, en específico la zona denominada “Las Islas” se realiza mediante aspersión, cuando éste se lleva a cabo, se generan en el ambiente aerosoles biológicos (bioaerosoles) o sea, bacterias que se dispersan en el aire, esto debido a que el agua residual tratada contiene cierta carga microbiana. Estos microorganismos que se dispersan en el ambiente podrían ser patógenos.

El sistema de riego alimentado con agua tratada por consiguiente, podría impactar la salud de la comunidad universitaria, debido a que se tiene un contacto directo ó indirecto (por inhalación) con los jardineros o personas que caminan por el área justo en el momento del riego, aunado a lo anterior las áreas verdes, muchas veces se toman como áreas de juego ó de descanso; por esto, se vio la necesidad de analizar la calidad microbiológica del agua tratada, que se emplea en el riego por aspersión y así mismo del aire, para saber los tipos de partículas viables bioaerosoles, que puedan ser transportados en el momento del riego.

Por otro lado, en CU también se cuenta con 26 pequeñas instalaciones de tratamiento *in situ* de agua residual, llamadas BRAIN (Bio-Reactor Anaerobio Integrado), la forma de disposición final del efluente en todos los casos es la infiltración al terreno (Mancebo, 1997), estas plantas han recibido escaso mantenimiento desde su instalación; por eso se debe, analizar la calidad microbiológica de estas descargas; de esta manera se conocerá si hay riesgo de que se contamine el acuífero del Valle de México.

---

de alcantarillado convencional. El Campus Universitario posee estas características geológicas: pedregal de roca basáltica, que hacen muy difícil y costoso la introducción de redes de drenaje (Mancebo, 1997), por lo que se propuso la construcción de las plantas de tratamiento necesarias para proporcionar tratamiento *in situ*; también se considero su construcción en efluentes cuyo volumen y localización no justificaran la construcción de una red de alcantarillado, por ejemplo en algunas casetas de vigilancia.

La descarga de estas aguas residuales, se realiza por medio de infiltración al terreno a través de grietas. Si no se alcanza una calidad de efluente satisfactoria para ser dispuesto, esta situación representa un riesgo para el ambiente, al afectar la calidad de cuerpos de agua ya sea superficiales o subterráneos, afectando la salud pública al contaminar fuentes de abastecimiento de agua.

En segundo término se comprueba si el agua tratada que, alimenta el sistema de riego en la zona de “Las Islas” cumple con la normatividad mexicana, respecto a los contaminantes biológicos y también se efectúa, un monitoreo del aire en ese lugar; aunque la principal vía de transmisión de patógenos es por consumo de agua contaminada, se ha reportado que otra vía es, por inhalación, especialmente cuando se utilizan aspersores como método de riego.

En cuestiones de salud, la exposición a los agentes biológicos en el medio ambiente, especialmente microorganismos patógenos o alergénicos, puede causar una amplia gama de enfermedades respiratorias y otros trastornos a la salud en trabajadores y población en general. Estas exposiciones son cada vez más reconocidas como una de las causas de infecciones respiratorias y las enfermedades de hipersensibilidad (OMS, 1990).

### 3. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos naturales que el hombre utiliza en mayor medida. La disponibilidad de este recurso, actualmente se está viendo amenazada, por lo que se toman medidas para revertir esta tendencia, dados los problemas de abasto y de contaminación es indispensable realizar acciones de manejo y uso eficiente del agua, por ejemplo, mediante la aplicación de procesos de tratamiento.

El tratamiento de las aguas residuales y la normalización de las descargas de aguas residuales, con el fin de reutilizarla y/o reintegrarla al ambiente libre de contaminantes, han recibido un fuerte impulso en los últimos años como estrategia para preservar la calidad del agua, mejorar la calidad de vida, proteger la salud pública y garantizar el desarrollo sustentable del país. Las inversiones en instalaciones de tratamiento han sido muy grandes tanto por parte del Estado como por parte de instituciones privadas y dependencias no gubernamentales (Villa, 2000).

La UNAM por su parte, ha adoptado acciones acerca del uso del agua, estas favorecen el tratamiento y el reuso de la misma, incluyen por ejemplo: el tratamiento de todas las descargas de las aguas residuales generadas en el Campus Universitario, la sustitución de agua potable por agua residual tratada, en el riego de áreas verdes y la infiltración de agua para limitar la sobreexplotación del manto acuífero entre otros (Noyola, 2004).

Estos nuevos criterios para la utilización del agua los han acogido las autoridades, las cuáles a través de programas como el Proyecto PUMAGUA: “*Programa de Manejo, Uso y Reuso del Agua en la UNAM*”, incluyen la implantación de tecnologías y prácticas mejoradas para satisfacer todas las necesidades de la comunidad universitaria, con menos agua y con la calidad adecuada, dentro de este parámetro de calidad se abordan dos temas en este trabajo:

Primero el análisis microbiológico del efluente de las plantas de tratamiento BRAIN. Este tratamiento de aguas residuales *in situ* es una alternativa de saneamiento en zonas en las que la topografía, por el tipo de terreno, no es posible instalar un sistema

---

#### 4. ANTECEDENTES

Históricamente, la región del Valle de México, ha enfrentado problemas relacionados tanto con el abastecimiento como para el desalojo del agua. Las políticas de extracción del agua del subsuelo para el abastecimiento de la Ciudad se comenzaron a incrementar de manera acelerada en las últimas décadas provocando un grave déficit en el balance hidrológico en la Cuenca del Valle de México, para remediar esta situación el gobierno de la Ciudad de México ha emprendido acciones tendientes a reducir el consumo de agua potable. Entre ellas el tratamiento del agua residual para producir efluentes con calidad suficiente para su reuso en riego, industria, servicios y recarga de acuíferos (Hernández *et al.*, 1998).

Uno de los fines que se persigue al reutilizar el agua tratada es el de eliminar el empleo de agua potable en las operaciones donde no es estrictamente necesaria y reintegrarla al ambiente busca evitar un impacto en el equilibrio presente en la naturaleza (Pérez, 2000).

Actualmente, la totalidad del agua potable que abastece al Campus Universitario, es obtenida a través de la explotación de tres pozos profundos. Esta situación presenta grandes problemas, como el hundimiento de la ciudad, por la sobreexplotación del acuífero, causando daños a la infraestructura del sistema de agua potable y al alcantarillado.

Para contribuir a minimizar estos problemas, la UNAM tiene como objetivo, lograr el principio de descarga cero (Mancebo, 1997), esto implica que toda el agua que se extrae del subsuelo del Campus Universitario sea devuelta por medio de infiltración después de utilizarla y tratarla, evitando que salga del Campus a través de los sistemas de drenaje de la Ciudad de México. Para el cumplimiento de este punto, se han proyectado y construido estructuras para el desalojo y saneamiento del agua residual en zonas bien definidas del Campus, como son los pozos de absorción por agua pluvial ó las plantas de tratamiento *in situ* BRAIN.

Estas plantas fueron instaladas y puestas en operación en el primer semestre de 1997, son idóneas para regenerar las aguas residuales de los núcleos

habitacionales localizados en sectores urbanos y zonas rurales que carecen de la infraestructura de drenaje.

Su instalación es expedita, no emplea equipo y funciona con microorganismos que se desarrollan en forma natural dentro del reactor, de tal suerte que no requiere de insumos, lo cual simplifica su operación y reduce su mantenimiento a la extracción temporal de los lodos, mismos que se digieren plenamente y que son fácilmente acondicionables para su disposición final, acorde con lo que establecen las normas ecológicas.

Al realizar la recarga artificial de aguas residuales tratadas, se debe asegurar la calidad del agua subterránea, para que esta no ocasione daños a la salud pública, especialmente cuando se pretende recuperar el agua de recarga para consumo humano o cuando cabe la posibilidad de que ésta migre incidentalmente hasta fuentes de abastecimiento de agua.

Otro uso eficiente, que se le ha dado a las aguas residuales tratadas es su aplicación en el riego agrícola, áreas verdes, etc. esto ha sido una práctica en el mundo, como método de ahorro para el agua potable.

De acuerdo a las necesidades del cultivo o la vegetación será el sistema de riego a utilizar, el cual puede ser: por goteo, por tuberías emisoras o por aspersión, este último procedimiento, plantea la cuestión de los posibles peligros para la salud humana, debido a los patógenos en forma de aerosoles que se generan en el sitio de riego, como lo indican Stanford y Tuburan (1974), de igual forma Sorber y Guter (1975) en su investigación, señalan que el empleo de aguas residuales en el riego por aspersión, lleva a la formación de aerosoles biológicos, existiendo una probabilidad significativa de que estos sean inhalados, causando infecciones de las vías respiratorias ó en el tracto intestinal, esto último ocurre cuando las partículas se depositan en la parte superior de la faringe nasal y luego se ingieren.

Los estudios realizados en Arizona, por Bausum *et al.*, (1976) presentan datos de campo de bacterias aerobias y coliformes en forma de aerosoles durante el riego; mientras que Sorber *et al.* (1976) en su artículo llega a la conclusión de que una mayor población bacteriana se produce en virtud de las condiciones de estabilidad



atmosférica y oscuridad. Aproximadamente un 50% de las bacterias fueron designadas al género *Klebsiella sp.*, bacteria de importancia para la salud pública, ya que puede producir infecciones respiratorias y de otro tipo en el hombre.

En el país de Israel Katzenelson *et al.*, (1976) y Shuval *et al.*, (1989) hacen referencia a evidencias de estudios epidemiológicos en asentamientos, ubicados cerca de los campos de riego con aguas residuales, estos muestran un aumento de la tasa de enfermedades entéricas durante la temporada de riego. Este aumento fue más evidente en la población de lactantes y niños en edades de 0 a 5 años.

Teltsch y Katzenelson (1978) por su parte evaluaron algunos factores meteorológicos y su efecto en las bacterias en aerosol; indican que la velocidad del viento no es un factor importante en la supervivencia, sin embargo, la humedad relativa baja y la alta energía de irradiación solar, inactivan más rápidamente a las bacterias, en comparación con la noche donde aumentan los niveles de bacterias en el aire, debido a que existe una humedad relativa mayor, no hay radiación solar y la temperatura es baja.

Teltsch *et al.*, (1980) demostraron que el enterovirus y la bacteria *Salmonella sp.* sobreviven en el aire de los campos regados con aguas residuales; identificó que la mayoría de los serotipos aislados de la bacteria; se asocian con infecciones humanas y hace hincapié en la importancia de las emisiones de aguas residuales en suspensión en el aire en la transmisión de la salmonelosis.

No se puede dejar de mencionar que también se han reportado efectos negativos en la salud de los trabajadores de las plantas de tratamiento de aguas residuales; las operaciones que habitualmente tienen lugar en las plantas de tratamiento dan lugar a la formación de partículas aerotransportables de origen biológico, muchos de los microorganismos presentes de forma natural en las aguas residuales, son relativamente resistentes al proceso de cloración (Bausum *et al.*, 1982). Sin embargo Fattal *et al.* (1986) indica que este proceso reduce los niveles de bacterias en el

---

aire, lo que demuestra la eficacia de este tratamiento, para controlar el problema de aerosoles microbianos.

Laitinen *et al.*, (1994) y Sánchez *et al.*, (2007) recomiendan que es necesario controlar y reducir la exposición a bacterias y endotoxinas en suspensión en el aire en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Melbostad *et al.*, (1994) en su artículo describe que los trabajadores de las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales y municipales, se encuentran expuestos a las bacterias entéricas y endotoxinas gram-negativas suspendidas en el aire, provocando síntomas de cansancio, dolor de cabeza y en algunas ocasiones fiebre, durante y después del trabajo. De acuerdo con Khuder *et al.*, (1998) en su investigación, indica que existe una correlación positiva entre la exposición de bioaerosoles y las infecciones respiratorias y gastrointestinales de los trabajadores.

Actualmente dada la creciente necesidad de la utilización de efluentes de aguas residuales para el riego, sobre todo en regiones con escasez de agua en todo el mundo, la aparición de fuertes vientos plantea un aumento potencial a través del aire, a la exposición de los bioaerosoles, principalmente a agricultores, residentes cercanos a zonas de riego y trabajadores de las plantas de tratamiento de agua residual (Paez *et al.*, 2005).

Todos estos trabajos comprueban el papel relevante de los bioaerosoles, específicamente tratándose de la salud pública, lo que lleva a discutir su importante determinación en el proceso de riego con agua residual tratada, como una herramienta indicadora de calidad del agua tratada.

---

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1 Aguas residuales

Toda comunidad genera residuos líquidos y sólidos. La parte líquida o agua residual, procede principalmente del agua suministrada a la población después de haber sido utilizada. Desde el punto de vista de su generación, las aguas residuales pueden definirse como aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y establecimientos comerciales e industriales, a los que pueden agregarse eventualmente aguas superficiales, subterráneas y pluviales (Metcalf y Eddy, 1996).

El agua suministrada por un sistema de abastecimiento es evacuada después de su empleo como agua residual. El agua residual está formada esencialmente por agua (99.9%), más una pequeña cantidad de sólidos (0.1%) que pueden ser orgánicos e inorgánicos, encontrándose disueltos o en suspensión.

#### 5.1.1 Tratamiento de las aguas residuales

El objetivo del tratamiento de las aguas residuales es la remoción de los contaminantes que pongan en peligro el equilibrio natural del sitio de disposición o rebasen los límites establecidos para su disposición o reuso. Esto implica estabilizar la materia orgánica biodegradable, eliminar los organismos patógenos y separar la materia en suspensión y flotante, de forma que se alcance la calidad que se requiera para su reuso o la disposición del recurso en algún cuerpo receptor (Villa, 2000).

#### 5.1.2 Uso de aguas residuales

La escasez cada vez mayor de las aguas dulces debido al crecimiento demográfico, a la urbanización y, probablemente, a los cambios climáticos, ha dado lugar al uso creciente de aguas residuales para la agricultura, la acuicultura, la recarga de aguas subterráneas y otras áreas (WHO, 2006).

En Ciudad Universitaria, como se menciona, el principal uso que se le da a los efluentes de las plantas de tratamiento es el riego de áreas verdes y la recarga de acuíferos.

Si bien el uso de aguas residuales para las áreas verdes puede traer beneficios (como aporte continuo de nutrientes y microelementos para las plantas o ahorro en gastos de fertilización), su uso no controlado generalmente está relacionado con impactos significativos sobre la salud humana.

Del mismo modo la recarga artificial con aguas residuales tiene inconvenientes, al no tener el efluente una calidad adecuada, puede provocar deterioro de la calidad del agua subterránea y daños a la salud pública, especialmente cuando se pretende recuperar el agua de recarga para consumo humano o cuando cabe la posibilidad de que ésta migre incidentalmente hasta captaciones que suministran agua para ese uso.

## 5.2 Recarga de acuíferos

La recarga artificial es el conjunto de técnicas cuyo objetivo principal es permitir una mejor explotación de los acuíferos por aumento de sus recursos y creación de reservas, mediante una intervención directa o indirecta en el ciclo natural del agua (Custodio, 1983).

Desde el punto de vista técnico, la factibilidad de la recarga artificial depende, entre otros factores, de que exista agua disponible para tal fin y de que ésta sea de calidad tal que no deteriore la calidad del agua subterránea nativa o que sea factible su tratamiento para prevenir riesgo de contaminación. Las fuentes de recarga a considerar son: las aguas meteóricas colectadas en instalaciones urbanas, los escurrimientos extraordinarios generados por lluvias torrenciales, el agua superficial regulada en presas de almacenamiento y las aguas residuales de las zonas urbanas-industriales. Estas últimas constituyen un cuantioso recurso potencial para recarga, por su permanencia y magnitud creciente.

### 5.2.1 Problemas sanitarios y ambientales provocados por las aguas residuales en aguas subterráneas

Las actividades humanas generan una gran cantidad de desechos y provocan perturbaciones en el ciclo hidrológico y en la circulación de las aguas. El resultado es la



contaminación de las mismas, unas veces de forma depurable pero otras veces prácticamente irreversible.

La contaminación de las aguas superficiales es fácilmente detectable y por ello se puede actuar de una manera rápida para evitarla o disminuirla, mientras que en las aguas subterráneas las acciones de prevención o protección casi siempre llegan tarde debido a que la explotación de las mismas se encuentra dispersa, además de que cuando la contaminación de ellas se hace perceptible, usualmente ya se ha alcanzado un desarrollo considerable (Custodio, 1983).

### 5.2.2 Vulnerabilidad de los acuíferos subterráneos a la contaminación

En general, las aguas subterráneas están resguardadas de la contaminación por una barrera natural constituida por la llamada “zona no saturada”, que abarca de la superficie del terreno a la superficie freática, en la cual tienen lugar una serie de procesos que evitan, reducen o retardan su contaminación: filtración adsorción, eliminación de microorganismos, precipitación, fijación de metales pesados, volatilización, degradación de hidrocarburos y de compuestos orgánicos sintéticos, entre otros. Adicionalmente, cuando los contaminantes llegan a rebasar esta capa protectora e ingresan a los acuíferos, son diluidos y dispersados en la masa de agua subterránea, además de que en ella se transportan con relativa lentitud.

Gracias a los procesos referidos, las aguas subterráneas están menos contaminadas que las superficiales. Sin embargo estos procesos depuradores tienen un límite y un manejo inadecuado de los acuíferos provoca en ellos contaminación.

Cuando una población se establece o explota los terrenos sobre un acuífero, puede provocar su contaminación en dos formas

- Por infiltración al subsuelo de sustancias contaminantes (como aguas residuales provenientes de fosas sépticas, lixiviación de residuos sólidos domésticos o industriales que se originan por su disposición inadecuada o por fugas en redes de alcantarillado y en depósitos e instalaciones industriales).

- Por el arrastre inducido de sales y otras sustancias minerales debido a la sobreexplotación del acuífero.

Las características geológicas del acuífero subterráneo predominantes en la región de Ciudad Universitaria, permiten un flujo rápido de agua a través de las capas de roca del mismo. Esta condición propicia la recarga rápida del acuífero pero también provoca una reacción muy débil contra la contaminación y que puede extenderse con facilidad y rápidamente a distancias incluso a varios kilómetros. La regeneración de acuíferos contaminados, suele ser muy lenta a veces de varios años y casi siempre tiene costos muy altos en términos económicos (Villa, 2000).

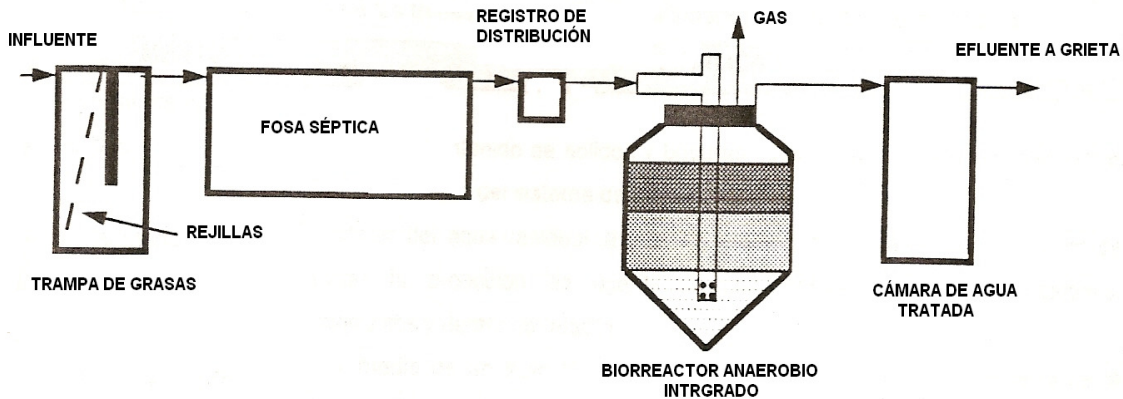
Debido a la difícil regeneración de los acuíferos, las medidas ambientales para combatir su contaminación deben ser preferentemente preventivas como la construcción de sitios de disposición adecuados (que dificulten la infiltración de los materiales contaminantes, p ej. un medio filtrante) y la disposición de aguas con niveles de tratamiento adecuados en función de las características del acuífero para aprovechar la disposición como un medio de recarga del acuífero.

### 5.3 Plantas de tratamiento de agua residual BRAIN

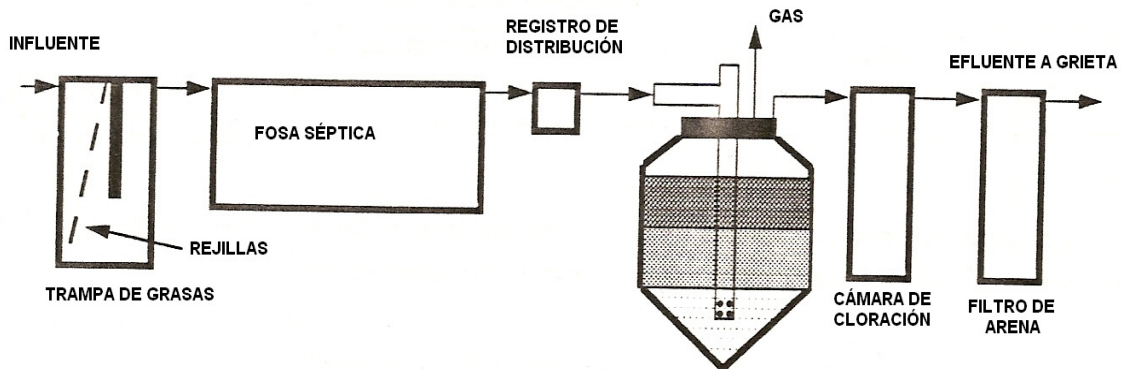
Una planta BRAIN es una planta de tratamiento prefabricada para saneamiento y reuso de aguas residuales. La integración del proceso de tratamiento se menciona a continuación:

- ❑ Tratamiento primario: por medio de rejillas para la separación de sólidos gruesos, mampara de separación de grasas y aceites.
- ❑ Tratamiento secundario: incluye fosa séptica, registro de distribución y biorreactor anaerobio (flujo ascendente), cárcamo de agua tratada y la disposición de esta a grieta.

Esto es en el caso de instalaciones con flujo de diseño de  $5 \text{ m}^3/\text{d}$  (figura 1). Por otra parte las instalaciones de  $10$  y  $15 \text{ m}^3/\text{d}$  cuentan también con un postratamiento (figura 2).



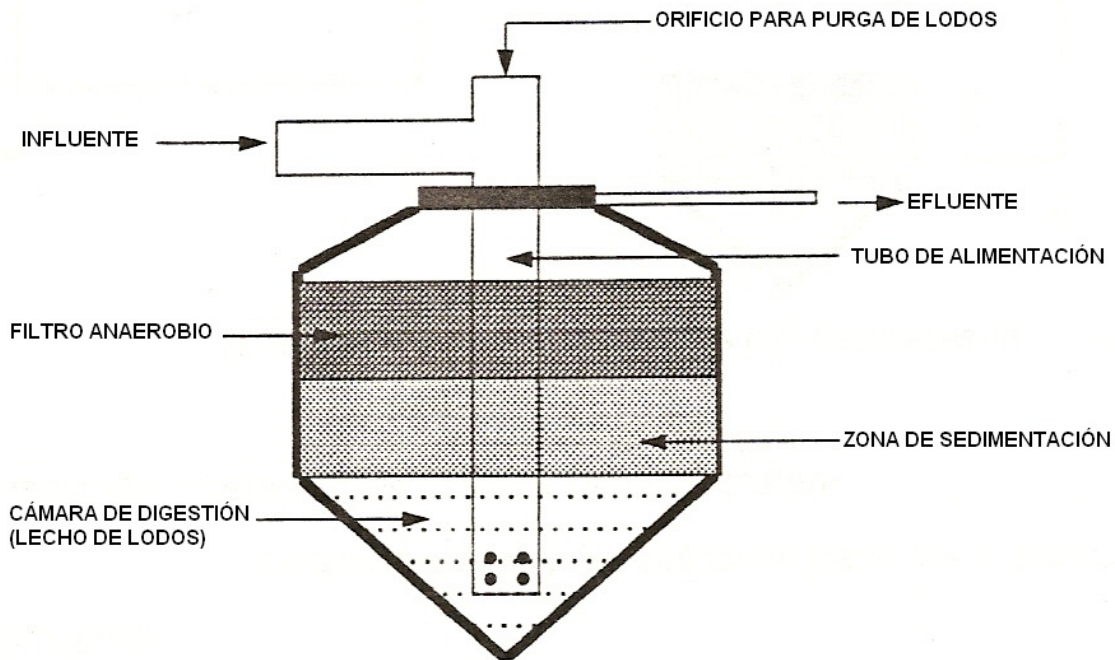
**Figura 1.** Diagrama de flujo de proceso para instalaciones con capacidad de 5m<sup>3</sup>/d



**Figura 2.** Diagrama de flujo de proceso para instalaciones con capacidad de 10 y 15m<sup>3</sup>/d

- ❑ **Postratamiento:** este consiste en una cámara de contacto de cloro y un filtro de arena, ambos posteriores al biorreactor anaerobio. El biorreactor anaerobio (figura 3) es básicamente un reactor de tipo lecho de lodos de flujo ascendente, que consiste de una cámara de digestión inferior, y una zona empacada en la

parte media y alta, la cual proporciona un arreglo de sedimentador de alta tasa (placas paralelas) y un soporte para la adhesión de biopelícula.



**Figura 3.** Biorreactor anaerobio integrado

#### 5.4 Aguas residuales para riego

El riego tiene el propósito de adicionar al suelo el agua suficiente para que la planta tenga un adecuado crecimiento (Pescod, 1992).

El agua de riego puede aplicarse al terreno por inundación, mediante surcos, por aspersión, por riego del subsuelo, o por riego localizado o goteo. Las ventajas y los inconvenientes de la aplicación de cada método cuando se emplean aguas residuales se muestran en la tabla-1.





**Tabla-1** Factores que afectan la elección del método de riego y medidas necesarias cuando se emplean aguas residuales

Método de riego	Factores que afectan la elección	Medidas especiales para aguas residuales
Riego por inundación	Costo mínimo, no se requiere nivelación del terreno	Protección completa para los trabajadores del campo, para los que manipulan las cosechas y para los consumidores.
Riego mediante surcos	Costo reducido, puede ser necesaria la nivelación del terreno	Protección para los trabajadores del campo y tal vez para los manipuladores de las cosechas y los consumidores.
Riego por aspersores	Obstrucción de los aspersores debido a sólidos suspendidos en el agua residual. No se requiere nivelar el terreno.	Distancia mínima de 50 a 100 m respecto a viviendas y caminos. No deben emplearse residuos anaerobios debido a los malos olores.
Riego subterráneo y localizado	Costo elevado, gran aprovechamiento de agua, cosechas más productivas	Filtración para evitar la obstrucción de los emisores.

Adaptado de Mara y Cairncross, 1990

#### 5.4.1 Aspectos sanitarios

La reutilización de aguas residuales en riego implica cierto riesgo sanitario debido a los agentes biológicos que contienen. Los tratamientos de depuración reducen la concentración inicial de organismos patógenos, pero asegurar una eliminación eficaz e incluso la eliminación continua de éstos, es difícil. Por ello es necesario conocer en detalle la presencia, concentración y supervivencia en distintos medios –suelo, agua, aire – de los diferentes microorganismos.

Los principales agentes infecciosos son bacterias, virus y parásitos intestinales (protozoos y helmintos). La supervivencia de estos organismos en las aguas, suelos y aire es variable ya que depende de varios factores ambientales.

#### 5.4.2 Riesgos para la salud debido al uso de aguas residuales en el sistema de riego por aspersión

El riego por aspersión, consiste básicamente en aplicar agua a la superficie del terreno rociándola en forma de lluvia; este sistema es más eficiente en términos del uso del agua (Rodríguez y Orona, 1990), ya que se distribuye de manera homogénea sobre toda el área deseada, aunque también se tienen desventajas; por ejemplo, en la agricultura puede contaminar los cultivos, incluso los de tallo alto como los frutales; así mismo requiere una remoción previa de los sólidos suspendidos para evitar el taponamiento de los aspersores. Otra cuestión importante es que, debido a los microorganismos existentes en las aguas residuales, estos pueden ser transportados por el viento hacia zonas urbanas vecinas, causando posibles infecciones y propagación de microorganismos patógenos debido a los aerosoles que se forman; de esta manera la calidad del aire, en la zona de riego se ve afectada.

#### 5.5 Bioaerosoles

Los bioaerosoles son partículas de tamaño microscópico suspendidas en el aire, de origen biológico, que pueden afectar a los seres humanos causándoles algún tipo de alergia, toxicidad o infección. Los bioaerosoles pueden estar constituidos por virus, bacterias, esporas, polen y en general cualquier resto de microorganismos con un diámetro aerodinámico comprendido entre 0.1 y 100  $\mu\text{m}$  (Cox y Wathes, 1995). Las principales vías de exposición a estos también llamados, contaminantes biológicos, son por inhalación, ingestión y contacto con la piel, pero la inhalación es la que da lugar a los mayores problemas para la salud. Dentro del amplio intervalo de tamaños, los bioaerosoles de mayor importancia, desde un punto de vista sanitario, son los que tienen un tamaño inferior a 5  $\mu\text{m}$ , ya que por su tamaño tan pequeño pueden ser inhalados y alcanzar fácilmente los alvéolos pulmonares, donde pueden depositarse y causar infecciones o reacciones alérgicas (Stetzenbach, 2002).

##### 5.5.1 Comportamiento aerodinámico

Cuando las partículas biológicas son emitidas al aire y se encuentran en suspensión, su comportamiento aerodinámico (Tabla-2), va a estar gobernado por sus propiedades

físicas: forma, tamaño y densidad, también interfieren las condiciones del medio ambiente: corrientes de aire, humedad y temperatura (Sánchez *et al.*, 2006).

**Tabla-2** Comportamiento aerodinámico de partículas suspendidas en el aire

Tamaño de partícula	Comportamiento
Partículas de mayor tamaño, con un diámetro aerodinámico superior a 10 $\mu\text{m}$ .	Tienden rápidamente a sedimentar por la acción de las fuerzas gravitacionales.
Partículas con un diámetro aerodinámico entre 0.1 y 10 $\mu\text{m}$ .	Presentan un comportamiento intermedio ya que su movimiento está afectado en mayor o menor medida por ambos tipos de fuerzas (gravitacionales y movimientos brownianos).
Partículas muy pequeñas, inferiores a 0.1 $\mu\text{m}$ .	Son transportadas por movimientos brownianos y presentan un comportamiento similar a un gas, permaneciendo así en suspensión.

Adaptado de Sánchez *et al.*, 2006

La velocidad de sedimentación teórica de las partículas con tamaños entre 0.1 y 1  $\mu\text{m}$  es aproximadamente de 0.01 cm/s, lo que supone que estas partículas necesitan más de 5 horas antes de sedimentar en el suelo desde una altura de 2 metros. Estas condiciones ideales no se pueden extrapolar cuando las partículas se encuentran al aire libre expuestas a distintas condiciones ambientales, donde factores tales como turbulencias atmosféricas, temperatura y humedad, pueden aumentar la velocidad de sedimentación hasta 1 cm/s. Incluso en estos casos, los bioaerosoles podrían permanecer suspendidos en el aire durante varios minutos antes de ser depositados en el suelo o en cualquier otra superficie. Durante el tiempo que permanecen suspendidas en el aire, las partículas podrían ser transportadas por la acción del viento a distancias que pueden variar desde unos pocos metros hasta varios kilómetros.

### 5.5.2 Factores ambientales

La supervivencia, reproducción y dispersión al aire de los contaminantes biológicos dependerá, en gran medida, de las condiciones del entorno en que se encuentren. Los

factores ambientales, además de gobernar el comportamiento aerodinámico, también determinan su estabilidad y viabilidad. Los microorganismos en suspensión están expuestos a distintos tipos de estrés ambiental que dan lugar a su inactivación.

Los factores que más influencia tienen en la viabilidad de los microorganismos son: (Mohr, 2002)

- Contenido de agua en los microorganismos
- Humedad relativa del aire
- Temperatura
- Oxígeno
- Otros factores ambientes característicos del aire libre (presencia de iones, radiación solar, etc.)

Hongos y virus son más resistentes a la desactivación que las bacterias pero en todos los casos el factor que más influye en su viabilidad es la cantidad de agua de la que dispone el microorganismo para evitar la desecación de la membrana externa que quedaría expuesta a la acción de los factores ambientales.

El hecho de que estas partículas puedan permanecer en suspensión, sean viables y fácilmente transportables por el viento, las convierte en uno de los principales problemas para la salud pública cuando se utiliza el riego por aspersión con aguas tratadas.

### 5.5.3 Vías de entrada

Para que la presencia de estas partículas biológicas, que se encuentran en suspensión en el ambiente, puedan suponer un riesgo para el hombre, además de la propia patogenicidad del microorganismo, es necesario que el microorganismo encuentre una vía de entrada al cuerpo y que se desarrolle una respuesta inmunológica, que dependerá de cada individuo (Constans *et al.*, 1998).

Estos microorganismos pueden penetrar por diferentes vías en el organismo humano:

- Oral (ingestión a través de las manos o indirectamente de forma accidental)
- Respiratoria (inhalación)
- Ocular (a través de la conjuntiva)
- Dérmica (a través de lesiones en la piel)

Siendo de todas ellas la vía respiratoria la de mayor probabilidad de entrada al cuerpo. Las dosis infectivas para el hombre varían con: el agente biológico, la vía de entrada y la resistencia del huésped, es decir, el grado de integridad de sus sistemas defensivos.

#### 5.5.4 Métodos de muestreo y análisis

Ningún método de muestreo por si solo es conveniente para coleccionar y analizar todos los tipos de bioaerosoles, y en la actualidad no se dispone de normas que permitan proceder con una metodología única de muestreo.

Sin embargo, existen distintas metodologías para la captación e identificación de los bioaerosoles que han sido propuestas a nivel nacional en distintos países, o usados por empresas consultoras y equipos de investigación. Estos métodos están basados en distintos sistemas para la captación de bioaerosoles y la selección de distintos grupos de microorganismos, pero valga la redundancia no existe una metodología estandarizada aceptada a nivel internacional que permita el estudio de los bioaerosoles de forma unificada y, por tanto, la comparación de los resultados.

##### 5.5.4.1 Muestreadores

Existen diferentes tipos de muestreadores para coleccionar las partículas suspendidas en el aire así como para determinar su distribución por tamaño. Algunos se han diseñados para el muestreo de polvo o partículas no viables, mientras que otros se usan exclusivamente para la colecta de bioaerosoles o microorganismos. A continuación se describirán algunos de los muestreadores más ampliamente usados en el área de la aerobiología para el aislamiento de bacterias.

#### 5.5.4.1.1 Impactadores

El principio de colecta por impactación se basa en la tendencia de una partícula a desviarse del flujo de aire debido a la inercia, cuando la corriente de aire se curva al pasar por una superficie sólida o semisólida. Las partículas se separan de la corriente de aire y se impactan sobre la superficie.

El Impactador de cascada se encuentra dentro de esta clase de muestreadores el más usado en los estudios aerobiológicos es el impactador para partículas viables Andersen. Este equipo está constituido por una serie de seis placas de aluminio, cada una con 400 orificios cuyo diámetro disminuye sucesivamente, por lo que la velocidad del aire se incrementa de una etapa a la siguiente. Succiona un flujo de aire de  $28.3 \text{ L min}^{-1}$  ( $1 \text{ pie}^3$ ) por medio de una bomba de vacío. Las partículas que son acarreadas en la corriente de aire, con un diámetro aerodinámico entre  $1 \mu\text{m}$  a  $15$ , son separadas por su tamaño en seis fracciones al pasar por las placas perforadas. Las partículas de una masa mayor son depositadas en la etapa superior, mientras que las partículas más pequeñas, capaces de mantenerse en el flujo de aire a baja velocidad, son transportadas sucesivamente a mayor velocidad y se impactan sobre la superficie de colecta de las siguientes etapas (Rosas *et al.*, 2004). Bajo cada placa se coloca una caja Petri con agar, en cuya superficie se desarrollarán las partículas viables.

Existe una versión del impactador de cascada Andersen de dos etapas, cada una con 200 orificios. Al igual que el muestreador anterior, succiona un flujo de aire de  $28.3 \text{ L min}^{-1}$  y las partículas son separadas en las fracciones respirable y no-respirable. La etapa superior corresponde a las placas 1 y 2 del muestreador de seis etapas y la inferior a las etapas 3 a 6 (figura 4).



**Figura 4.** Muestreadores de cascada Andersen de dos y seis etapas

#### 5.5.4.1.2 Muestreadores de una etapa

Existen diferentes modelos de muestreadores de una etapa. El muestreador portátil Burkard (Rickmansworth, England) colecta las partículas suspendidas con un flujo de aire de  $10 \text{ L min.}^{-1}$  a través de una placa perforada con 100 orificios. Se recomienda el uso de este equipo para la colecta de partículas  $< 5 \mu\text{m}$  de diámetro, con una eficiencia  $> 95\%$ . El muestreador N6-Andersen, el cual es una adaptación del equipo de seis etapas, sólo usa la sexta etapa del muestreador. El uso de los impactadores de una etapa es más económico en términos del número de placas de agar requeridas y del tiempo empleado en el procesamiento de las muestras; sin embargo, presenta la desventaja de no fraccionar la muestra por tamaños.

#### 5.5.4.1.3 Impactadores en líquido (Impingers)

En este equipo de muestreo el aire succionado con una bomba de vacío se colecta directamente sobre un medio líquido. La mayoría de los impingers están hechos de vidrio Pyrex, con una sola cámara de colecta y un conducto para la succión del aire, el cual cuenta con un orificio crítico que determina la velocidad del flujo de aire.

La ventaja de este muestreador es que se puede realizar una serie de diluciones del líquido de colecta cuando la concentración de microorganismos es muy alta.

#### 5.5.4.1.4 Impingers con fraccionamiento de tamaño

En 1960 May diseñó un muestreador que combina las ventajas de coleccionar las partículas suspendidas dentro de un medio líquido, con la de fraccionar las partículas por su tamaño. (Rosas *et al.*, 2004). Este muestreador es conocido como MSLI (multistage all glass liquid impinger) y se presenta en tres tamaños que coleccionan 55, 20 y 10 L min<sup>-1</sup> por medio de una bomba de vacío. Las partículas suspendidas en la corriente de aire se separan en tres fracciones, que corresponden por su tamaño, a la depositación en la región extra-torácica, bronquial y alveolar del tracto respiratorio (figura 5).

Una alternativa al uso del MSLI, es el impactador en líquido Burkard, el cual al igual que el muestreador anterior separa las partículas en tres fracciones (>10 µm; 10-4 µm; <4 µm) con base en su diámetro aerodinámico. La ventaja de este equipo es que está fabricado en aluminio, por lo que su diseño es más exacto, y existe un riesgo menor durante los muestreos ya que es menos frágil (figura 5).



**Figura 5.** Muestreadores en fase líquida con fraccionamiento de tamaño

#### 5.5.4.2 Muestreadores de centrifuga

La colecta de microorganismos por centrifugación permite la creación de un torbellino que produce que las partículas suspendidas en el aire se impacten sobre la superficie de colecta. El muestreador más común de este tipo es el Biotest RCS (Reuter Centrifugal Air Sampler; Alemania). El aire es succionado por el rotor del muestreador,



que al girar crea una fuerza centrífuga y ocasiona la impactación de las partículas. Sobre las paredes de la cámara se coloca una tira plástica con agar en la que se desarrollarán las colonias de microorganismos, después de ser retirada del equipo se incubada a la temperatura adecuada. El motor funciona por medio de baterías y succiona un flujo de aire de 40 L/min (figura 6). Es un equipo pequeño y de fácil manejo, por lo que su uso se ha popularizado especialmente en la evaluación de la calidad microbiológica de ambientes hospitalarios. (Rosas *et al.*, 2004) Sin embargo, no es un equipo recomendado para el muestreo de ambientes ocupacionales ya que la superficie de las tiras de agar se saturan fácilmente.



**Figura 6.** Muestreador de centrífuga Biotest

#### 5.5.5 Técnicas analíticas

De las muestras tomadas en los diferentes ambientes se puede obtener información de dos tipos. Una, cuantitativa, el número de microorganismos presentes por unidad de volumen; habitualmente la unidad utilizada es: unidades formadoras de colonias por metro cúbico de aire (UFC/m<sup>3</sup>). El análisis se realiza de forma visual, manualmente o con la ayuda de un contador de colonias.

Otro tipo de información es la cualitativa, es decir, las diferentes especies de microorganismos que se han captado en la muestra. Este análisis se realiza tratando las diferentes colonias que se han desarrollado en el medio de cultivo mediante técnicas bioquímicas y técnicas que pongan de manifiesto la morfología de las diversas especies.

### 5.5.6 Criterios numéricos de valoración

Del mismo modo que ocurre cuando se trata de valorar la exposición a contaminantes químicos, una vez identificados los contaminantes biológicos y estimadas sus concentraciones en el medio ambiente, se procederá a la valoración "comparando para cada contaminante objeto de estudio el valor de su concentración ambiental, con el valor de referencia máximo admisible para dicho contaminante." Este valor de referencia máximo admisible o criterio de valoración, para el caso de los contaminantes biológicos, no está establecido a nivel normativo en nuestro país ni en los de nuestro entorno socio-económico. Esto debido quizás a la existencia de una gran variabilidad de factores propios de la naturaleza de los microorganismos en suspensión (su capacidad de reproducción, el hecho de que en una misma especie microbiana existan cepas con distinto poder patogénico o que alteraciones de factores ambientales tales como la temperatura, humedad, etc. puedan condicionar su presencia en un determinado ambiente) que inciden en la dificultad de establecer unos criterios de valoración generalizados y válidos para cualquiera que sea la situación planteada.

La comisión para los bioaerosoles de la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) explica las razones por las que, hoy por hoy, no es posible establecer dichos criterios (Hernández, 2007).

- a. Un valor límite de exposición general para la concentración de los bioaerosoles cultivables (hongos y bacterias totales) o contables (polen total, esporas de hongos o bacterias) no tiene justificación científica porque:
  - Los bioaerosoles son mezclas complejas de diferentes clases de partículas.
  - Las respuestas de los seres humanos a los bioaerosoles varían desde efectos inocuos hasta enfermedades graves, dependiendo del agente específico y de los factores de susceptibilidad de cada persona.
  - Las concentraciones medidas de los bioaerosoles cultivables y contables dependen del método de toma de muestra y análisis. No es posible recoger y evaluar todos los componentes de los bioaerosoles utilizando un único método de muestreo.



- No se han establecido valores límite de exposición para los bioaerosoles individuales cultivables o contables para prevenir la irritación o las respuestas tóxicas o alérgicas. Actualmente, la información relativa a las concentraciones de los bioaerosoles cultivables o contables que han producido irritación o respuestas tóxicas o alérgicas procede, en su mayor parte, de estudios de casos que contienen sólo datos cualitativos de la exposición. Los datos epidemiológicos que existen son insuficientes para describir las relaciones exposición- respuesta.
- Para algunos bioaerosoles infecciosos hay datos de dosis-respuesta. Actualmente, los protocolos del muestreo ambiental para los agentes infecciosos son limitados y adecuados solamente como tentativa científica. Los métodos tradicionales de salud pública, incluyendo los de inmunización, descubrimiento del agente activo y tratamiento médico siguen siendo las defensas primarias frente a los bioaerosoles infecciosos. En ciertos servicios públicos y médicos con riesgo elevado para la transmisión de la infección (por ejemplo, la tuberculosis), se deberían emplear controles de la exposición para reducir las posibles concentraciones ambientales a los agentes patógenos virulentos y oportunistas.
- Los contaminantes de procedencia biológica que son analizables son sustancias producidas por la materia viva, que se pueden detectar utilizando ensayos químicos, inmunológicos o biológicos y comprenden a las endotoxinas, micotoxinas, alérgenos y compuestos orgánicos volátiles. Los hechos todavía no respaldan el establecimiento de valores límite de exposición para ninguna de estas sustancias analizables. Los métodos de ensayo para ciertos aeroalergenos comunes y endotoxinas están avanzando constantemente. También, las técnicas moleculares innovadoras están permitiendo analizar la concentración de organismos específicos, detectados normalmente sólo por cultivo o recuento. En estudios experimentales y ocasionalmente en estudios epidemiológicos se han observado relaciones dosis-respuesta para algunos bioaerosoles analizables. Asimismo, está progresando la validación de estos ensayos en el medio ambiente.

---

## 6. HIPÓTESIS

- El agua residual tratada que se genera en Ciudad Universitaria, se emplea en la recarga de acuíferos y en el riego de áreas verdes, si esta agua posee una carga microbiana baja, se evidenciara el buen funcionamiento de las plantas BRAIN y se garantizará un riego por aspersión que no afecte la salud de los Universitarios.

## 7. OBJETIVO GENERAL

- Analizar la calidad microbiológica de las descargas de las plantas de tratamiento BRAIN y determinar los bioaerosoles que se pueden distribuir por aspersión en el sistema de riego de aguas residuales de Ciudad Universitaria.

### 7.1 OBJETIVOS PARTICULARES

- Evaluar si el efluente de las plantas BRAIN cumple con lo especificado en la NOM-015-CONAGUA-2007, Infiltración artificial de agua a los acuíferos.- Características y especificaciones de las obras y del agua; en lo que refiere a los coliformes fecales.
- Definir si existe en el ambiente algún patógeno en forma de aerosol, cuando se está llevando a cabo el riego por aspersión en “Las Islas”.
- Identificar si existe la presencia del género *Vibrio sp.* en el agua tratada que se almacena en la cisterna<sup>1</sup> central de “Las Islas”.
- Determinar si existe contaminación por patógenos y parásitos en el agua tratada contenida en la cisterna central de “Las Islas”, de acuerdo a las especificaciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997.

---

<sup>1</sup> La palabra cisterna comúnmente se refiere a agua potable, sin embargo a lo largo de este trabajo se empleará este término para referirse al depósito donde se almacena el agua residual tratada que se utiliza en el riego.

## 8. METODOLOGÍA

### 8.1 Selección de las plantas de tratamiento BRAIN

En Ciudad Universitaria se encuentran 26 plantas de tratamiento de aguas residuales BRAIN. La forma de disposición final en todos los casos es la infiltración en el sitio. La tabla-3 muestra la lista de las 26 instalaciones de tratamiento, su flujo de diseño, la unidad o dependencia a la cual da servicio y si se encuentra funcionando.

**Tabla-3** Estado actual de las plantas BRAIN

No.	Ubicación de las plantas	Capacidad (m <sup>3</sup> /d)	Estado actual
1.-	Registro aspirantes (oficinas)	5	Funcionando
2.-	Registro aspirantes (público)	5	Funcionando
3.-	Caseta vigilancia av. Imán	5	Fuera de servicio
4.-	Caseta de vigilancia av. Insurgentes	5	Funcionando
5.-	Dirección de teatro y danza	10	Funcionando
6.-	Sala Netzahualcóyotl	5	Funcionando
7.-	Caseta de vigilancia circ. Mario de la Cueva	5	Funcionando
8.-	Vivero alto (cabaña 1)	5	Funcionando
9.-	Vivero alto (invernadero)	5	Fuera de servicio
10.-	Vivero alto (caseta de cloración)	5	Funcionando
11.-	Mesa vibradora	5	Funcionando
12.-	Mesa vibradora (taller)	5	Funcionando
13.-	Jardín botánico (oficinas)	5	Fuera de servicio
14.-	Jardín botánico (baños públicos)	5	Fuera de servicio
15.-	Posgrado de odontología (ala norte)	10	Funcionando
16.-	Posgrado de odontología (ala sur)	10	Funcionando
17.-	Caseta de vigilancia metro universidad	5	Funcionando
18.-	Comedor anexo ingeniería	5	Funcionando
19.-	Caseta de vigilancia av. Insurgentes (trabajo social)	5	Fuera de servicio
20.-	Caseta de vigilancia (campo beisbol)	5	Fuera de servicio
21.-	Planta incineradora	5	Fuera de servicio
22.-	Canchas futbol	5	Funcionando
23.-	Gimnasio	15	Funcionando
24.-	Subdirección de medicina deportiva	5	Funcionando
25.-	Unión de universidades de América Latina	5	Funcionando
26.-	Caseta de vigilancia (estadio olímpico)	5	Funcionando

Descartando las que ya no están en funcionamiento se tienen 19 en servicio. De estas, solo se realizó el análisis microbiológico a 15 de ellas (tabla-4), realizando 8 muestreos durante los meses de octubre-noviembre.

**Tabla-4** Plantas de tratamiento BRAIN a las que se les realizó análisis microbiológico

No.	Ubicación de las plantas	Capacidad (m <sup>3</sup> /d)	Estado actual
1.-	Registro aspirantes (publico)	5	Funcionando
2.-	Caseta de vigilancia av. Insurgentes	5	Funcionando
3.-	Dirección de teatro y danza	10	Funcionando
4.-	Sala Netzahualcóyotl	5	Funcionando
5.-	Vivero alto (caseta de cloración)	5	Funcionando
6.-	Mesa vibradora	5	Funcionando
7.-	Mesa vibradora (taller)	5	Funcionando
8.-	Posgrado de odontología (ala norte)	10	Funcionando
9.-	Posgrado de odontología (ala sur)	10	Funcionando
10.-	Caseta de vigilancia metro universidad	5	Funcionando
11.-	Comedor anexo Ingeniería	5	Funcionando
12.-	Canchas futbol	5	Funcionando
13.-	Gimnasio	15	Funcionando
14.-	Subdirección de medicina deportiva	5	Funcionando
15.-	Caseta de vigilancia ( estadio olímpico)	5	Funcionando

#### 8.1.1 Toma de muestra de las plantas BRAIN

La muestra se tomo del efluente de la planta de tratamiento, que se ubica en la cámara de agua tratada. El protocolo de muestreo que se siguió, es el que se indica en la NMX-AA-003-1980 Aguas residuales, municipales e industriales – muestreo. Las muestras se colectaron por la mañana, de 8:30 a 10:30, todas aproximadamente a la misma hora, en bolsas estériles marca Nasco Whirl-Pak con capacidad de 500mL; se sumergían en el agua superficial a una profundidad media, se identificaban debidamente y se colocaban en hieleras con bolsas refrigerantes a

---

una temperatura entre 4 y 10 °C, para posteriormente transportarlas al laboratorio del Instituto de Ingeniería.

### 8.2 Toma de muestra del agua tratada para riego

El agua de reuso para el riego de las áreas verdes de “Las Islas”, se almacena en la cisterna central, que se ubica en esa zona.

De igual forma se siguió la norma NMX-AA-003-1980 Aguas residuales, municipales e industriales – muestreo, para la toma de muestras de la cisterna, se colectaron en las bolsas estériles marca Nasco Whirl-Pak con capacidad de 500mL, identificándolas correctamente, para su transporte al laboratorio.

Se realizaron once muestreos, dos en el mes de agosto y nueve en los meses de noviembre a febrero, todos por la mañana alrededor de las 9:00 a.m.

También se tomó agua de los aspersores en el momento del riego; con ayuda del personal de jardinería se bajaba la presión del agua en el aspersor y se acercaba la bolsa para la toma de muestra y se identificaba correctamente para su procesamiento.

### 8.3 Análisis microbiológico del agua tratada en el laboratorio

El trabajo de laboratorio se realizó con las muestras directamente y diluidas hasta el orden de  $10^{-4}$  (Anexo 1) tanto para el efluente de las plantas tipo BRAIN como para el agua utilizada para riego. La determinación de Coliformes totales (CT) y Coliformes fecales (CF) se llevó a cabo de acuerdo a la Norma 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. Se siguió la misma metodología que indica esta norma para la determinación de bacterias heterotróficas utilizando el medio de cultivo Agar Soya Trypticaseína (TSA) y para el género *Vibrio sp* se utilizó el medio selectivo TCBS (Tiosulfato Citrato Bilis Sacarosa), este último estudio se realizó únicamente en las muestras provenientes de la cisterna central.



#### 8.4 Monitoreo del aire en la zona de riego

En el momento de riego se empleo el equipo Andersen de una etapa, como ya se menciono antes, este realiza el muestreo succionando un flujo de aire a través de una placa perforada con 400 orificios, las partículas viables que puedan ser transportadas por el aire, se depositan en el equipo que contiene una caja petri con 30mL de medio de cultivo. Los medios de cultivo empleados fueron: Agar m FC para coliformes fecales, Agar m Endo Les para coliformes totales y Agar Trypticaseína para bacterias heterotróficas.

En los diversos muestreos que se realizaron, el equipo se colocó a tres diferentes alturas: en el suelo a 94 y 115cm.



**Figura 7.** Monitoreo del aire durante el riego por aspersión a diferentes alturas: suelo, 94 y 115 cm

El tiempo de exposición de los medios de cultivo para bacterias heterotróficas y CT fue de 10min, mientras que para el medio de CF, fue de 15min. Después de este tiempo las cajas se invirtieron y se envolvieron en papel aluminio para su transporte al laboratorio.

Las cajas con el medio TSA y Agar m Endo Les para la identificación de bacterias heterotróficas y coliformes totales respectivamente, se invirtieron y se colocaron en una incubadora a una temperatura de 35-37°C por 24h y las cajas con el medio selectivo Agar m FC para coliformes fecales, se invirtieron y se colocaron en un baño de agua a 44.5°C por 24h

Después del tiempo de incubación se examinaron inmediatamente las colonias y se contaron para obtener las UFC en cada medio donde hubo crecimiento microbiano.



Asimismo se realizó un monitoreo del aire en “Las Islas”, cuando no se estaba regando para tener un estudio comparativo. Se siguieron las mismas indicaciones que se mencionaron antes y de igual forma se utilizaron los mismos medios de cultivo.

#### 8.4.1 Identificación de bioaerosoles

Las cajas donde hubo crecimiento se llevaron al Laboratorio del Departamento de Microbiología y Parasitología de la Facultad de Medicina de la UNAM, para la identificación correspondiente.

Se aislaron las colonias y se sembraron en diferentes medios selectivos, después de la incubación, se realizaron pruebas bioquímicas para determinar el género y especie esto por el método de microdilución. La prueba se realizó en microplacas de 96 pozos en un equipo automatizado microscan.

#### 8.5 Determinación de huevos de helminto en la cisterna central

La prueba de determinación de huevos de helminto fue realizada con la técnica que se describe en la norma NMX-AA-113-SCFI-1999 Análisis de agua- determinación de huevos de helminto- método de prueba.

Para la toma de muestra de este análisis también se tomo en consideración la norma NMX-AA-003-1980 Aguas residuales, municipales e industriales – muestreo.



---

## 9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 9.1 Calidad microbiológica del efluente de las plantas BRAIN

Las plantas fueron instaladas y puestas en operación cuando no existían en aquel momento, ninguna normatividad acerca de la recarga de acuíferos. Sin embargo cuando se evaluaron (Mancebo *et al.*, 1997), se especifico la calidad del agua tratada, de acuerdo a ciertos límites máximos; para los contaminantes biológicos se estableció 300 UFC/100mL de coliformes fecales.

En la actualidad, si se tienen normas en este asunto, por lo que se revisaron las Normas Oficiales Mexicanas que tuvieran injerencia sobre el tema recarga de acuíferos. La Norma Ambiental NADF-003-AGUA-2002, es una norma emitida por la Secretaría del Medio Ambiente del DF y establece las condiciones y requisitos para la recarga en el Distrito Federal por inyección directa de agua residual tratada al acuífero de la zona metropolitana de la Ciudad de México.

La norma NOM-014-CNA-2003 se refiere a los requisitos para la recarga artificial de acuíferos y la NOM-015-CONAGUA-2007 se refiere a la infiltración artificial de agua a los acuíferos. Características y especificaciones de las obras y agua.

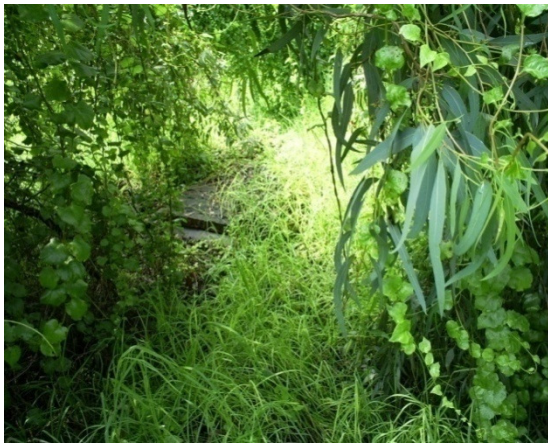
En este contexto, para aplicar las normas NADF-003-AGUA-2002 y la NOM-014-CNA-2003 sería necesario contar con instalaciones de obra civil explícitamente construidas para la inyección directa y recarga artificial respectivamente. Por lo que, la más “adecuada” a la recarga que se hace al acuífero en Ciudad Universitaria, es la NOM-015-CONAGUA-2007, cuyo objetivo es aprovechar el agua pluvial y de escurrimientos superficiales para aumentar la disponibilidad de agua subterránea a través de la infiltración artificial.

Las plantas BRAIN entonces deberían de contar con un sistema de tratamiento que garantice, que el agua en el punto de infiltración tenga los límites establecidos en la NOM-015-CONAGUA-2007; que indica para los parámetros microbiológicos un límite de: no detectable para los coliformes fecales.

Sin embargo no podemos aplicar esta norma a las plantas debido a que no se instalaron para satisfacer a esta.

De las 19 plantas (tabla-3) que están funcionando únicamente se realizó el análisis a 15 de ellas debido a que:

- ◆ La gran vegetación de la zona (figura 8 y 9) no permitió el acceso a la toma de muestra en las plantas No. 1.- Registro aspirantes (oficinas) y la No. 7- Caseta de vigilancia circuito Mario de la cueva. (Se pidió ayuda al personal correspondiente de la zona, para la limpia del lugar, pero no se recibió ninguna colaboración por parte de este).



**Figura 8.** Gran vegetación en la PTAR Registro de aspirantes (oficinas)



**Figura 9.** Vegetación en la PTAR Caseta de vigilancia circ. Mario de la Cueva

- ◆ La planta 7.- Vivero alto (cabaña 1) solo funciona en eventos especiales, por lo que los días del muestreo no tuvo actividad.

- ◆ Finalmente la planta 25.- Unión de Universidades de América Latina (UDUAL), no se tomó muestra por qué no se encontró agua en la cámara de agua tratada.

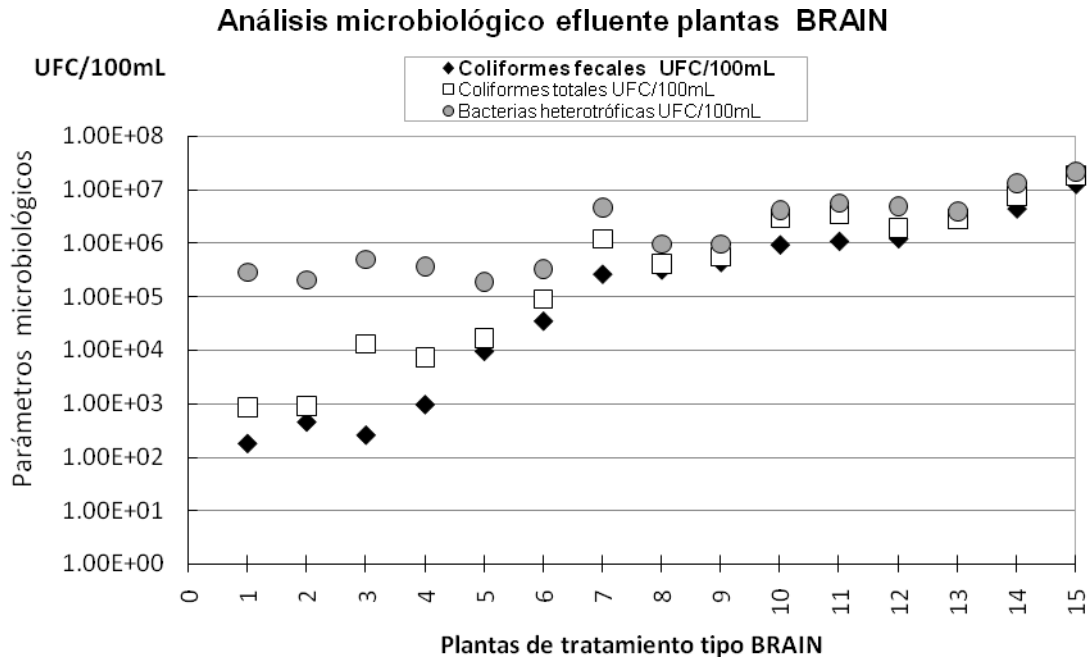
De los ocho muestreos que se realizaron a las 15 plantas de tratamiento, se obtuvo un promedio de cada uno de los parámetros microbiológicos, estos se muestran en la tabla-5.

**Tabla-5** Promedio de los parámetros microbiológicos del efluente de las plantas BRAIN



Ubicación de las plantas		UFC/100mL		
		Coliformes fecales	Coliformes totales	Bacterias heterotróficas
1	Mesa vibradora	1,74E+02	8,40E+02	2,86E+05
2	C. de vigilancia. av. Insurgentes	4,40E+02	8,91E+02	2,03E+05
3	Dirección de teatro y danza	2,50E+02	1,31E+04	4,92E+05
4	Comedor anexo ingeniería	9,36E+02	7,29E+03	3,68E+05
5	Vivero alto (caseta de cloración)	9,29E+03	1,70E+04	1,86E+05
6	Mesa vibradora (taller)	3,43E+04	9,00E+04	3,27E+05
7	Subdirección de medicina deportiva	2,59E+05	1,23E+06	4,56E+06
8	Gimnasio	3,11E+05	4,14E+05	9,54E+05
9	Registro aspirantes (publico)	4,30E+05	5,63E+05	9,61E+05
10	Posgrado de odontología (ala sur)	9,20E+05	2,98E+06	4,16E+06
11	Caseta de vigilancia estadio olímpico	1,07E+06	3,48E+06	5,56E+06
12	Posgrado de odontología (ala norte)	1,20E+06	1,97E+06	4,78E+06
13	Sala Netzahualcóyotl	2,85E+06	2,87E+06	3,89E+06
14	Canchas futbol	4,36E+06	7,64E+06	1,30E+07
15	Caseta de vigilancia metro universidad	1,26E+07	1,90E+07	2,17E+07

Estos resultados se pueden apreciar gráficamente en la figura 10; en la mayoría de las plantas se encuentra un número muy elevado de microorganismos tanto de coliformes fecales, totales y de bacterias heterotróficas, aunque para estas dos últimas especies de bacterias no se reportan límites máximos permisibles en las normas, la cantidad de ellas es muy considerable.

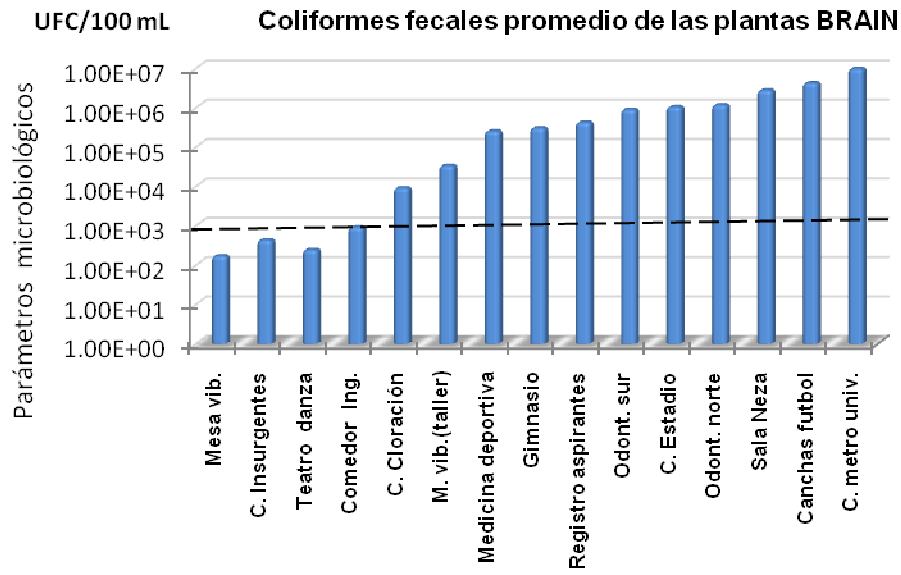


**Figura 10.** Promedio de los parámetros microbiológicos del efluente de las plantas BRAIN

Los resultados obtenidos muestran que del agua tratada que se genera en las 15 plantas, ninguna cumple con lo especificado al inicio de su operación (300 UFC/mL). La más baja carga de coliformes fecales se encuentra en las primeras cuatro (figura 11) que es alrededor de 1000UFC/100mL y son las que se encuentran ubicadas en:

- ❖ Mesa vibradora
- ❖ Caseta de vigilancia de av. Insurgentes
- ❖ Dirección de teatro y danza
- ❖ Comedor anexo de Ingeniería

Lo que tienen en común estas plantas, es que tienen poca afluencia de personas, a excepción del comedor anexo de Ingeniería, pero se deduce que en este sitio en específico se utilizan con frecuencia detergentes y desinfectantes que se encuentran en el agua residual cruda que llega a la planta, por lo que estarían inhibiendo cierta cantidad de bacterias.



**Figura 11.** Distribución de los coliformes fecales en el efluente de las plantas BRAIN

La mayor contaminación del efluente evaluada en función de las bacterias indicadoras coliformes fecales es de  $1.26E+07$  UFC/100mL que se presenta en la planta ubicada en la caseta de vigilancia de metro universidad, sin embargo en las otras diez plantas también se observa un gran número de microorganismos indicadores de contaminación, lo que nos indica que estas plantas no están funcionando correctamente y por lo tanto se está corriendo el riesgo de que exista una posible contaminación microbiana en los mantos acuíferos.

La primera evaluación del funcionamiento de estas plantas se realizó una vez concluidas la construcción de la obra civil y la instalación de las unidades de tratamiento; se iniciaron los trabajos de verificación de la calidad del agua tratada en el año de 1997.

Se determinó la calidad del efluente mediante muestreos y caracterización (Mancebo *et al.*, 1997) solo en aquellas instalaciones que tuvieran un funcionamiento típico, ya que en el momento de la entrega de las instalaciones había algunas plantas que no estaban recibiendo agua residual o la recibían en muy poca cantidad, los parámetros que se midieron en ese entonces fueron en su mayoría fisicoquímicos y los coliformes fecales fueron los que determinaron la contaminación por patógenos.



Únicamente se tienen los datos de este último parámetro en tres plantas de tratamiento estos se muestran en la tabla-6.

**Tabla-6** Comparación de los coliformes fecales en tres plantas de tratamiento

Instalación	Coliformes fecales UFC/100mL	
	Datos	
	1997	2008
Teatro y Danza	110	250
Gimnasio	100	311,000
Posgrado Odontología Norte	100	1,200,000

Las conclusiones a las que llegaron Mancebo y colaboradores en el año 1997 con respecto a la evaluación del funcionamiento de las plantas de tratamiento BRAIN son que las instalaciones de tratamiento seleccionadas entregaron agua residual tratada de acuerdo con especificaciones, en condiciones adecuadas para su disposición final mediante infiltración al terreno, disminuyendo el riesgo potencial de contaminación al acuífero de la Zona Metropolitana del Valle de México.

Con los resultados obtenidos recientemente, el enunciado anterior no es válido para las quince plantas de tratamiento si se toma en cuenta el parámetro inicial que se estableció de 300UFC/100mL, tampoco se podría aplicar la NOM-015-CONAGUA-2007 pues esta exige que no deben de detectarse coliformes fecales.

Cabe mencionar que solo se están tomando en cuenta los parámetros microbiológicos en este trabajo, los parámetros fisicoquímicos se encuentran reportados en “Diagnóstico fisicoquímico del agua para reuso en Ciudad Universitaria, UNAM” (Silva, 2009); donde se indica de igual forma que la mayoría de las plantas no cumplen con las especificaciones iniciales ni con la normatividad vigente respecto a los fisicoquímicos.

El por qué no están funcionando correctamente las instalaciones se debe a que, el mantenimiento de las plantas ha sido muy poco y no se han llevado a cabo las recomendaciones del contratista, las cuales especificaron: la limpieza de la rejilla quincenalmente, retiro de los lodos acumulados de la fosa séptica y del biorreactor



anaerobio cada seis meses por lo menos, para que no hubiera un aumento en la concentración de sólidos suspendidos totales en los efluentes y para el caso de las instalaciones de 10 y 15 m<sup>3</sup>/d , el único insumo requerido era administrar hipoclorito de sodio al 13 % para proporcionar una dosificación de 15 ppm a la cámara de contacto de cloro cada 28 días. Adicionalmente se recomendó (dadas las características de los sistemas), que se implementara una rutina de lavado de los filtros de arena (con agua o aire a presión), con el fin de evitar la saturación de los mismos. Al parecer todas estas acciones no se han llevado a cabo y en consecuencia se tienen los resultados obtenidos, un riesgo potencial de contaminación al acuífero de la Zona Metropolitana del Valle de México.

## 9.2 Calidad microbiológica del agua de reuso para riego en la cisterna central de “Las Islas”

La NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-SEMARNAT-1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminación para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, se tomó en cuenta para saber si el agua de reuso de CU cumple con lo establecido en esta normatividad mexicana. Los límites máximos permisibles que establece (tabla-7), dependen del reuso que se le dé al agua.

**Tabla-7** Límites máximos permisibles de contaminantes dependiendo del reuso

TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL NOM-003-SEMARNAT-1997				
	Coliformes Fecales NMP/100mL	Huevos de helminto h/L	Grasas y Aceites mg/L	DBO <sub>5</sub> mg/L	SST mg/L
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	≤1	15	20	20
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCACIONAL	1000	≤5	15	30	30





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

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

Los parámetros que se tomaron en cuenta para evaluar el agua, en este trabajo son los que se establecen para el reuso con contacto directo.

Se realizaron dos análisis preliminares en el mes de agosto, cabe señalar que durante ese mes el agua estaba estancada y no se estaba utilizando para el riego por aspersión ya que estaba presente la temporada de lluvias y durante esa temporada no es necesario regar; los resultados de este análisis se efectuaron como estudios previos, con el fin de tener una idea del ambiente microbiológico del lugar. Los resultados obtenidos (tabla-8) para estos dos análisis, se encontraron fuera de lo que indica la norma.

A partir de noviembre la cisterna se volvió a llenar de agua, proveniente de la PTARCU y comenzó el riego de las áreas verdes. La figura 12 muestra como el número de UFC/100mL de coliformes fecales disminuyó notablemente a partir del tercer muestreo, que fue en el inicio del riego, posteriormente el número de microorganismos se eleva considerablemente muy por arriba de los límites máximos permisibles.



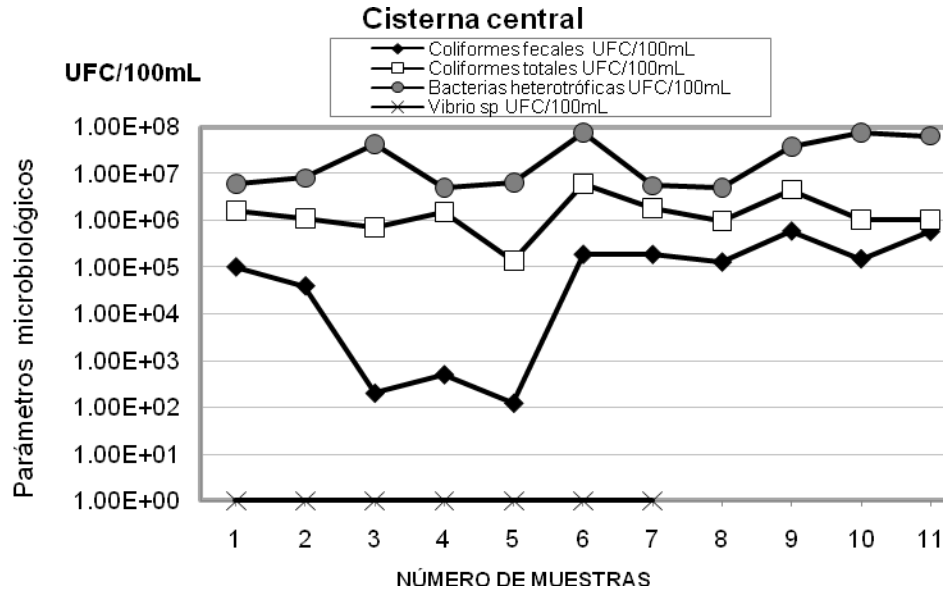
Únicamente los muestreos No. 3, 4 y 5 cumplen con la calidad de agua requerida para el reuso con contacto ocasional, pero no se cumple para el reuso con contacto directo que es lo que se requiere.

**Tabla-8** Análisis microbiológico de la cisterna central de “Las Islas”

Fecha	Muestreo #	UFC/100mL			
		Coliformes fecales	Coliformes totales	Bacterias heterotróficas	<i>Vibrio sp.</i>
14-Ago-08	1	1.02E+05	1.60E+06	6.00E+06	N.D
28-Ago-08	2	4.00E+04	1.12E+06	8.00E+06	N.D
21-Nov-08	3	<b>200</b>	7.00E+05	4.20E+07	N.D
25-Nov-08	4	<b>500</b>	1.54E+06	4.90E+06	N.D
04-Dic-08	5	<b>122</b>	1.40E+05	6.40E+06	N.D
09-Feb-09	6	1.90E+05	6.00E+06	7.50E+07	N.D
12-Feb-09	7	1.89E+05	1.83E+06	5.50E+06	N.D
16-Feb-09	8	1.30E+05	9.60E+05	5.00E+06	-----
20-Feb-09	9	6.00E+05	4.50E+06	3.70E+07	-----
24-Feb-09	10	1.52E+05	1.04E+06	7.50E+07	-----
26-Feb-09	11	5.90E+05	1.03E+06	6.30E+07	-----

N.D = No Detectado

----- = No se realizó



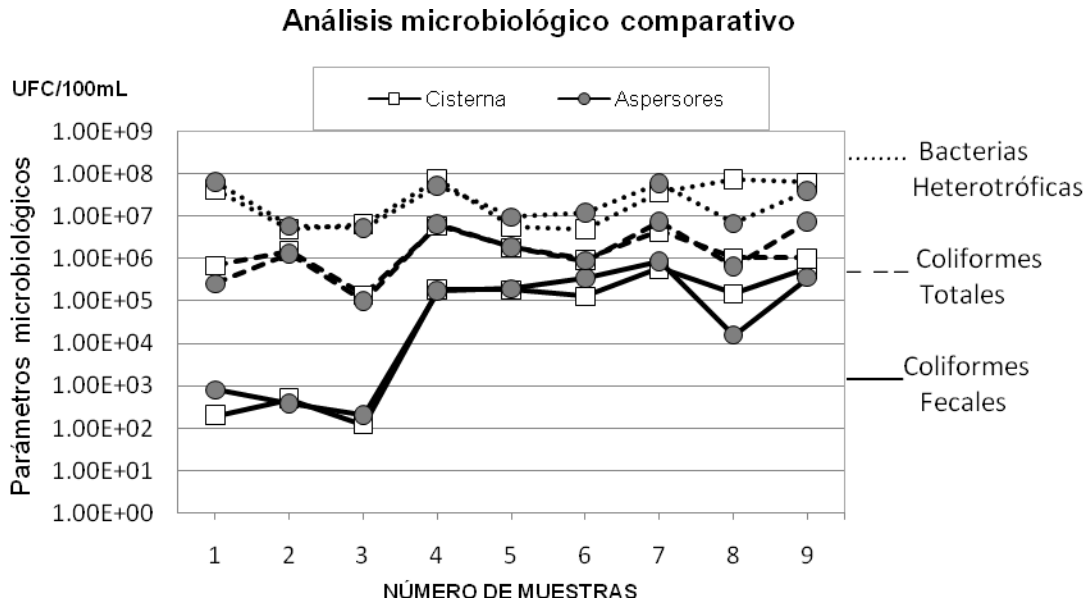
**Figura 12.** Análisis microbiológico de la cisterna central de “Las Islas”

Los resultados obtenidos por lo tanto, no cumplen con una calidad de agua necesaria para el reuso en servicios al público con contacto directo ni para servicios al público con contacto indirecto u ocasional; esto tal vez, debido a que en el proceso de desinfección de la planta de tratamiento, la dosificación existente de cloro es menor a la requerida para proporcionar la calidad esperada.

También es importante mencionar que se debe de drenar la cisterna periódicamente, pues se tiene un número muy grande de coliformes totales y bacterias heterotróficas (figura 12), de esta manera se evitará la reinfestación del agua ya clorada; el personal de jardinería mencionó que la cisterna tiene dos años que no se lava; además, será necesario que se realice un reajuste de la dosificación de cloro en la PTARCU.

No se detectó a el género *Vibrio sp* (tabla-8) en siete muestreos realizados, por lo tanto ya no se realizaron las cuatro últimas determinaciones.

Los estudios que se realizaron en la zona de riego al tomar agua directamente de los aspersores, se efectuaron para ver si existía alguna diferencia con el agua que se encuentra en la cisterna.



**Figura 13.** Comparación de parámetros microbiológicos entre la cisterna central y aspersores

La figura 13 muestra claramente que los resultados son muy semejantes, entre cada grupo de bacterias analizado, solo se aprecian ligeras diferencias esporádicamente, esto se puede atribuir a que en ocasiones en las tuberías se puede encontrar cierta carga microbiana que aumenta la cuenta de bacterias en el momento del riego, a pesar de ello, el agua tratada utilizada en el riego, no cumple con lo especificado en la NOM-003-SEMARNAT-1997 respecto a los contaminantes patógenos.

Con respecto a la contaminación por parásitos (tabla-9) el agua si cumple, con los límites máximos permisibles que se mencionan en la tabla-7, ya que no se cuantifico ningún huevo de helminto en las muestras.

**Tabla-9** Determinación de huevos de helminto en la cisterna central

Muestreo	Huevos de helminto/L
20-02-09	0
24-02-09	0
26-02-09	0



### 9.3 Determinación de bioaerosoles que se pueden distribuir por aspersión en el sistema de riego de “Las Islas”

La supervivencia y distribución de microorganismos aerobiológicos, en una zona de riego, están moduladas por la calidad del agua con la que se esté irrigando, así como de factores climatológicos. Para identificar a los microorganismos que se pueden distribuir por aspersión, se realizó el monitoreo del aire.

El flujo de aire que succiona el equipo se mantiene constante durante el muestreo, por lo tanto, el volumen de aire es igual al tiempo de exposición en minutos. De esta manera el número total de UFC se divide entre el tiempo de muestreo y los resultados se expresan en unidades formadoras de colonias por metro cúbico de aire.

$$\text{Flujo de aire constante: } Q = 28.3 \frac{L}{\text{min}} = \frac{1 \text{ pie}^3}{\text{min}}$$

$$\frac{\text{Num total de colonias}}{\text{Tiempo muestreado}} = \text{UFC} / \text{pie}^3$$

Para el primer dato se tiene:

$$\frac{245 \text{ UFC}}{10 \text{ min}} = 24.5 \text{ UFC} / \text{pie}^3$$

Convirtiendo a  $\text{m}^3$

$$24.5 \frac{\text{UFC}}{\text{pie}^3} \left( \frac{35.33 \text{ pie}^3}{\text{m}^3} \right) = 865.6 \frac{\text{UFC}}{\text{m}^3}$$

Se realizaron cinco muestreos (tabla-10) con el Equipo Andersen a dos alturas diferentes y al ras del suelo.



**Tabla-10** UFC/m<sup>3</sup> de aire en “Las Islas” en el momento del riego por aspersion

Identificación de	Altura (cm)	UFC/m <sup>3</sup> de aire					
		Muestreo					
		02-dic-08	04-dic-08	08-dic-08	Altura (cm)	09-feb-09	12-feb-09
Bacterias heterotróficas	Suelo	<b>865.7</b>	<b>397.7</b>	<b>480.5</b>	94	<b>639.5</b>	<b>802.1</b>
	115	<b>583.0</b>	<b>166.0</b>	<b>180.2</b>	115	<b>356.9</b>	<b>533.5</b>
Coliformes totales	Suelo	<b>141.3</b>	N.D	N.D	94	N.D	N.D
	115	<b>60.0</b>	N.D	N.D	115	N.D	N.D
Coliformes fecales	Suelo	N.D	N.D	N.D	94	N.D	N.D
	115	N.D	N.D	<b>2.1</b>	115	N.D	N.D

N.D =No detectado

En todos los muestreos realizados hubo desarrollo en el medio TSA y solo en una ocasión en los medios para CT y CF, en este último solo se desarrollo 1 UFC en el medio de cultivo.

La mayor cantidad de carga microbiana se encuentra cerca del suelo o a la altura de 94cm, debido a que las partículas viables, tienden a sedimentar por la acción de las fuerzas gravitacionales (Sánchez *et al.*, 2006) y será de acuerdo a su tamaño y peso el tiempo que permanecen en el aire.

En el primer muestreo, se colocó al equipo a una distancia cercana al aspersor, incluso en el tiempo de exposición, el equipo y el medio de cultivo se impregnaron con un poco de agua con la que se estaba regando, como es sabido el agua ya trae cierta carga microbiana, por eso se observan resultados altos en comparación de los otros, que se hicieron ya más alejados y fue únicamente en este primer muestreo que se detectaron coliformes totales, tal vez estas bacterias que crecieron en el medio fue por que se encontraban en el agua y no precisamente dispersas en el aire.



Para los siguientes monitoreos entonces, se colocó el equipo Andersen a una distancia donde ocasionalmente y por efecto del viento, la brisa del agua le llegara, ya que las personas que pasen por el lugar, en el momento del riego, están en contacto con esta y no directamente con el agua.

Los resultados posteriores de diciembre muestran un número de UFC/m<sup>3</sup> más reducido, mientras que los que se hicieron en febrero revelan un aumento considerable en el ambiente, estos resultados son consecuencia de que en febrero se incremento el número de microorganismos en el agua y por consiguiente esta alza se ve reflejada en el aire.

Una vez que ya se tienen estos resultados, a continuación se muestran (tabla-11) las UFC/m<sup>3</sup> del monitoreo del aire en “Las Islas”, cuando no se estaba regando

**Tabla-11** UFC/m<sup>3</sup> de aire en “Las Islas” cuando no se está regando

Las	Identificación de	Altura cm	UFC/m <sup>3</sup> de aire			
			08-Dic- 08	Altura cm	09-Feb-09	12-Feb-09
	Bacterias heterotróficas	Suelo	<b>60.0</b>	94	<b>84.8</b>	<b>123.6</b>
		115	<b>24.7</b>	115	<b>42.4</b>	<b>53.0</b>
	Coliformes fecales	Suelo	N.D	94	N.D	N.D
		115	N.D	115	N.D	N.D
	Coliformes totales	Suelo	N.D	94	N.D	N.D
		115	N.D	115	N.D	N.D

bacterias que se encuentran en el ambiente en la zona de “Las Islas” desarrollaron únicamente en el medio TSA y de igual forma se localizan más UFC, a la altura mínima donde se colocó el equipo.

Comparando los resultados de las tablas-10 y 11 se observa que el número de UFC/m<sup>3</sup> de aire, aumenta en la hora del riego ya que cuando no está presente la irrigación el número de UFC/m<sup>3</sup> es bajo en el ambiente.



Por el momento no existe una norma con límites permisibles para microorganismos en el aire, como ya se explicó en el marco teórico. Los resultados que se han obtenido se comparan con el sistema de clasificación de contaminación microbiana propuesta por Boutin en 1987. Como se muestra en la tabla-12.

**Tabla 12.** Límites según P. Boutin para partículas biológicas aerotransportables

UFC/ m <sup>3</sup>	CLASIFICACIÓN
0-200	No contaminado
201-800	Ligeramente contaminado
801-2500	Contaminado
2501-8000	Muy contaminado
Más de 8000	Fuertemente contaminado

De acuerdo a esta clasificación el aire en “Las Islas”, en el momento del riego se encuentra ligeramente contaminado y se hace mención que cuando se está regando en la zona, aumenta el número de microorganismos en el aire.

Teniendo ya el número de UFC/m<sup>3</sup> de aire en la zona de riego se dio paso a la identificación de estas bacterias.

Las cajas del medio TSA contenían diferente morfología colonial, que indican la presencia de diferentes tipos de bacterias, estas fueron las colonias que se seleccionaron y se aislaron para su tipificación (tabla-13). Solo en una ocasión hubo crecimiento en los medios para coliformes fecales y totales y se utilizaron estas para su identificación.





**Tabla-13** Microorganismos identificados en el ambiente en la zona de riego de “Las Islas”

<b>Bacterias heterotróficas</b>	<b>Coliformes fecales</b>	<b>Coliformes totales</b>
<i>Staphylococcus sp</i>	<i>Delftia acidovorans</i>	<i>Aeromonas sp</i>
<i>Staphylococcus sciuri</i>	<i>Cedecea lapagei</i>	<i>Vibrio fluvialis</i>
<i>Staphylococcus auricularis</i>	<i>Enterobacter agglomerans</i>	<i>Aeromonas hydrophila</i>
<i>Staphylococcus saprophyticus</i>	<i>Cedecea lapagei</i>	
<i>Staphylococcus cohnii</i>		
<i>Micrococcus sp.</i>		
<i>Bacillus sp</i>		
<i>Pseudomonas sp</i>		
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>		
<i>Enterobacter agglomerans</i>		
<i>Delftia acidovorans</i>		
<i>Vibrio damsela</i>		

En la tabla-14 se exponen los microorganismos que ya han sido reportados en la literatura así como la enfermedad que ocasionan y en la tabla-15 se muestran los microorganismos que algunos investigadores han detectado en zonas de riego por aspersión con aguas residuales tratadas.

En ambas tablas se marca en negritas las bacterias que se encontraron en la zona de “Las Islas”.

**Tabla-14** Microorganismos de importancia médica que se pueden transmitir por aspersión

Microorganismo	Enfermedad
<i>Aerobacter (Enterobacter aerogenes)</i>	Infecciones urinarias
<b><i>Bacillus</i></b>	<i>B. anthracis</i> produce el ántrax humano y animal
	<i>B. cereus</i> produce intoxicación alimentaria
<i>Escherichia coli</i>	Diarrea
<i>Klebsiella</i>	<i>K. pneumoniae</i> produce cuadros neumónicos
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Tuberculosis
<i>Proteus</i>	Infecciones urinarias



**Tabla-14** Continuación Microorganismos de importancia médica que se pueden transmitir por aspersión

<b><i>Pseudomonas</i></b>	Infecciones del tracto urinario, del tracto respiratorio y septicemia
<i>Salmonella</i>	Fiebre tifoidea y gastroenteritis
<i>Shigella</i>	Disenteria bacilar
<b><i>Staphylococcus</i></b>	Acné, forúnculos, neumonía, meningitis y artritis.

(Gerardi y Zimmerman, 2005)

De acuerdo a la información de la literatura, resumida en las tablas 14 y 15, coinciden con esta investigación, cuatro géneros de bacterias encontrados en “Las Islas”.

- a) *Bacillus sp.*
- b) *Pseudomonas sp.*
- c) *Staphylococcus sp.* y
- d) *Enterobacter sp.*

**Tabla-15** Identificación de microorganismos en zonas de riego

Microorganismo	País	Fuente
<b>Coliformes</b> <i>Klebsiella sp.</i>	Arizona, Estados Unidos	Bausum <i>et al.</i> 1976. Bacterial aerosols resulting from spray irrigation with wastewater.
<i>Escherichia coli</i> <b>Coliformes totales</b> <i>Echovirus</i>	Jerusalem, Israel	Teltsch y Katzenelson, 1978. Airborne enteric bacteria and viruses from spray irrigation with wastewater.
<i>Poliovirus</i> Coxsackievirus <i>Enterovirus</i>	Texas, Estados Unidos	Moore <i>et al.</i> 1979 Procedure for the recovery of airborne human enteric viruses during spray Irrigation of treated wastewater.
<b>Coliformes</b> <i>Salmonella Ohio</i> <i>Poliovirus,</i> <i>Echovirus,</i> <i>Coxsackievirus</i>	Israel	Teltsch <i>et al.</i> 1980. Isolation and identification of pathogenic microorganisms at wastewater-Irrigated fields: ratios in air and wastewater



**Tabla-15** *Continuación* Identificación de microorganismos en zonas de riego

<b>Coliformes fecales</b> <i>Streptococcus fecales</i>	Estados Unidos	Bausum <i>et al.</i> 1982. Comparison of coliphage and bacterial aerosols at a wastewater spray irrigation site.
<b><i>Pseudomonas sp.</i></b> <b><i>Enterobacter sp.</i></b> <i>Escherichia coli</i> <i>Klebsiella sp.</i>	Alemania	Ahmed <i>et al.</i> 1984. Pathogen distribution in waste water sprinkler irrigation.
<i>Escherichia sp.</i> <b><i>Pseudomonas sp.</i></b>	Baja California, México	Paez <i>et al.</i> 2005. Source bioaerosol concentration and rRNA gene-based identification of microorganisms aerosolized at a flood irrigation wastewater reuse site

Cabe mencionar que se identificaron las especies *Vibrio damsela* y *Vibrio fluvialis*, estas bacterias como se verá más adelante no forman parte de la flora habitual de “Las Islas”, entonces su presencia en el aire, tuvo que ser originado por el agua con que se riega, sin embargo cuando se realizaron los análisis microbiológicos del agua no se detecto a el género *Vibrio sp.* en siete muestreos realizados, lo conveniente tal vez hubiera sido utilizar otra técnica de cultivo y no filtración por membrana para determinar esta especie en el agua tratada o tal vez probar con otro medio de cultivo, también se podría haber abarcado más tiempo en el análisis de las cajas, obtenidas del monitoreo del aire sin riego, para cerciorarse de que estas especies bacterianas efectivamente no forman parte del ambiente habitual de “Las Islas”.

Los microorganismos encontrados en el ambiente cuando no se estaba regando son los siguientes:

*Bacillus sp.*

*Staphylococcus auricularis*

*Micrococcus sp.*

*Enterobacter agglomerans*

Para la identificación de estas bacterias se tomaron en cuenta las que crecieron en el medio TSA, ya que en los otros medios no hubo crecimiento. Como era de esperarse



estos microorganismos identificados, se encuentran dentro de los que se aislaron cuando se estaba regando, ya que son flora habitual del ambiente de “Las Islas”.

Se hizo una revisión bibliográfica de los bioaerosoles mostrados en la tabla-13; para saber si alguno de estos es patógeno y ver si al entrar en contacto con las vías respiratorias, pueda existir un riesgo para la salud de los universitarios en la zona de riego.

#### Género ***Staphylococcus sp.***

Los estafilococos son bacterias esféricas grampositivas, con diámetro de 0.7 a 1.2  $\mu\text{m}$ , habitualmente dispuestas en racimos irregulares, parecidos a racimos de uvas, crecen con rapidez sobre muchos tipos de medios y son metabólicamente activos, fermentan carbohidratos y producen pigmentos que varían desde el color blanco hasta el amarillo intenso. Algunos son miembros de la flora normal de la piel y mucosas de los humanos; otros causan supuración, formación de absceso, varias infecciones piógenas, e incluso septicemia mortal.

El género *Staphylococcus* contiene al menos 30 especies. Las tres de importancia clínica son *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* y *Staphylococcus saprophyticus* (Brooks *et al.* 1999).

Especie ***Staphylococcus sciuri*** se encuentra en una amplia gama de hábitats, que incluye la piel de varios animales, así como reservorios ambientales como tierra, arena, agua y muebles, generalmente se ha aislado en granjas de animales, en mascotas y animales salvajes, así como de distintos alimentos de origen animal. La impresionante capacidad de colonizar de esta especie, puede ser el resultado de su amplia gama de actividades bioquímicas, que incluye la capacidad de utilizar las sales de nitrógeno inorgánico como la única fuente de nitrógeno (Couto *et al.*, 2000).

Aunque está principalmente asociada con los animales, también puede colonizar a los seres humanos y se ha estimado que pueden constituir del 0.79 a 4.3% del número total de estafilococos coagulasa negativos aislados de muestras clínicas (Stepanovic *et al.*, 2004).



Especie ***Staphylococcus auricularis*** fue aislada del oído externo (meato auditivo externo) del humano (Kloos y Schleifer, 1983). Se puede encontrar en el agua e infecta ocasionalmente la piel, pocas veces se le relaciona con infecciones de oído.

Especie ***Staphylococcus saprophyticus*** es coagulasa negativo, anaerobio facultativo, no formador de cápsula, no formador de spora e inmóvil. Posee la enzima ureasa y es capaz de adherirse a las células epiteliales del tracto urogenital, es de origen extrahospitalario y es causa relativamente común de infecciones del aparato urinario en mujeres jóvenes. Por lo regular es sensible a la penicilina y los demás betalactámicos (Capdevila *et al.*, 1998).

Especie ***Staphylococcus cohnii*** se encuentra comúnmente en la piel y el tracto gastrointestinal de personas sanas; tiene una gran habilidad para adherirse a las células epiteliales y a varias superficies como plástico, vidrio y acero. Es un patógeno oportunista poco frecuente para los seres humanos que puede causar infecciones hospitalarias y en la comunidad (Martínez y Máttar, 2006).

#### Género ***Micrococcus sp.***

Son cocos grampositivos que miden de 0,5 a 3,5  $\mu\text{m}$  de diámetro y por lo general dispuestos en tétradas o grupos irregulares. Son generalmente aerobios estrictos. Los *Micrococcus* son especies oxidasa-positivos, esta característica puede ser usada para distinguirlas de otras bacterias como la mayoría de las especies de *Staphylococcus*, que generalmente son oxidasa negativos.

La especie más conocida es *M. luteus*, esta se puede encontrar en muchos lugares, como la piel humana, el agua, el polvo y el suelo. Los *Micrococcus* son generalmente considerados como bacterias inofensivas, pero ha habido casos raros de infecciones por *Micrococcus* en personas con sistemas inmunes comprometidos, como ocurre con pacientes con VIH (Brooks *et al.*, 1999).



---

### Género *Bacillus sp.*

Incluye bacilos aerobios grandes, grampositivos, que forman cadenas. Pueden formar esporas y por lo tanto la capacidad de sobrevivir en el ambiente durante muchos años. Casi todos los miembros de este género son organismos saprofitos prevalentes en el suelo, agua aire y sobre la vegetación como el *Bacillus cereus* y el *Bacillus subtilis*. Algunos son patógenos de insectos. El *B. cereus* puede desarrollarse en los alimentos y producir una enterotoxina o una toxina emética y causar envenenamiento alimentario. En ocasiones estos microorganismos producen enfermedad en humanos inmunodeficientes. El *B. anthracis* causante del ántrax es el principal patógeno de este género y puede ser el agente principal en la guerra biológica (Brooks *et al.*, 1999).

### Género *Pseudomonas sp.*

Son bacilos gramnegativos aerobios y dotados de motilidad, algunos producen pigmentos hidrosolubles se distribuyen ampliamente en el suelo, agua, plantas y animales. Se han descrito cepas capaces de adquirir resistencia a metales pesados, disolventes orgánicos y detergentes, lo cual les permite explotar una amplia gama de fuentes de carbono como nutrientes, así como colonizar ambientes y nichos que difícilmente son colonizables por otros microorganismos. Se considera a las bacterias del género *Pseudomonas* un paradigma de versatilidad metabólica, y microorganismos claves en el reciclado de materia orgánica en los compartimentos aeróbicos de los ecosistemas, jugando, por tanto, un papel esencial en la mejora y el mantenimiento de la calidad medioambiental. Además de su uso en biodegradación las especies del género *Pseudomonas* se emplean en distintos procesos industriales, tales como la fabricación de bioplásticos o en técnicas de biocontrol (Soberón, 2002). Las *Pseudomonas*, por ser bacterias hidrófilas, han estado involucradas en otitis externa en particular asociada al agua, como es el caso del oído de nadador crónico o aquellas provocadas por la inserción de objetos penetrantes en el oído. La *Pseudomona aeruginosa* a veces coloniza al humano y es el principal patógeno humano del grupo.

Especie *Pseudomonas aeruginosa* se distribuye extensamente en la naturaleza y es común en ambientes húmedos de los hospitales; es un patógeno oportunista humano, más comúnmente afecta a los inmunosuprimidos, tales como aquellos con fibrosis



quística o SIDA. Estas infecciones pueden afectar a muchas partes del cuerpo, pero típicamente afectan las vías respiratorias, causando 50 % de las pulmonías bacterianas nosocomiales. El tratamiento de dichas infecciones puede ser difícil debido a la frecuente y repetitiva resistencia antibiótica (Brooks *et al.*, 1999).

#### Género *Enterobacter sp.*

Son bacterias gramnegativas facultativamente anaeróbicas de la familia de las Enterobacteriaceae. Forma parte de la flora intestinal normal, se les aísla en heces, aguas negras, suelo y agua dulce. Puede causar infecciones oportunistas en huéspedes comprometidos, generalmente hospitalizados. La especie más sobresaliente es *Enterobacter aerogenes* que causa preferentemente infección del tracto urinario y del tracto respiratorio (Brooks *et al.*, 1999).

Especie *Enterobacter agglomerans* actualmente *Pantoea agglomerans*, es un bacilo gram negativo, que causa fundamentalmente infecciones nosocomiales, aunque también se han descrito casos de meningitis neonatal y de artritis séptica. Puede crecer en medios ricos en glucosa, por lo que ocasionalmente produce infecciones relacionadas con la infusión intravenosa de sueros, que pueden originar brotes de bacteriemia en los hospitales. Se ha referido un aumento de las resistencias de este microorganismo a los antibióticos betalactámicos (Muñoz, 2006).

#### Género *Delftia sp.*

Bacterias gramnegativas, estrictamente aerobias de la familia Comamonadaceae. Se reportan dos especies *D. acidovorans* *D. tsuruhatensis*.

Especie *Delftia acidovorans* también es llamada *Comamonas acidovorans* es un bacilo gramnegativo aerobio se considera generalmente como un organismo ambiental en el suelo y agua y como no patógeno. Rocco y Knutson, (2005) reportaron el primer caso de infección sistémica, en un paciente que no se encontraba inmunosuprimido. A pesar de esto y otros casos en los que si a afectado a pacientes inmunosuprimidos, todavía se considera un patógeno inusual que rara vez se recupera de muestras clínicas.



### Género *Vibrio sp.*

Los vibriones se encuentran entre las bacterias más comunes en aguas poco profundas en todo el mundo. Son bacilos aerobios curvos entre 2 y 3  $\mu\text{m}$  de largo, dotados de motilidad que poseen un flagelo polar. El serogrupo O1 del *V. cholerae* y los vibriones relacionados producen una enterotoxina que causa el cólera en humanos, una diarrea acuosa profusa que conduce rápido a deshidratación y muerte (Brooks *et al.*, 1999). Los vibriones importantes desde el punto de vista médico se muestran en la tabla-16.

**Tabla-16** Vibriones de importancia médica

Microorganismo	Enfermedad en los humanos
<i>V. cholerae</i> , serogrupos O1 y O139	Cólera epidémica y pandémica
<i>V. cholerae</i> , serogrupos no O1/no O139	Diarrea similar a cólera; diarrea leve; pocas veces infección extraintestinal.
<i>V. parahaemolyticus</i>	Gastroenteritis, quizá infección extraintestinal.
<i>V. mimicus</i> , <i>V. vulnificus</i> , <i>V. hollisae</i> , <i>V. fluvialis</i> , <i>V. damsela</i> , <i>V. anginolyticus</i> <i>V. metschnikovii</i>	Infecciones del oído, de heridas, tejidos blandos y otras infecciones extraintestinales, todas son poco comunes.

(Brooks *et al.*, 1999)

Especie *Vibrio damsela* es una bacteria halófila, asociada con infecciones de heridas en los seres humanos, es un patógeno oportunista que también puede causar enfermedades en animales, especialmente en peces. Se ha aislado del agua de mar y de animales marinos, debido a esto se refuerza la advertencia sobre la manipulación de estos animales, en la pesca, que debe ser con cautela para no sufrir lesiones punzocortantes y que posteriormente haya heridas que puedan sufrir infecciones por esta bacteria (Fouz *et al.*, 1993).

Especie *Vibrio fluvialis* es un halófilo, su hábitat más común es el medio marino en comparación con otros vibrios. Se ha implicado en casos esporádicos de infección gastrointestinal con cuadros de diarrea acuosa, vómitos, dolores abdominales y deshidratación grave, se sigue reportando que no es un enteropatógeno frecuente; se





ha señalado que la enterotoxina que posee difiere de la toxina colérica en el receptor, modo de acción y antigenicidad (Mira y García, 1998).

#### Género ***Cedecea* sp.**

Son bacilos gramnegativos que pertenecen a la familia Enterobacteriaceae, se han determinado 5 especies: *Cedecea davisae* y *C. lapagei* fueron nombrados en 1981, *C. neteri* en 1982, las otras dos especies no han sido identificadas. Son una causa importante de procesos infecciosos, con mayor relevancia en el ambiente hospitalario, debido a su patrón de resistencia a algunos antimicrobianos. Su aislamiento de los hospitales ha sido cada vez más frecuente, siendo de gran importancia en la etiología de las infecciones (Antunes *et al.*, 2003).

Especie ***Cedecea lapagei*** hay poca información respecto a esta especie, pero se tiene reportado infecciones e incluso neumonías en pacientes inmunosuprimidos (Yetkin *et al.*, 2008). Es susceptible a una amplia gama de antimicrobianos.

#### Género ***Aeromonas* sp.**

Son bacilos cortos gramnegativos, todas las especies excepto *A. salmonicida* y *A. media* son móviles gracias a un flagelo polar y son aerobios facultativos. Los miembros de este género producen varias exoenzimas como: proteasas, DNasas, RNasas, elastasas, lecitinasas, amilasas, gelatinasas y lipasas, entre otras, muchas de ellas consideradas factores de virulencia.

Los patógenos más importantes son *A. hydrophila*, *A. caviae* y *A. veronii*. Las dos principales enfermedades asociadas con este género son: la gastroenteritis y las infecciones de heridas, con o sin bacteremia. Además causan: enfermedades sistémicas oportunistas en pacientes inmunodeprimidos, enfermedades diarreicas en individuos por lo demás sanos e infecciones en heridas.

Estos microorganismos considerados autóctonos del medio acuático se encuentran ampliamente diseminados en hábitats naturales como suelo, agua potable, aguas negras, aguas contaminadas, ríos, lagos y mar. Este hecho es significativo, ya que se han descrito varios casos de infecciones primarias o secundarias de heridas



superficiales o cutáneas después del contacto con agua contaminada con *Aeromonas* (Castro *et al.*, 2002).

Especie ***Aeromonas hydrophila*** es una bacteria heterotrófica gramnegativa, habita principalmente en zonas con clima cálido, puede sobrevivir en entornos aerobios y anaerobios, esta bacteria es la más conocida de las especies de *Aeromonas*, es difícil de eliminar porque es una bacteria muy resistente, incluso al cloro, la refrigeración o temperaturas frías. Se considera un patógeno oportunista. También se asocia con enfermedades principalmente en los peces y los anfibios, porque estos organismos viven en ambientes acuáticos.

Una de las enfermedades que pueden causar en los seres humanos es la gastroenteritis. Esta enfermedad puede afectar a cualquier persona, pero ocurre en la mayoría de los niños pequeños y las personas que tienen el sistema inmunológico comprometido o problemas de crecimiento (Brooks *et al.*, 1999).

De acuerdo a la información anterior, los bioaerosoles patógenos que se dispersan en el momento del riego, en la zona de “Las Islas” son:

- ❖ *Staphylococcus saprophyticus*
- ❖ *Pseudomonas aeruginosa*
- ❖ *Vibrio damsela*
- ❖ *Vibrio fluvialis*
- ❖ *Aeromonas hydrophila*

Las demás especies encontradas, no se consideran patógenas, sin embargo se tiene que pensar como ya se menciona antes: en las concentraciones del agente biológico, la vía de entrada y la resistencia del huésped, es decir, el grado de integridad de sus sistemas defensivos.

## 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El agua residual tratada que se genera en Ciudad Universitaria y que se emplea en la recarga de acuíferos y en el riego de áreas verdes, no cumple con la calidad microbiológica que se desea, por lo tanto, las plantas de tratamiento BRAIN no están operando satisfactoriamente y posiblemente se este corriendo el riesgo de contaminar el acuífero subterráneo, por otro lado, se puede afectar la salud de la comunidad universitaria, debido a que hay aerosoles patógenos que se dispersan en la zona de riego.

Aunque las plantas BRAIN no se instalaron para cumplir la NOM-015-CONAGUA-2007, se debe de tener en cuenta que es la normatividad vigente para recarga de acuíferos, por lo que se le debe de adicionar otro sistema de tratamiento al agua y de esta manera se pueda cumplir con las norma mexicana.

Los bioaerosoles que se pueden distribuir por aspersion en el sistema de riego de aguas residuales de Ciudad Universitaria y que fueron identificadas en el análisis de siete muestras, como especies patógenas fueron:

- ❖ *Staphylococcus saprophyticus*
- ❖ *Pseudomonas aeruginosa*
- ❖ *Vibrio damsela*
- ❖ *Vibrio fluvialis*
- ❖ *Aeromonas hydrophila*

No se logró identificar a las bacterias del género *Vibrio sp.* en el agua tratada de la cisterna central de “Las Islas”.

Se determinó la contaminación por patógenos y parásitos en el agua tratada de la cisterna central, de acuerdo a las especificaciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, se obtuvieron en 6 muestras resultados no satisfactorios para los patógenos, pues sobrepasaron los límites máximos permisibles (240 UFC/100mL) para su reuso con contacto directo. En cuanto a la contaminación por parásitos se



obtuvieron resultados satisfactorios, ya que no se encontraron huevos de helminto en las muestras de agua.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda dar el mantenimiento correspondiente a las plantas de tratamiento BRAIN, hacer la evaluación oportuna a cada una para definir las reparaciones que se requieran y también se les debe adicionar un sistema de tratamiento que proporcione un efluente con la calidad que especifica la NOM-015-CONAGUA-2007, Infiltración artificial de agua a los acuíferos.- Características y especificaciones de las obras y del agua.

También es importante llevar a cabo perfeccionamientos en los proceso de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Ciudad Universitaria, para que en los análisis posteriores, los resultados se encuentren dentro de lo que marca la normatividad mexicana.

De esta manera se podrá proteger la salud pública y el ambiente al descargar agua residual tratada, se disminuirá el potencial de contaminación a la recarga del acuífero de la Ciudad de México y se seguirá ahorrando el consumo de agua potable mediante su reúso en el riego de las áreas verdes.



---

## 11. BIBLIOGRAFÍA

1. Antunes M., y Campos G. (2004) Incidence and resistance profile of *Cedecea* sp. isolated from hospital. [http://www.formatex.org/biomicroworld2007/virtual/htm/865\\_archivos/frame.htm](http://www.formatex.org/biomicroworld2007/virtual/htm/865_archivos/frame.htm) Consultado 13-03-09.
2. Babbit H. (1983) Sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas negras. Editorial Limusa, México. 881pp.
3. Bausum H., Schaub S., Kenyon K. y Small M. (1982) Comparison of coliphage and bacterial aerosols at a wastewater spray irrigation site. *Applied and Environmental Microbiology* 43:28–38.
4. Bausum H., Schaub S., Small M., Highfill J. y Sorber C. (1976) Bacterial aerosols resulting from spray irrigation with wastewater. Technical Report 7602, US Army Medical Bioengineering Research and Development Laboratory, Environmental Protection Research Division, Fort Detrick, Frederick, Md. 273-280.
5. Brooks G., Butel J. y Morse S. (1999) Microbiología médica de Jawetz, Melnick y Adelberg. Editorial el Manual Moderno, México. 899pp.
6. Capdevila M., Almirante G., Pigrau S. y Pahissa B. (1998) Infecciones por estafilococo. Servicio de Enfermedades infecciosas. Hospital Vall d'Hebrón. Universidad Autónoma de Barcelona. [http://www.sepeap.es/libros/MEDICINE\\_98/Artikulu/m7803.pdf](http://www.sepeap.es/libros/MEDICINE_98/Artikulu/m7803.pdf) Consultado 10-03-09.
7. Castro E., Aguilera A., Giono C., Hernández R., Rodríguez C., Soler F., Aparicio O. y Figueras S. (2002) El género *Aeromonas*. ¿Un patógeno importante en México? *Enfermedades Infecciosas y Microbiología* 22:206-216.



8. Constans A., Alonso R. y Martí M. (1998) Estaciones depuradoras de aguas residuales: riesgo biológico. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. España. [http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp\\_473.htm](http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_473.htm) Consultado 12/11/2008.
9. Couto I., Santos S., Sá-leão R. y Lencastre H. (2000) Molecular characterization of *Staphylococcus sciuri* strains isolated from Humans. *Journal of Clinical Microbiology*. 38:1136-1143.
10. Cox C. y Wathes C. (1995) "Bioaerosols Handbook". Lewis Publishers. New York. 623pp.
11. Custodio E. (1983) Hidrología subterránea, segunda edición. Tomo 2. Capítulos 18 y 19 Ediciones Omega S.A Barcelona.
12. Fattal B., Wax Y., Davies M. y Shuval H.I. (1986) Health risks associated with wastewater irrigation: an epidemiological study. *American Journal of Public Health* 76:977-979.
13. Fouz B., Barja J., Amaro C., Rivas C. y Toranzo A. (1993) Toxicity of the extracellular products of *Vibrio damsela* isolated from diseased fish. *Current Microbiology*. 27:341-347.
14. Gerardi, M. y Mel C. (2005) Wastewater Pathogens. Wastewater Microbiology Series. Ed. Wiley Interscience. 111-117.
15. Hernández C. (2007) Contaminantes biológicos: criterios de valoración. Centro Nacional de Condiciones de trabajo. <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/>



- Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp\_409.pdf  
Consultado 15-11-08.
16. Hernández L., Guash y S. y Cortez P. (1998) Comentarios Sobre el Plan Maestro de Agua Potable 1995-2000. *Agua y Saneamiento*. 1(3):11-18.
17. Katzenelson E., Buium L., y Shuval H.I. (1976) Risk of communicable disease infection associated with wastewater irrigation in agricultural settlements. *American Association for the Advancement of Science* 194:944-946.
18. Khuder S., Tammy A., Bisesi M., y Schaub E. (1998) Prevalence of infectious diseases and associated symptoms in wastewater treatment workers. *American Journal of Industrial. Medicine*. 33:571–577.
19. Kloos W. y Schleifer K. (1983) *Staphylococcus auricularis* sp. nov. : an inhabitant of the human external ear *International Journal of Systematic Bacteriology* 33:9-14.
20. Laitinen S., Kangas J., Kotimaan M., Liesivuori J., Martikainen P., Nevalainen A., Sarantila R., y Husman K.. (1994) Workers exposure to airborne bacteria and endotoxins at industrial waste-water treatment plants. *American Industrial Hygiene Association Journal* 55:1055–1060.
21. Martínez P. y Máttar S. (2006) Posible aislamiento clínico de *Staphylococcus cohnii* resistente a vancomicina. Universidad de Córdoba, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Instituto de Investigaciones Biológicas del Trópico, Montería Colombia. 10:175-177.
22. Mancebo C., Ortega C., Sámano C. y Noyola R. (1997) Ahorro y reuso de agua mediante tratamiento *in situ* en el campus universitario de la UNAM, Coordinación de Bioprocesos Ambientales del Instituto de Ingeniería de la



- UNAM. <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsaidis/mexico11/ar-37.pdf>  
Consultado 05-10-08.
23. Mara D. y Cairncross S. (1990) Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsair/e/repindex/rep84/vleh/fulltext/acrobat/leon.pdf> Consultado 08-01-09.
24. Melbostad E., Wijnand E., Skogstad A., Sandven P., Lassen L., Sostrand P. y Heldal K. (1994) Exposure to bacterial aerosols and work-related symptoms in sewage workers. *American Journal of Industrial Medicine* 25:59–63.
25. Metcalf y Eddy. (1996) Ingeniería de las aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. 3ª Edición Volúmenes 1 y 2. Mc. Graw Hill. México.
26. Mira G. y García M. (1998) Vibrios de origen marino en patología humana. *Revista AquaTIC*. <http://www.revistaaquatic.com/aquatic/art.asp?t=h&c=22>  
Consultado 14-03-09.
27. Mohr A. (2002) Fate and transport of microorganisms in air. En: “Manual of Environmental Microbiology”, 2<sup>nd</sup> Edition ASM Press, Washington, 827-838.
28. Muñoz R., Sánchez M., Barranco M. y Martín A. (2006) Bacteriemia por *Pantoea agglomerans*. *Anales de Medicina Interna*. Madrid. 23(5): 250-251.  
[http://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S0212-71992006000500015&script=sci\\_arttext](http://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S0212-71992006000500015&script=sci_arttext) Consultado 14-03-09.
29. NADF-003-AGUA-2002 Que establece las condiciones y requisitos para la recarga en el distrito federal por inyección directa de agua residual tratada al acuífero de la zona metropolitana de la Ciudad de México. Publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 26 de Marzo de 2004.





- 
30. NMX-AA-003-1980 Aguas residuales.- Muestreo. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de Marzo de 1980.
31. 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. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de Agosto de 2006.
32. NMX-AA-113-SCFI-1999 Análisis de agua - determinación de huevos de helminto - método de prueba. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de agosto de 1999.
33. NOM-003-SEMARNAT-1997. Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de septiembre de 1998.
34. NOM-014-CNA-2003 Requisitos para la recarga artificial de acuíferos. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 07 de Agosto de 2009.
35. NOM-015-CONAGUA-2007 Infiltración artificial de agua a los acuíferos.- Características y especificaciones de las obras y del agua. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 18 de Agosto de 2009.
36. Noyola R. y Morgan S. (2004) Planta de Pretratamiento de Aguas Residuales en Ciudad Universitaria/UNAM con control de olores: Un Desarrollo Tecnológico en Aplicación. Asociación interamericana de ingeniería sanitaria y ambiental (AIDIS).  
<http://www.agualatinoamerica.com/docs/PDF/050604Residuales.pdf>  
Consultado 24/11/08.



- 
37. Organización Mundial de la Salud (1990) Indoor air quality: Biological contaminants, Report on a WHO Meeting, Rautavaara, Finland, August 29-September 2, 1988. WHO Regional Publications, European Series No. 31, Copenhagen.
38. Paez R., Viau E., Romero H. y Peccia J. (2005) Source bioaerosol concentration and rRNA gene-based identification of microorganisms aerosolized at a flood irrigation wastewater reuse site. *Applied and Environmental Microbiology* 71: 804-810.
39. Pérez Q. (2000) Puesta en operación de una planta de tratamiento de aguas residuales en Ciudad Universitaria. Facultad de Química, UNAM. Tesis de Licenciatura. México 88pp
40. Pescod M. (1992) Wastewater treatment and use in agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (Irrigation and drainage paper 47).
41. Rocco J. y Knutson E. (2005) *Delftia acidovorans* bacteremia in an intravenous drug abuser. *American Journal of Infectious Diseases*. 2:73-75.
42. Rodríguez C. y Orona C. (1990) Los sistemas de riego por aspersión en el cultivo de alfalfa en el Norte de México. Centro Nacional Planta-Atmósfera. [http://www.bvsde.paho.org/bvsatp/de\\_Investigacion\\_Disciplinaria\\_En\\_la\\_Relacion\\_Agua-Suelo-fulltext/lagunera.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsatp/de_Investigacion_Disciplinaria_En_la_Relacion_Agua-Suelo-fulltext/lagunera.pdf) Consultado 04/Feb/09.
43. Rosas I., Cravioto A. y Ezcurra E. (2004) Microbiología ambiental. Instituto Nacional de Ecología. Programa Universitario del Medio Ambiente-UNAM. 137pp.



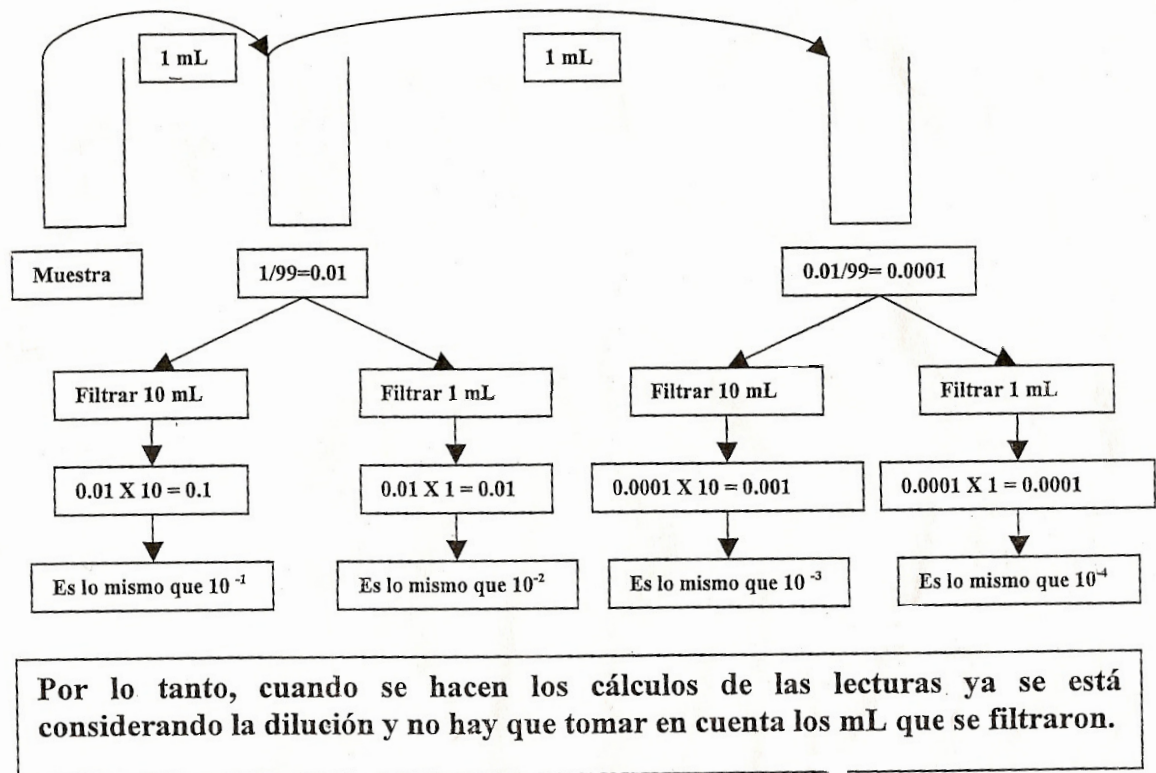
- 
44. Sánchez M., Aguilar M., Fenoll R. y Roig A. (2007) Generación de bioaerosoles en estaciones depuradoras de aguas residuales. *Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY*. 11-1 pp.37-42, ISSN: 1665-529X.
45. Sánchez M., Roig A., Cayuela M. y Stentiford E. (2006) Emisión de bioaerosoles asociada a la gestión de residuos orgánicos. *Revista Ingeniería*, 10-1, pp. 39-47. ISSN: 1665-529X.
46. Silva S. (2009) Diagnostico fisicoquímico del agua para reuso en Ciudad Universitaria. Facultad de Química, UNAM. Tesis de Licenciatura. México 106pp.
47. Soberón G. (2002) Pseudomonas aeruginosa. Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México <http://www.biblioweb.dgsca.unam.mx/libros/microbios/Cap3/> Consultado 12-03-09.
48. Sorber C. y Guter K. (1975) Health and hygiene aspects of spray irrigation. *American Journal of Public Health* 65:47-52.
49. Sorber C., Bausum H., Schaub S. y Small M. (1976) A study of bacterial aerosols at a wastewater irrigation site. *Journal. Water Pollution. Control Federation*. 48: 2367-2379.
50. Shuval H., Wax Y., Yekutieli P. y Fattal B. (1989) Transmission of enteric disease associated with wastewater irrigation: a prospective epidemiological study. *American Journal of Public Health* 79: 850-852.
51. Stanford G. y Tuburan R. (1974) Morbidity risk factors from spray irrigation with treated wastewater. In Wastewater use in the production of food and fiber, proceedings, EPA 660/2-74-041, U.S. *Environmental Protection Agency, Washington, D.C.* 26:56-64.



- 
52. Stepanovic S., Dakic I., Morrison D., Hauschild T., Vukovic D., Shittu A. y Devriese L. (2004) Identification and Characterization of Clinical Isolates of Members of the *Staphylococcus sciuri* Group. *Journal of Clinical Microbiology*. 43:956-958.
53. Stetzenbach L. (2002) Introduction to aerobiology. En: "Manual of Environmental Microbiology", 2nd Edition ASM Press, Washington, 801-813.
54. Teltsch B. y Katzenelson E. (1978) Airborne enteric bacteria and viruses from spray irrigation with wastewater. *Applied and Environmental Microbiology*. 35:290-296.
55. Teltsch B., Kedmi S., Bonnet L., Borenzstajn R. y Katzenelson E. (1980) Isolation and identification of pathogenic microorganisms at wastewater-irrigated fields: ratios in air and wastewater. *Applied and Environmental Microbiology* 39:1183-1190.
56. Villa O. (2000) Estudios preliminares para la localización de planta de tratamiento de aguas residuales en la zona de los GEOS de Ciudad Universitaria. Facultad de Ingeniería, UNAM. Tesis de Licenciatura. México. 136pp.
57. World Health Organization. (2006) Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Vol.2 Wastewater use in agriculture. 191pp.
58. Yetkin G., Ay S., Kayabas U., Gedik E., Güçlüer N. y Caliskan A. (2008) A pneumonia case caused by *Cedecea lapagei*. *Mikrobiyoloji bülteni* 42:681-684.

## ESQUEMA DE DILUCIONES

La metodología que se siguió para diluir las muestras, tomadas del efluente de las plantas BRAIN y de la cisterna central se presenta a continuación:



**Figura-14** Esquema de diluciones

El medio de dilución se preparó de la siguiente manera:

Solución patrón A

Fosfato monopotásico ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) 34g

Agua destilada 500mL

Preparación: Disolver el fosfato monopotásico en 500mL de agua destilada, ajustar el pH a 7.2 con hidróxido de sodio 1N completar el volumen a 1 litro de agua destilada.

Solución patrón B

Sulfato de magnesio ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) 50g

Agua destilada 1000mL

Preparación: Disolver el sulfato de magnesio en 1L de agua destilada.

Preparación del agua de dilución:

Agregar 1.25mL de la solución patrón A de fosfato monopotásico y 5mL de la solución patrón B de sulfato de magnesio a un litro de agua destilada. Distribuir en frascos cantidades que aseguren un volumen de 100mL, luego de esterilizar durante 15min. a 121 °C.

Para determinar las UFC/100mL en cada medio utilizado, se realizaron los siguientes cálculos, por ejemplo:

Para el muestreo de la cisterna central del 09-Feb-09 Para la determinación de coliformes fecales se realizó la dilución  $10^{-1}$  de acuerdo con la figura 14 se filtraron 10mL de esta dilución. Después de la incubación se contaron 190 colonias por lo que se tienen

$190 \times 10^1$  UFC/1mL ó lo que es lo mismo  $1.90 \times 10^3$  UFC/1mL de muestra.

De acuerdo a la norma, pide que se reporte en UFC/100mL por lo tanto se tienen

$1.90 \times 10^5$  UFC/100mL



**ARCHIVO FOTOGRÁFICO**



**Figura-15** Muestreo en la cámara de agua tratada de una PTAR BRAIN



**Figura-16** Cámara de cloro de la planta BRAIN de Odontología ala sur



**Figura-17** Falta de mantenimiento planta BRAIN Odontología ala norte



**Figura-18** PTAR BRAIN ubicada en la Dirección de teatro y danza



**Figura-19** Cámara de agua tratada de la planta BRAIN C. vigilancia estadio Olímpico



**Figura-20** PTAR BRAIN ubicada en las canchas de fútbol "pumitas"

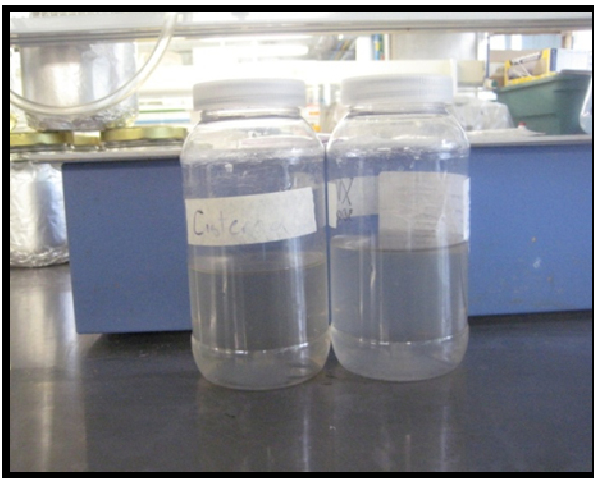




**Figura-21** Muestras de agua tratada de las 15 plantas BRAIN



**Figura-22** Cisterna central de "Las Islas"



**Figura-23** Muestras de agua tratada para riego de la cisterna central y de un aspersor



**Figura-24** Riego por aspersión con agua tratada en "Las Islas"

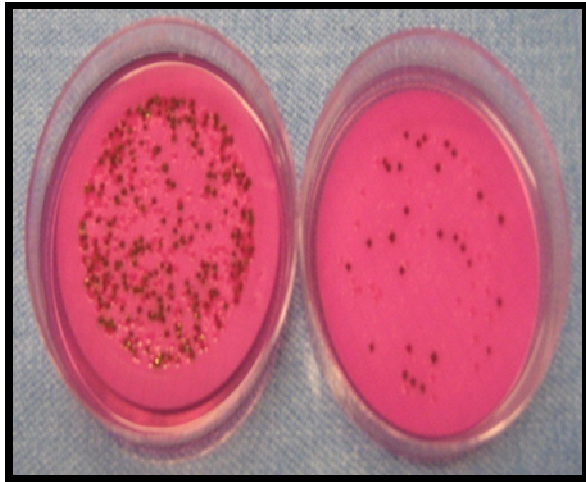


**Figura-25** Equipo Andersen de una etapa

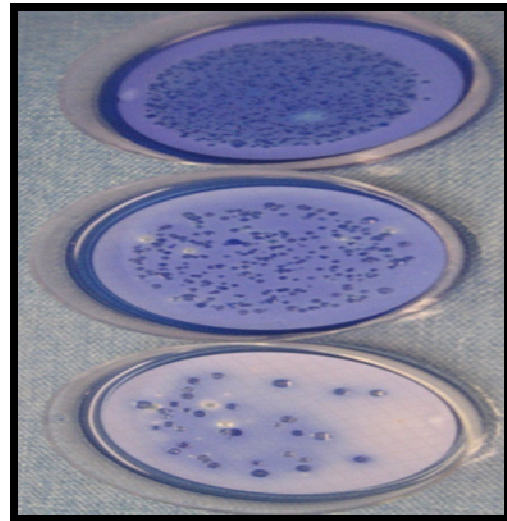


**Figura-26** Monitoreo del aire en el momento del riego

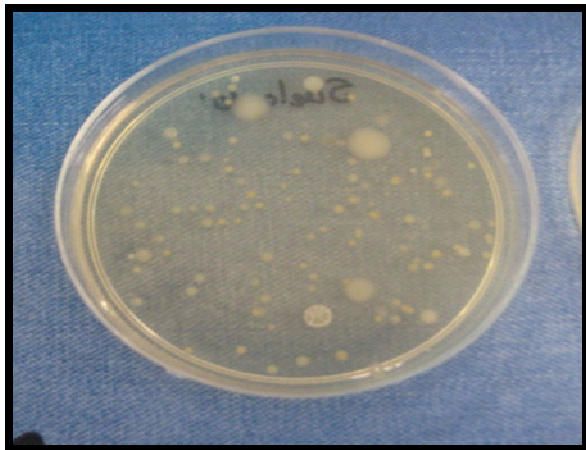




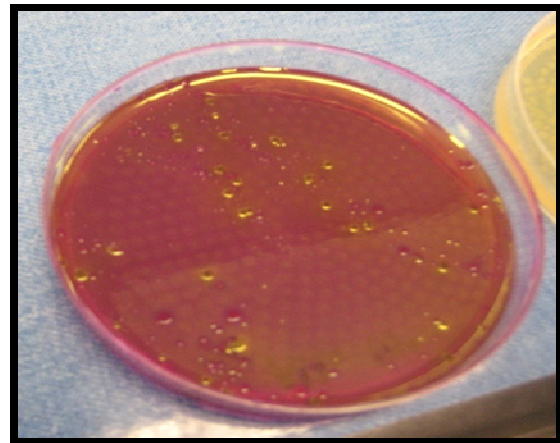
**Figura-27** UFC de CT en Agar m Endo Les por la técnica filtración de membrana



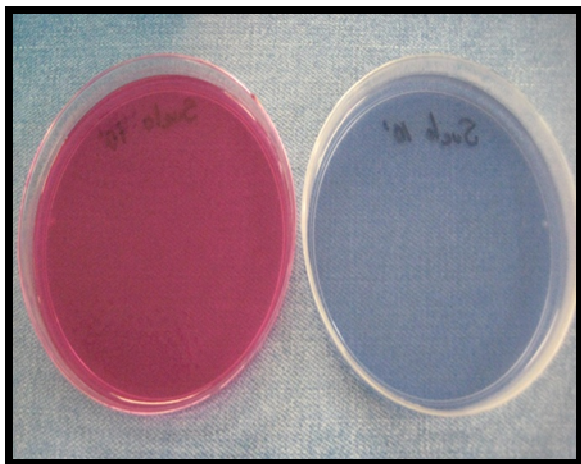
**Figura-28** Diluciones en Agar m FC para la cuenta de UFC de coliformes fecales



**Figura-29** UFC en TSA utilizando el equipo Andersen



**Figura-30** UFC de CT utilizando el equipo Andersen



**Figura-31** Medios de cultivo para CT y CF sin crecimiento