

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**



**Determinación de la densidad bacteriana de coliformes fecales y salmonella en un cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L.) var. Champion regado con diferentes efluentes, bajo condiciones de invernadero.**

**Por:**

**ROSIBEL RAMÍREZ TORRES**

**TESIS**

**Presentada como Requisito Parcial para  
Obtener el Título de:**

**INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA**

**Saltillo, Coahuila, México**

**Octubre de 2011**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

Determinación de la densidad de bacterias coliformes fecales y salmonella en un cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L.) var. Champion regado con diferentes efluentes, bajo condiciones de invernadero.

TESIS

Presentada Por:

**ROSIBEL RAMÍREZ TORRES**

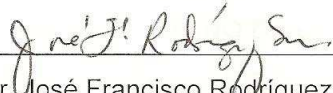
Que somete a consideración del H. Jurado Examinador, como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA**

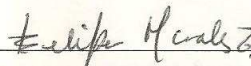
Aprobada



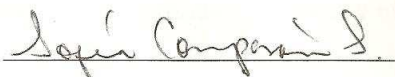
Dra. Silvia Yudith Martínez Amador  
**Asesor Principal**



Dr. José Francisco Rodríguez Martínez  
**Asesor**



M.C. Felipa Morales Luna  
**Asesor**



MC. Sofía Comparán Sánchez  
**Asesor**



Dr. Leobardo Bañuelos Herrera  
**Coordinador de la División de Agronomía**



Saltillo, Coahuila, México.

Coordinación  
División de Agronomía  
Octubre 2011

## **DEDICATORIA**

### ***A MIS PADRES:***

#### **MANUEL RAMÍREZ CAYETANO Y MA. PEREGRINA TORRES GAMBOA**

Con todo el respeto y amor, por el gran apoyo que me brindaron durante toda mi formación, por el gran sacrificio y esfuerzo realizado para apoyarme a alcanzar satisfactoriamente mis objetivos y recibirme como Ing. en Agrobiología. Gracias por depositar su confianza en mí, se los agradeceré toda la vida, especialmente dedicada para ustedes.

### ***A MIS HERMANOS:***

#### **RAMIRO, YESSICA ESMERALDA, JUAN MANUEL, FERNANDO, HERNAN Y HERLINDA.**

Con mucho cariño y amor para todos ustedes que a pesar de la distancia y al ser menores que yo, siempre me dieron ánimos de seguir adelante, gracias a todos ustedes, por creer en mí.

### ***A MIS ABUELITOS:***

#### **VICENTE RAMIREZ BARRON (+)**

Para ti mi querido y adorado abuelito que siempre estarás conmigo, gracias por apoyarme incondicionalmente, por sus grandes y sabios consejos que me han servido y seguirán conmigo durante toda mi vida. Yo sé que aun que no esté aquí físicamente, esta y seguirá estando aquí en mi corazón por siempre.

#### **EULALIA CAYETANO DE LA CRUZ**

Para mi querida abuelita que siempre me ha apoyado en los momentos buenos y malos de la vida, pero gracias a ti he aprendido a luchar y esforzarme para cumplir mis sueños y seguir adelante.

#### **JUAN TORRES HERNANDEZ (+)**

Gracias por cuidarme y protegerme en cada uno de mis momentos difíciles que he enfrentado en la vida.

#### **MARIA ISABEL GAMBOA NORIEGA**

A ti mi querida abuelita que siempre me das tus buenas bendiciones y me deseas lo mejor en cada paso que doy, gracias por tener a unos abuelitos tan buenos que siempre estarán en mi corazón y mente.

## **AGRADECIMIENTOS**

### ***A DIOS***

Que siempre me ha dado la fuerza de crecer día a día, tanto en lo profesional como en lo personal y por ser la luz en mi camino, que siempre me impulsa a vencer todos los obstáculos y las adversidades que se me presentaron a lo largo del camino.

### ***A LA UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”***

Por recibirme, abrirme sus puertas y brindarme todas las facilidades en realizar mis estudios. Gracias por formarme profesionalmente y por generar en mí nuevos conocimientos. Pondré en alto a mi Alma Terra Mater y sobre todo demostrar que los buitres si valemos la pena, gracias a la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”.

### ***A MIS ASESORES:***

Dra. Silvia Yudith Martínez Amador por haberme apoyado en la elaboración de la tesis y por sus consejos muy sabios, por su dedicación al trabajo de investigación y apoyarme en momentos difíciles.

Al Dr. José Francisco Rodríguez Martínez, por contribuir en el desarrollo de esta investigación de tesis.

A la M.C. Sofía Comparán y a la M.C Felipa Morales Luna, por sus buenos consejos y revisión de mi trabajo de tesis.

### ***A MIS AMIGOS:***

Gracias a todos ustedes amigos que siempre estuvieron conmigo en cada uno de mis momentos difíciles y felices, siempre los recordare especialmente a ustedes mis queridos amigos: Lucina Gómez Pérez, Gabriel Bonifaz López, Rosa Gloria Rocha Flores, Olivia Ordoñez Barbosa y Antonia González Roblero.

A mis compañeras de cuarto # 2 del internado Hidalgo, que siempre estuvieron alegrándome los días, a todas ustedes las extrañare mucho ya que fueron y seguirán siendo mi familia: Alejandra, Claribel, Angelina Cruz, Sandra, Leticia, Angelina Díaz, Kennia y Maria del Rosario.

## INDICE GENERAL

CONTENIDO	
DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
INDICE GENERAL.....	III
INDICE DE CUADROS.....	VI
INDICE DE FIGURAS.....	VII
RESUMEN.....	VIII
I. INTRODUCCION.....	1
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
Hipótesis.....	4
II. REVISION DE LITERATURA.....	5
2.1 Generalidades.....	5
2.1.1 Aguas residuales.....	5
2.1.2 Clasificación de las aguas residuales.....	5

2.2 Características de las aguas residuales domésticas.....	6
2.3 Aguas residuales aplicadas en la agricultura.....	7
2.3.1 Aguas residuales aplicadas en cultivos agrícolas a nivel mundial.....	8
2.3.2 Aguas residuales aplicadas en cultivos agrícolas en el país de México.....	9
2.4 Tratamientos de aguas residuales y potencialidad de reuso agrícola .....	10
2.4.1 Fundamentos del tratamiento de aguas residuales.....	11
2.4.2 Tratamiento de aguas residuales domésticas por aerobiosis.....	12
2.4.3 Tratamiento de aguas residuales domésticas por anaerobiosis.....	13
2.4.4 Parámetros de calidad para el uso de aguas residuales y marco normativo.....	14
2.4.5 Parámetros físicos.....	15
2.4.6 Parámetros químicos.....	17
2.4.7 Parámetros biológicos.....	18
2.4.8 Parámetros bacteriológicos.....	19
2.4.9 Normas oficiales mexicanas sobre calidad del agua.....	20
2.5. Aguas residuales aplicadas en riegos agrícolas.....	20

2.5.1 Analisis microbiológico de cultivos agrícolas regados con aguas residuales.....	21
III. MATERIALES Y METODOS.....	23
3.1. Descripción del sitio.....	23
3.2. Características climáticas.....	23
3.3.Procedimiento.....	23
3.3.1. Determinación de Bacterias Coliformes Fecales y <i>Salmonella</i> en el cultivo de rábano regados con los cuatro tratamientos de aguas.....	25
3.3.2. Determinación de Bacterias Coliformes Fecales y <i>Salmonella</i> en los cuatro tratamientos de aguas empleadas para el riego agrícola del cultivo de rábano.....	26
3.4. Diseño experimental.....	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
V. CONCLUSIONES.....	39
VI. LITERATURA CITADA.....	40

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Área agrícola (hectáreas) regada con aguas residuales en América Latina .....	9
Cuadro 2. Analisis de Varianza y comparación de medias de las unidades formadoras de colonias de bacterias coliformes fecales en el cultivo de rábano bajo diferentes aplicaciones de efluentes para riego.....	27
Cuadro 3. Analisis de Varianza y comparación de medias de las unidades formadoras de colonias de bacterias <i>Salmonella</i> en el cultivo de rábano bajo diferentes aplicaciones de efluentes para riego.....	28
Cuadro 4. Analisis de Varianza y comparación de medias de las unidades formadoras de colonias de bacterias coliformes fecales en los cuatro efluentes para riego.....	33
Cuadro 5. Analisis de Varianza y comparación de medias de las unidades formadoras de colonias de bacterias <i>Salmonella</i> en los cuatro efluentes para riego.....	34



## INDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Remoción de coliformes fecales y <i>salmonella</i> en el cultivo de rábano al aplicar los tratamientos de aguas.....	29
Fig. 2 Remoción de coliformes fecales y <i>salmonella</i> en el cultivo de rábano al aplicar los tratamientos de aguas.....	30
Fig. 3 Remoción de coliformes fecales y <i>salmonella</i> en el cultivo de rábano al aplicar los tratamientos de aguas.....	31
Fig. 4 Remoción de coliformes fecales y <i>salmonella</i> en los efluentes de aguas aplicadas al riego del cultivo.....	35
Fig. 5 Remoción de coliformes fecales y <i>salmonella</i> en los efluentes de aguas aplicadas al riego del cultivo.....	36
Fig. 6 Remoción de coliformes fecales y <i>salmonella</i> en los efluentes de aguas aplicadas al riego del cultivo.....	37

## RESUMEN

Se presentan los resultados obtenidos de una investigación realizada en condiciones de invernadero, la cual se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo; Coahuila, México. El objetivo fue evaluar: la densidad bacteriana de coliformes fecales y *Salmonella* en un cultivo de rábano regado con cuatro efluentes de aguas, bajo condiciones de invernadero y la calidad de los cuatro efluentes empleados al cultivo agrícola. El cultivo de rábano se estableció en un lote experimental bajo condiciones de invernadero regado con los efluentes y Agua Potable (testigo). A partir de la cosecha se realizaron las determinaciones bacterianas de coliformes fecales y *Salmonella* en los rábanos del muestreo realizado. Los resultados fueron que el análisis bacteriológico, determinó que el agua tratada por anaerobiosis puede usarse para regar cultivos que se consumen directamente, ya que cumple con los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-003-ECOL-1997. Mientras que los resultados del análisis bacteriológico del agua tratada por aerobiosis determinó que puede emplearse para riego agrícola donde sus productos no sean consumidos directamente o que dichos productos sean procesados para el consumo, ya que superó los límites máximos permisibles. De acuerdo con los resultados obtenidos, los rábanos pueden ser aceptables para consumo fresco, regados con agua residual doméstica tratada por anaerobiosis, mientras que al aplicar agua residual tratada por aerobiosis se cuantificó en los rábanos alta concentración bacteriana, así como también al aplicar agua residual doméstica sin tratar (UAAAN) produjo rábano con niveles altos. Por lo tanto; se recomienda el uso de aguas residuales domésticas tratadas por anaerobiosis el cual cumplió con los límites máximos permisibles en la NOM, pero disminuyó el rendimiento y calidad del cultivo, por otra parte el agua residual doméstica tratada por aerobiosis y agua residual doméstica sin tratar mejoraron la calidad del cultivo de rábano, determinando alta concentración bacteriana y superando los límites máximos de la NOM, por lo tanto el uso de estas aguas no es recomendable para riegos agrícolas de consumo en fresco.

**Palabras clave:** Rábano, efluente, riego, densidad bacteriana.

## I. INTRODUCCION

El cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L.) var. Champion tiene sus orígenes en la región mediterránea, mientras que los grandes rábanos pudieron originarse en Japón o China. Este cultivo es de gran importancia en el aspecto económico familiar ya que muchas familias los producen para su alimentación, por lo cual se debe considerar la calidad del agua con que estos cultivos son regados. Actualmente se tienen diagnosticado serios problemas de salud debido a la baja calidad del agua. Enfermedades como fiebre tifoidea, paratifoidea, salmonelosis, shigelosis, rotavirus y diarrea o diarrea hemorrágica (causada por *E. Coli*), son algunas de las enfermedades relativas al uso de agua residual en la región oriente del estado de México (Moreno, 2006). Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica. Normalmente las aguas residuales domésticas no son tan complejas como las aguas residuales de tipo industrial, donde pueden existir compuestos tóxicos y peligrosos (Levin y Gealt, 1997).

En investigaciones realizadas en análisis de cultivos agrícolas se determinó la presencia de coliformes fecales en tres cultivos, espinaca, epazote y acelga, lo que indica una clara presencia de contaminación por materia fecal en cada una de ellas. Esto las convierte en una fuente de propagación de enfermedades de origen bacteriano (Takayanagui *et al.*, 2001). En lechuga (*Lactuca sativa*) de la variedad Black Simpson y jitomate (*Lycopersicum sculentum*) de la variedad Rancho Grande, se determinó la presencia de bacterias coliformes en todas las muestras analizadas de lechuga, mientras que de acuerdo a las muestras analizadas del fruto de jitomate estos fueron aceptables ya que no se detectaron coliformes. Así como también para el caso del cultivo de tomate regado con agua residual promovió mayor pérdida de peso, incremento el pH y disminuyo la acidez titulable de los frutos. También, produjo mayor abundancia de licopeno en los estado de madurez verde maduro (Clemente, 2010). Mientras que (Navarro, 2010) demostró que el uso de agua residual en la producción de tomate rojo hidropónico produjo un efecto favorable en el color, contenido de sólidos solubles y acidez titulable del

fruto. Por lo tanto los frutos producidos con agua residual registraron un color más rojo. En México solo un bajo porcentaje de aguas residuales urbanas e industriales son tratadas adecuadamente. La mayor parte de las aguas residuales son utilizadas para riego agrícola sin un tratamiento previo, lo que representa un serio problema para la salud humana y animal, debido al alto contenido de materia orgánica e inorgánica contaminante (Jiménez, 2001).

Es necesario conocer la calidad sanitaria del agua empleada para riegos agrícolas, así como también la calidad de los frutos, debido a que actualmente se emplean aguas residuales sin tratamiento, generando productos contaminados como es el caso de bacterias coliformes fecales causando enfermedades al hombre al consumirlos. Por lo cual es de suma importancia conocer la densidad de bacterias coliformes fecales en cultivos regados con aguas residuales.

## **OBJETIVO GENERAL**

Determinar la densidad bacteriana de coliformes fecales y *Salmonella* en un cultivo de rábano regado con cuatro efluentes, bajo condiciones de invernadero.

## **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

1. Evaluar la densidad bacteriana de coliformes fecales y *Salmonella* en la raíz de un cultivo de rábano, regado con agua residual doméstica sin tratar, agua residual doméstica tratada por aerobiosis, agua residual doméstica tratada por anaerobiosis y agua potable, bajo condiciones de invernadero.
2. Determinar cuál de los cuatro efluentes producirá rábanos con menor densidad de bacterias coliformes fecales y *Salmonella* en la raíz del cultivo de rábano.

## **HIPOTESIS**

Al menos en alguno de los efluentes aplicados al riego agrícola del cultivo de rábano, se detectará una concentración de bacterias coliformes fecales y *Salmonella* por debajo del límite permisible que marca la NOM-ECOL-003-1997 de 1000 UFC/100 ml.

Al menos uno de los lotes del cultivo de rábano, presentará una concentración de bacterias coliformes fecales y *Salmonella* por debajo del límite permisible que marca la NOM-ECOL-003-1997 de 1000 UFC/100 ml.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Generalidades

#### 2.1.1 Aguas Residuales

Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias (Mara *et al.*, 1990) Según su origen, las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual (Mara *et al.*, 1990).

#### 2.1.2 Clasificación de las aguas residuales

- **Domésticas:** Son aquellas que se generan como producto de su utilización en las diversas actividades del hombre; provenientes de las viviendas, instituciones y establecimientos comerciales, las cuales han sido utilizadas para diferentes actividades de tipo doméstico y finalmente son descargadas al sistema de alcantarillado. Es decir son aquellas utilizadas con fines higiénicos (baños, cocinas, lavanderías, etc.). Consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas de la edificación, también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares (Mara *et al.*, 1990).
- **Industriales:** son líquidos generados en los procesos industriales. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria.
- **Infiltración y caudal adicionales:** las aguas de infiltración penetran en el sistema de alcantarillado a través de los empalmes de las tuberías, paredes de las tuberías defectuosas, tuberías de inspección y limpieza, etc. Hay

también aguas pluviales, que son descargadas por medio de varias fuentes, como canales, drenajes y colectores de aguas de lluvias.

- **Pluviales:** son agua de lluvia, que descargan grandes cantidades de agua sobre el suelo. Parte de esta agua es drenada y otra escurre por la superficie, arrastrando arena, tierra, hojas y otros residuos que pueden estar sobre el suelo. “Cada persona genera 1.8 litros de material fecal diariamente, correspondiendo a 113.5 gramos de sólidos secos, incluidos 90 gramos de materia orgánica, 20 gramos de nitrógeno, más otros nutrientes, principalmente fósforo y potasio.” (Mara *et al.*, 1990).

## **2.2 Características de las aguas residuales domésticas**

Las aguas residuales domésticas están constituidas en un elevado porcentaje (en peso) para agua, cerca de 99.9% y apenas 0.1% de sólidos suspendidos, coloidales y disueltos. Esta pequeña fracción de sólidos es la que presenta los mayores problemas en el tratamiento y su disposición. El agua es apenas el medio de transporte de los sólidos. En general las aguas residuales contienen contaminantes físicos, químicos y biológicos. Es una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos, suspendidos o disueltos en el agua. La mayor parte de la materia orgánica consiste en residuos alimenticios, heces, materiales vegetales, sales minerales y materiales diversos como jabones y detergentes sintéticos. Las proteínas son el principal componente del organismo animal, pero también están presentes en los vegetales. El gas sulfuro de hidrógeno presente en las aguas residuales proviene del Azufre de las proteínas.

Los carbohidratos son las primeras sustancias degradadas por las bacterias, con producción de ácidos orgánicos (por esta razón, las aguas residuales estancadas presentan una mayor acidez). Entre los principales ejemplos se pueden citar los azúcares, el almidón, la celulosa y la lignina (madera).

Los lípidos (aceites y grasas) incluyen gran número de sustancias que tienen, generalmente, como principal característica común la insolubilidad en agua, pero son solubles en ciertos solventes como cloroformo, alcoholes y benceno. Están siempre presentes en las aguas residuales domésticas, debido al uso de manteca,



grasas y aceites vegetales en cocinas. Pueden estar presentes también bajo la forma de aceites minerales derivados de petróleo, debido a contribuciones no permitidas (de estaciones de servicio, por ejemplo), y son altamente indeseables, porque se adhieren a las tuberías, provocando su obstrucción. Las grasas no son deseables, ya que provocan mal olor, forman espuma, inhiben la vida de los microorganismos y provocan problemas de mantenimiento. La materia inorgánica presente en las aguas residuales está formada principalmente de arena y sustancias minerales disueltas. El agua residual también contiene pequeñas concentraciones de gases disueltos. Entre ellos, el más importante es el oxígeno proveniente del aire que eventualmente entra en contacto con las superficies del agua residual en movimiento. Además, del Oxígeno, el agua residual puede contener otros gases, como dióxido de Carbono, resultante de descomposición de la materia orgánica, nitrógeno disuelto de la atmósfera, sulfuro de hidrógeno formado por la descomposición de compuestos orgánicos, gas amoníaco y ciertas formas inorgánicas del Azufre. Estos gases, aunque en pequeñas cantidades, se relacionan con la descomposición y el tratamiento de los componentes del agua residual.

### **2.3 Aguas residuales aplicadas en la agricultura**

La utilización de aguas residuales en áreas agrícolas proviene de los tiempos antiguos en Atenas; sin embargo, la mayor proliferación de sistemas de aplicación de aguas residuales en el suelo ocurrió durante la segunda mitad del siglo XIX, principalmente en países como Alemania, Australia, Estados Unidos, Francia, India, Inglaterra, México y Polonia (Parreiras, 2005).

Debido a la escasez de agua potable y al creciente incremento de aguas residuales, aunado a la alta tasa de generación de residuos y a la necesidad de satisfacer la demanda de alimentos sanos y nutritivos dentro del perímetro urbano, se vio la necesidad de aplicar métodos que en conjunto nos ayuden a plantear alternativas prácticas para satisfacer una de las necesidades básicas de México y del mundo como es la alimentación (Orta *et al.*, 2006).

El reuso de aguas residuales está definido como su aprovechamiento en actividades diferentes a las cuales fueron originadas. Los tipos y aplicaciones se clasifican de acuerdo con el sector o infraestructura que recibe el beneficio, siendo los principales: *el urbano*, que incluye irrigación de parques públicos, campos de atletismos, áreas residenciales y campos de golf; *el industrial*, en el que ha sido muy empleado durante los últimos años, en los sistemas de refrigeración de las industrias y *el agrícola*, en la irrigación de cultivos siendo el principal uso (Gutiérrez, 2003).

### **2.3.1 Aguas residuales aplicadas en cultivos agrícolas a nivel mundial**

Las aguas residuales son una importante fuente adicional para satisfacer la demanda del recurso. A causa de la disponibilidad limitada de agua potable para cubrir los requerimientos de las poblaciones.

Los bajos costos, el predominio del uso de aguas residuales crudas o diluidas con aguas superficiales y el bajo porcentaje de aguas residuales tratadas en Colombia y en los países de América Latina, generan riesgos en la salud pública, en especial cuando se utilizan para riego de cultivos para consumo directo. Para el reuso de las aguas residuales se aconseja realizar siempre un tratamiento preliminar y primario; el tratamiento secundario, además de remover de manera eficiente materia orgánica y sólidos suspendidos, influye directamente sobre la estructura de algunos compuestos, como los de nitrógeno, siendo importante tener en cuenta los requerimientos del cultivo a irrigar y el tipo de suelo. La irrigación de cultivos con aguas residuales ha sido usada en muchas partes del mundo, sin embargo, se ha comprobado que representan un peligro para la salud en humanos (Rivas *et al.*, 2003).

**Cuadro 1. Área agrícola (hectáreas) regada con aguas residuales en América Latina.**

<b>País</b>	<b>ha</b>
Argentina	3,070
Bolivia	1,200
Chile (*)	74,000
Colombia (*)	327, 000
México	350,000
Perú	5,100

(\*) Aguas residuales diluidas **(Ramos, 2007)**

**2.3.2 Aguas residuales aplicadas en cultivos agrícolas en México**

A nivel mundial, después de la República Popular de China, México es el segundo país que más agua residual emplea en actividades agrícolas. En América Latina, México es la nación que más hectáreas irriga con aguas servidas no tratadas (Garza, 2000). En el Distrito de Riego 03, Tula, México, las aguas residuales provenientes de la Ciudad de México se usan para riego agrícola desde hace 80 años, para este caso se estudiaron las tendencias de acumulación de metales pesados, las cuales representan riesgos bajo diferentes tiempos de riego. También se investigó la disponibilidad de esos metales pesados para los principales cultivos (alfalfa y maíz) comparando parcelas que han sido regadas durante 80 años con agua residual con aquellas en que ha sido empleada agua de pozo o que son de temporal. Se encontró que los metales introducidos a través del riego tienden a acumularse en la capa arable de los suelos mostrando después de 80 años concentraciones 3 a 6 veces mayores que en sitios con cultivo de temporal, aunque sin llegar aún a niveles críticos. La disponibilidad de Cd, Pb y Zn es moderada, no obstante su inclinación a incrementarse conforme aumentan los años de riego, siendo el Cd el que mayor incremento muestra. Por otra parte el Cu tiende a ser retomado por las plantas en menor cantidad, lo cual

se atribuye a su inmovilización por la materia orgánica adicionada a los suelos por medio del agua residual (Siebe, 1994). Mientras que en Pachuca, Hgo. en el Valle de Mezquital se realizaron aplicaciones de riegos usando aguas negras en los cultivos tales como maíz, frijol y trigo, hortalizas como jitomate, cebolla, col, cilantro, rábano y betabel, además de la cuarta parte de la alfalfa y todo el chile verde que se comercializa en el país (Cruz, 2011).

La autora del trabajo Aguas residuales para riego agrícola en México: el caso del distrito de riego 03 de Tula, encontró en sus investigaciones que cultivos de rábano, lechuga y acelga de invernadero, que fueron irrigados con agua residual cruda, tuvieron mejores rendimientos que aquellos en los que se utilizaron aguas blancas y tratadas. Lo anterior se debe a que las aguas negras contienen entre otros nutrientes nitrógeno y fósforo, aunque su calidad sanitaria sea mala y no cumpla con la norma oficial mexicana 001 de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), NOM-001-SEMARNAT-1996 que especifica los límites máximos permisibles de patógenos en aguas residuales. No es casualidad que en los indicadores del INEGI en materia de salud para Hidalgo en 2009, se registraron 115 mil 231 nuevos casos de infecciones intestinales y de amibiasis (Siebe, 1994).

#### **2.4 Tratamiento de aguas residuales y potencialidad de reuso agrícola**

El tratamiento de aguas residuales es necesario para la prevención de la contaminación ambiental y del agua, al igual que para la protección de la salud pública. Mientras que cada región tiene sus propias necesidades correspondientes a métodos de tratamiento particulares, cierto número de opciones tradicionales y modernas de tratamiento se encuentran disponibles al diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales. Es necesario hacer una evaluación del nivel óptimo de tratamiento requerido, al igual de una evaluación práctica de cuales métodos de tratamiento están dentro del presupuesto. En aquellas áreas donde no es factible construir plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales, podrían emplearse muchas otras opciones naturales de tratamiento. El manejo efectivo de aguas residuales debe dar como resultado un efluente ya sea reciclado

o reusable, o uno que pueda ser descargado de manera segura en el medio ambiente. La meta del tratamiento de aguas residuales nunca ha sido producir un producto estéril, sin especies microbianas, sino reducir el nivel de microorganismos dañinos a niveles más seguros de exposición, donde el agua es comúnmente reciclada para el riego o usos industriales. Al escoger la tecnología apropiada de tratamiento, deben considerarse cierto número de factores, incluyendo la cantidad y composición de la corriente de residuos, los estándares del efluente, opciones indicadas de uso y desecho, opciones de pretratamiento industrial; y, factibilidad de funcionamiento (es decir, inquietudes económicas y técnicas). Muchas opciones de tratamiento pueden ayudar a reducir los efectos de contaminación ambiental. La eficacia del tratamiento debe ser balanceada con el costo, la aplicación práctica y el cumplimiento con los métodos que han sido escogidos para la implementación. El reuso de aguas residuales es una opción válida para el desecho, donde el medio ambiente puede filtrar efectivamente las corrientes de residuos moderadamente tratados. La minimización del ingreso de residuos peligrosos generados por procesos industriales (como, metales pesados) a las plantas municipales de tratamiento, es algo clave para reducir los efectos tóxicos de estos efluentes, muchos de los cuales no pueden ser eliminados a través de procesos convencionales de tratamiento (Kelly *et al.*, 2002).

#### **2.4.1 Fundamentos del tratamiento de aguas residuales**

En general, las aguas residuales consisten de dos componentes, un efluente líquido y un constituyente sólido, conocido como lodo. Típicamente existen dos formas generales de tratar las aguas residuales. Una de ellas consiste en dejar que las aguas residuales se asienten en el fondo de los estanques, permitiendo que el material sólido se deposite en el fondo. Después se trata la corriente superior de residuos con sustancias químicas para reducir el número de contaminantes dañinos presentes. El segundo método más común consiste en utilizar la población bacteriana para degradar la materia orgánica. Este método, conocido como tratamiento de lodos activados, requiere el abastecimiento de

oxígeno a los microbios de las aguas residuales el cual es para estimular su metabolismo.

Los pasos básicos para el tratamiento de aguas residuales incluyen:

1. Pretratamiento: remoción física de objetos grandes.
2. Deposición primaria: sedimentación por gravedad de las partículas sólidas y contaminantes adheridos.
3. Tratamiento secundario: digestión biológica usando lodos activados o filtros de goteo que fomentan el crecimiento de microorganismos.
4. Tratamiento terciario: tratamiento químico (por ejemplo, precipitación, desinfección). También puede utilizarse para realzar los pasos del tratamiento primario (Kelly *et al.*, 2002).

#### **2.4.2 Tratamiento de aguas residuales domésticas por aerobiosis**

Los tratamientos aerobios y anaerobios constituyen las dos grandes alternativas de depuración biológica de aguas residuales y residuos orgánicos fermentables. Sin embargo, el hecho de no necesitar aireación y la generación de biogás, que se puede utilizar en la misma planta con finalidades energéticas, hacen que la digestión anaerobia resulte mucho más favorable económicamente, permitiendo en muchos casos la autonomía o autosuficiencia de las plantas de tratamiento. Otro aspecto muy ventajoso es que la generación de lodos en exceso es mucho menor en el proceso anaerobio que en el aerobio, por lo que también se reducen los costes de tratamiento de los lodos. Por todo esto, la digestión anaerobia se presenta como el método más ventajoso en el tratamiento de aguas residuales de media y alta carga orgánica (Ruiz *et al.*, 1993).

La digestión aerobia es un proceso en el cual se produce una aireación, por un periodo significativo de tiempo, de una mezcla de lodo digerible de la clarificación primaria y lodo del tratamiento biológico aerobio, con el resultado de una destrucción de células, y una disminución de sólidos en suspensión volátiles. El objetivo principal de la digestión aerobia es reducir el total de lodos que se debe evacuar posteriormente. Esta reducción es el resultado de la conversión, por oxidación, de una parte sustancial de lodos en productos volátiles ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$ ). Si

representamos las células bacterianas por la fórmula  $C_3H_7NO_2$ , la oxidación que tiene lugar cuando el sustrato de un sistema aerobio no es suficiente para tratamiento energético y síntesis, corresponde esta a la fase de respiración endógena. La digestión aerobia es una alternativa viable con respecto a la digestión anaerobia para la estabilización de lodos. Produce la reducción de sólidos volátiles aproximadamente igual a la obtenida por vía anaerobia, formación de un producto final inodoro, parecido al humus, que es biológicamente estable y que puede ser fácilmente eliminado. Hay menos problemas de operación debido a que el sistema es más estable. Es por esto que se requiere menores costos de mantenimiento y menos mano de obra especializada para la operación de la planta (Ruiz *et al.*, 1993).

#### **2.4.3 Tratamiento de aguas residuales domésticas por anaerobiosis**

El proceso de degradación anaerobia se lleva a cabo en ausencia de oxígeno. Un gran número de microorganismos que trabajan en serie, degradan la materia orgánica en sucesivas etapas. En una aproximación general, podemos diferenciar tres etapas fundamentales, la de hidrólisis-acidogénesis, la homoacetogénesis - acetogénesis y por último la de metanogénesis. En el proceso anaerobio, sólo una pequeña cantidad de la energía contenida en el sustrato es utilizada en el mantenimiento y crecimiento celular, quedando una gran parte en los productos, en forma de biogás. Esto hace que el tiempo de crecimiento sea lento, lo que condiciona el diseño y la operación de los digestores anaerobios.

Se ha propuesto introducir la digestión anaerobia como etapa fundamental del tratamiento, o por lo menos como pretratamiento. El proceso anaerobio no permite conseguir la calidad de efluente que se puede alcanzar en una planta de lodos activos y otros sistemas aerobios, pero sí permite eliminar gran parte de los SS, DQO y DBO<sub>5</sub>, incluso en una sola etapa, que sustituiría al decantador primario, al digestor de lodos activos (aerobio) y al digestor anaerobio de estabilización de lodos. Incluyendo sus ventajas tales como: no requiere consumo de oxígeno, ahorrando la energía de bombeo de aire, se generan cantidades de lodo muy inferiores a las producidas en el proceso aerobio, y en un mayor grado de

mineralización, concentración y fácil deshumidificación y se puede recuperar cierta cantidad de energía en forma de biogás (Ruiz *et al.*, 1993).

#### **2.4.4 Parámetros de calidad para el uso de aguas residuales y marco normativo**

La eliminación de agentes patógenos es el principal objetivo del tratamiento de aguas residuales para aprovechamiento. Sin embargo, como se señaló antes, las directrices sobre la calidad de las aguas residuales y las normas para aprovechamiento frecuentemente se expresan según el máximo número permisible de bacterias coliformes fecales. Puesto que no existe duda sobre el origen fecal de las aguas residuales, se supone que estos microorganismos se pueden emplear como indicadores de patogenicidad y que existe por lo menos una relación semicuantitativa entre las concentraciones de microorganismos patógenos y los indicadores (Suematsu, 1995).

En la práctica, los coliformes fecales pueden emplearse como indicadores razonablemente fiables de los agentes patógenos bacterianos, ya que por lo general sus características de supervivencia en el medio ambiente y su índice de eliminación instantánea o paulatina en los procesos de tratamiento son similares. El grupo de coliformes totales es menos fiable como indicador, pues no todos los coliformes son exclusivamente de origen fecal y, a menudo, la proporción de coliformes no fecales es muy elevada en los climas cálidos. Los coliformes fecales son indicadores menos satisfactorios de los virus excretados y tienen uso muy limitado cuando se trata de protozoarios y helmintos, para los cuales no existen indicadores seguros. Por lo general, las normas o directrices sobre la calidad de las aguas residuales que se pretende emplear para riego de cultivos sin restricciones, incluso para cultivos de legumbres y verduras para ensaladas que se consumen crudas, contienen reglas explícitas (por ejemplo indican el máximo número de coliformes) y requisitos mínimos de tratamiento (primario, secundario o terciario) según la clase de cultivo que se debe regar (si es para consumo o no). Las normas establecidas en los últimos 50 años han sido, en general, muy estrictas, ya que se han basado en una evaluación teórica de los posibles riesgos



que para la salud tienen la supervivencia de agentes patógenos en las aguas residuales, el suelo y los cultivos, antes que en pruebas epidemiológicas fehacientes del riesgo real. Hasta cierto punto, esas primeras normas se basaron en un concepto de “riesgo nulo”, con el fin de lograr un medio “antiséptico” o carente de agentes patógenos. En esa época, el método preferido para la eliminación de agentes patógenos, a juzgar por el caso de los coliformes, era el tratamiento biológico secundario seguido de cloración cuidadosamente controlada de efluentes. Al menos en teoría, esto permitiría lograr mínimas concentraciones residuales de coliformes. El máximo número permisible de coliformes fue también bajo. Por ejemplo, las normas del Departamento de Salud Pública del Estado de California de EUA permiten solo 23 coliformes por cada 100 ml, según el cultivo regado y el método de riego empleado (Suematsu, 1995).

#### **2.4.5 Parámetros físicos**

Son los que definen las características del agua y son las que se pueden detectar a través de los sentidos tales como los sólidos suspendidos, turbiedad, color, sabor, olor y temperatura.

**Olor y sabor:** El sabor y olor del agua son determinaciones organolépticas de determinación subjetiva, para las cuales no existen instrumentos de observación, ni registro, ni unidades de medida. Las aguas adquieren un sabor salado a partir de los 300 ppm de  $\text{Cl}^-$ , y un gusto salado y amargo con más de 450 ppm de  $\text{SO}_4 =$  El  $\text{CO}_2$  libre le da un gusto picante. Trazas de fenoles u otros compuestos orgánicos le confieren un color y sabor desagradables.

**Color:** El color es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. No se puede atribuir a ningún constituyente en exclusiva, aunque ciertos colores en aguas naturales son indicativos de la presencia de ciertos contaminantes. El agua pura sólo es azulada en grandes volúmenes. En general presenta colores inducidos por materiales orgánicos de los suelos vegetales, como el color amarillento debido a los ácidos húmicos. La presencia de hierro puede

darle color rojizo, y la del manganeso un color negro. Las medidas de color se hacen normalmente en laboratorio, por comparación con un estándar arbitrario a bases de cloruro de cobalto,  $\text{CoCl}_2$ , y cloroplatinato de potasio,  $\text{Cl}_6\text{PtK}_2$ , y se expresa en una escala de unidades de Pt – Co (unidades de Hazen) o simplemente platino. Según el origen del color los principales tratamientos de eliminación pueden ser la coagulación y filtración, la cloración, o la adsorción en carbón activo.

**Turbidez:** La turbidez es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, que se presentan principalmente en aguas superficiales. Son difíciles de decantar y filtrar, y puede dar lugar la formación de depósitos en las conducciones de agua, equipos de proceso, etc., Además interfiere con la mayoría de los procesos a que se pueda destinar el agua. La medición se hace por comparación con la turbidez inducida por diversas sustancias. La medición en ppm de  $\text{SiO}_2$  fue la más utilizada, pero existen diferencias en los valores obtenidos según la sílice y las técnicas empleadas por un laboratorio u otro. Existen diversos tipos de turbidímetros modernos dando valores numéricos prácticamente idénticos. La turbidez se elimina mediante procesos de coagulación, decantación y filtración.

**Conductividad y resistencia:** La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir electricidad. Es indicativo de la materia ionizable total presente en el agua. Las sales disueltas son las que permiten al agua conducir electricidad. El agua pura contribuye mínimamente a la conductividad, la cantidad de sales solubles en agua se mide por la electro-conductividad (EC), la resistividad es la medida recíproca de la conductividad.

#### 2.4.6 Parámetros químicos

El agua es llamada el solvente universal y los parámetros químicos están relacionados con la capacidad del agua para disolver diversas sustancias entre las que podemos mencionar a los sólidos disueltos totales, alcalinidad, dureza, fluoruros, metales, materia orgánica y nutrimentos.

**Alcalinidad:** La alcalinidad es una medida de la capacidad para neutralizar ácidos. Contribuyen a la alcalinidad los iones bicarbonato,  $\text{CO}_3$  y oxhidrilo, OH, pero también los fosfatos y ácidos de carácter débil. Los bicarbonatos y los carbonatos pueden producir  $\text{CO}_2$  en el vapor, que es una fuente de corrosión en las líneas de condensado.

**Coloides:** Es una medida del material en suspensión en el agua que por su tamaño de alrededor de los  $10^{-4}$ -  $10^{-5}$  mm. Se comporta como una solución verdadera y atraviesa el papel filtro. Los coloides pueden ser de origen orgánico (macromoléculas de origen vegetal) o inorgánico (óxidos de hierro y manganeso). Se elimina por floculación, precipitación y eliminación de arcillas.

**Acidez mineral:** La acidez es la capacidad para neutralizar bases. Es raro que las aguas naturales presenten acidez, no así las superficiales.

**Sólidos:** incluye toda materia sólida contenida en los materiales líquidos y se clasifican: en sólidos disueltos, en suspensión y totales.

**Sólidos disueltos:** Los sólidos disueltos son una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua. El origen puede ser múltiple tanto en las aguas subterráneas como en la superficial. Para las aguas potables se fija un valor máximo deseable de 500 ppm, este dato por sí sólo no es suficiente para catalogar la bondad del agua. Los procesos de tratamiento son múltiples en función de la composición incluyendo la precipitación, intercambio iónico, destilación, electrodiálisis y ósmosis inversa.

**Sólidos en suspensión:** Se separan por filtración y decantación. Son sólidos sedimentables, no disueltos, que pueden ser retenidos por filtración. Las aguas subterráneas suelen tener menos de 1 ppm, las superficiales pueden tener mucho más dependiendo del origen y forma de captación.

**Sólidos totales:** Es la suma de sólidos, sólidos disueltos y en suspensión. Es la materia que permanece como residuo después de evaporación y secado a 103 °C. El valor de los sólidos incluye tanto material disuelto (residuo filtrable) y no disuelto (suspendido).

**Residuo Seco:** Se llama así al peso de los materiales que quedan después de evaporar un litro de agua en cuestión. Si previamente se ha hecho una buena filtración corresponderá al peso total de sustancias, sean volátiles o no. La temperatura a que se hace la evaporación influye en los resultados, por las transformaciones que puede haber y las pérdidas, por ejemplo, de gas carbónico (CO<sub>2</sub>).

#### **2.4.7 Parámetros biológicos**

El agua es un medio donde literalmente miles de especies biológicas habitan y llevan a cabo su ciclo de vital. Estos parámetros son indicativos de la contaminación orgánica y biológica; tanto la actividad natural como la humana contribuyen a la contaminación orgánica de las aguas: la descomposición animal y vegetal, los residuos domésticos, detergentes y otros. Este tipo de contaminantes son más difíciles de controlar que los químicos o físicos y además los tratamientos deben estar regulándose constantemente.

#### **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

Mide la cantidad de oxígeno consumida en la eliminación de la materia orgánica del agua mediante procesos biológicos aerobios. Se suele referir al consumo en 5 días (DBO<sub>5</sub>), también suele emplearse (DBO<sub>21</sub>) días, se mide en ppm de O<sub>2</sub> que se consumen.

### **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Mide la capacidad de consumo de un oxidante químico, dicromato, permanganato, etc. Por el total de materias oxidables orgánicas e inorgánicas. Es un parámetro más rápido que el anterior ya que es la medición casi inmediata, la unidad de medida son ppm de O<sub>2</sub>. Las aguas no contaminadas tienen valores de DQO de 1 a 5 ppm. Las aguas residuales domésticas están entre 260 y 600 ppm. Hay un índice que indica que tipo de aguas se están analizando y se obtienen con la relación (DBO/ DQO); si es menor de 0.2 el vertido será de tipo inorgánico y si es mayor de 0.6 se interpretara como un vertido orgánico.

### **Carbón orgánico total (COT)**

El COT es una medida del control de materia orgánica del agua. Es especialmente utilizable en pequeñas concentraciones. En presencia de un catalizador el carbón orgánico se oxida a CO<sub>2</sub>; últimamente se está popularizando por la rapidez en la realización del análisis. Se mide en un analizador infrarrojo.

### **2.4.8 Parámetros bacteriológicos**

La bacteria *Escherichia coli* y el grupo coliforme en su conjunto, son los organismos más comunes utilizados como indicadores de la contaminación fecal. Las bacterias coliformes son microorganismos de forma cilíndrica, capaces de fermentar la glucosa y la lactosa. Otros organismos utilizados como indicadores de contaminación fecal son los estreptococos fecales y los clostridios. Estos últimos son anaerobios, formadores de esporas; estas son formas resistentes de las bacterias capaces de sobrevivir largo tiempo. El análisis del agua se realiza con el método de los tubos múltiples y se expresa en términos de el "número más probable" (índice NMP) en 100 ml de agua. Las aguas con un NMP inferior a 1, son potables. Según el destino del agua, la eliminación de bacterias se realiza por filtración o esterilización por luz ultravioleta, cloración y ozonización (CIDECALLI, 2006).

#### **2.4.9 Normas oficiales mexicanas sobre calidad del agua**

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

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PREMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-SEMARNAT-1996, LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO URBANO O MUNICIPAL.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-SEMARNAT-2002, ESPECIFICACIONES Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA EL APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS Y BIOSÓLIDOS.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, LÍMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA POTABILIZACIÓN, CONSUMO Y USO HUMANO.

#### **2.5 Aguas residuales aplicadas en riegos agrícolas**

El agua de reuso es un recurso hídrico que debe ser aprovechado mediante procesos de tratamiento, los cuales permiten recuperar la calidad que las hacen aptas para distintos usos, sin riesgos para la salud pública. El reuso de aguas tratadas mediante procesos secundarios, con la modalidad de aireación intermitente, contienen cantidades de nitrógeno y fósforo, importantes como nutrientes a los cultivos que son regados con ellas, además de lograr una calidad bacteriológica aceptable para el riego de cultivos, cumpliendo con los límites que establece la NOM-001-ECOL-1996 (Cisneros *et al.*, 2002).

El uso de las aguas residuales se presenta como una de las fuentes alternativas para el riego de la agricultura urbana. Esto entraña un conjunto de interrogantes en cuanto a su manejo y las posibles afectaciones que ellas puedan ocasionar a los frutos cosechados, al suelo y al medio ambiente. A continuación se presentan algunas de las investigaciones hasta ahora realizadas, presentando los siguientes resultados. Fueron aplicadas las aguas residuales generadas del efluente Luyano en el municipio Arroyo Naranjo. De acuerdo con los análisis realizados, se clasifican como aguas de baja contaminación. Estas aguas, además, toxicológicamente no constituyen un riesgo de contaminación ni para el suelo ni para el medio ambiente, aunque no deben utilizarse sin tratamiento previo en cultivos de consumo directo, dada la carga microbiana que presentan. Sin dejar de mencionar que los cultivos establecidos para esta investigación fueron zanahoria y rábano, mostraron en las primeras cosechas que es posible alcanzar en ellas altos rendimientos agrícolas, dado el valor fertilizante de estas aguas residuales. Los resultados de la cosecha del rábano, según análisis bacteriológicos realizados, no mostraron ningún tipo de contaminación. El suelo y el entorno agrícola, tampoco presentaron afectaciones (Méndez *et al.*, 2006).

### **2.5.1 Análisis microbiológico de cultivos agrícolas regados con aguas residuales**

En investigaciones realizadas se determinó que el consumo de verduras crudas y sin desinfectar, regadas con aguas negras, constituyen un riesgo potencial para la salud Pública, de adquirir enfermedades gastrointestinales. El uso de aguas negras o de río para riego de hortalizas (lechuga) no es recomendable ya que presenta una carga microbiana elevada y el riesgo de adquirir una infección gastrointestinal por el consumo de estos productos es latente por diversos agentes patógenos. Las lechugas analizadas presentan Coliformes Totales y fecales que son indicativos de contaminación fecal. El uso de aguas negras del Rio Nexapa incrementó el rendimiento de lechuga, sin embargo esto no justifica su utilización por los señalamientos antes citados (Romero *et al.*, 2008).

Así como también los análisis microbiológicos realizados en dos años de cultivo indicaron que los ajos regados con aguas residuales domésticas tratados en zanja de oxidación, cuya calidad microbiológica no permite su uso irrestricto, alcanzaron la condición de aceptables para consumo en crudo a los 20 días de la cosecha y 26 días del último riego. A los 6 días después del último riego los suelos irrigados con aguas residuales tratadas presentaron mayor nivel de contaminación por *Escherichia coli* que los suelos irrigados con agua de perforación, diferencia que desaparece a los 30 días de la cosecha. No se detectó *Salmonella* en los mismos a los 6 días del último riego. De acuerdo con estos resultados se considera que los ajos pueden ser aceptables para consumo crudo, aunque el agua residual doméstica no haya alcanzado los niveles de calidad de las directrices de la Organización Mundial de la Salud para riego irrestricto, si los mismos no se liberan al consumo hasta transcurridos 26 días desde el último riego, habiendo sido mantenidos en condiciones de secado natural con techo y circulación lateral de aire (Fasciolo *et al.*, 2005).



### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1. Descripción del sitio**

La presente investigación se llevo a cabo en el invernadero numero 5 perteneciente a la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, localizada en Buenavista, Saltillo; Coahuila. Las dimensiones del invernadero son de 160 m<sup>2</sup>, con una orientación de norte a sur y su estructura totalmente metálica, cubierta lateralmente por láminas de policarbonato y doble capa de plástico en el techo; el sistema de enfriamiento constó de dos extractores.

#### **3.2. Características climáticas**

El invernadero cuenta con una temperatura de 25<sup>0</sup> C a 30<sup>0</sup>C durante el día y con una temperatura de 20<sup>0</sup>C durante la noche. Los extractores tienden a funcionar cuando la temperatura llega a los 30<sup>0</sup>C dentro del invernadero generando asi la ventilación del invernadero, con una humedad relativa máxima de 45%.

#### **3.3. Procedimiento**

Para el establecimiento del cultivo de rábano bajo condiciones de invernadero se llevo a cabo en primer lugar el acondicionamiento del invernadero con las condiciones climáticas adecuadas para el desarrollo vegetativo del cultivo. Una vez acondicionado el invernadero se inició con la preparación del camellón que se utilizó para el acomodo de las bolsas para la siembra. Las 80 bolsas de polietileno color negro, se llenaron de suelo agrícola que se utilizo para el experimento y se colocaron sobre el camellón al azar. Para el ordenamiento de las bolsas se llevo a cabo un sorteo de cada una de las repeticiones de cada tratamiento, para asi lograr el establecimiento al azar de cada una de las repeticiones de los tratamientos. Al establecer el acomodo de las bolsas se continúo con la aplicación de un primer riego antes de la siembra, para asi posteriormente llevar a cabo la siembra, la cual se realizo el día 20 de mayo del 2011, en las cuales se sembraron 3 semillas por bolsa de polietileno. Los riegos se aplicaron cada tercer día después de la siembra de forma manual. Después de la emergencia se llevo a

cabo la técnica de aclareo cumpliendo el propósito de dejar solo una planta en cada una de las bolsas. El agua residual doméstica sin tratar fue proporcionada por la institución (UAAAN), siendo la misma agua que se trató por aerobiosis y anaerobiosis, dichos tratamientos se llevaron a cabo en el laboratorio de Fisiología Vegetal del Departamento de Botánica de la misma institución. A partir de los primeros tres días después de la siembra se llevaron a cabo las aplicaciones de los efluentes, los cuales correspondieron a las aplicaciones de los 4 tratamientos, los cuales fueron: 1.- Agua residual doméstica sin tratar (UAAAN), 2.- Agua residual doméstica tratada por aerobiosis, 3.- Agua residual doméstica tratada por anaerobiosis y 4.- Testigo (agua potable), los cuales se aplicaron durante todo el ciclo vegetativo del cultivo. Al concluir el crecimiento vegetativo del cultivo de rábano, se llevaron a cabo las evaluaciones que determinaron las colonias de bacterias coliformes fecales y *Salmonella* al ser regados con los cuatro efluentes. Una vez concluido el mes se realizaron las evaluaciones correspondientes a la investigación, las cuales se llevaron a cabo el día 20 de junio del 2011. En primer lugar se llevó a cabo la cosecha del cultivo de rábano, los rábanos cosechados fueron llevados al laboratorio de Biología de la UAAAN en el cual se realizaron todas las evaluaciones de la investigación. Se realizaron las determinaciones de las colonias de bacterias, siguiendo el procedimiento 3.3.1. y 3.3.2.

### **3.3.1. Determinación de Bacterias Coliformes Fecales y *Salmonella* en cultivo de rábano regado con los cuatro efluentes de aguas.**

Para la determinación de las colonias de bacterias se llevó a cabo el análisis microbiológico de las muestras tomadas de los rábanos, mediante lo cual se determinó la calidad sanitaria del cultivo de rábano. Para esto una vez establecidos los rábanos en el laboratorio se les realizó un lavado con agua potable. Todo el material se esterilizó en autoclave a 15 lb/cm<sup>2</sup> durante 20 minutos. Después de esterilizar, se prosiguió a realizar el machacado del rábano en morteros en un área completamente esterilizada para evitar contaminación de los medios de cultivos. Una vez obtenido el machacado del rábano se continuó en realizar las diluciones de 1:10, 1:100 y 1:1000, tomando con pipetas automáticas 1 ml de machacado lo cual se diluyó en 9 ml de agua destilada, el mismo procedimiento se realizó para las diluciones 1:100 con 9 ml de agua destilada y 1 ml de la dilución 1:100 y para la dilución 1:1000 en 9 ml de agua destilada y 1 ml de 1:100 en tubos de ensaye. La preparación de los medios de cultivo fue la siguiente: se disolvieron 25 gr del medio en 500 ml de agua destilada (agar mac conkey) y 29 gr del medio (agar verde brillante) en matraz los cuales se taparon con un tapón de algodón, se mezcló y calentó en la parrilla de calentamiento hasta hervir durante 1 minuto, se colocó el medio de cultivo en las 12 cajas de petri correspondientes para cada agar. Al concluir con la siembra en los medios de cultivo las cajas de petri se rotularon con el día de siembra, el tipo de agar, el número de dilución y repeticiones. El conteo de colonias se realizó con el cuenta colonias después de 24 horas a 37<sup>0</sup>C. Las colonias de coliformes fecales en agar Mac Conkey son de color rosa y las colonias de *Salmonella* en agar Verde Brillante de color rosa fuerte.

### **3.3.2. Determinación de Bacterias Coliformes Fecales y *Salmonella* en los cuatro efluentes empleados para el riego agrícola del cultivo de rábano.**

La principal importancia sobre el análisis de los tratamientos o efluentes, es que actualmente en nuestro país se han empleado con mayor abundancia las aguas residuales sin ningún tratamiento previo antes de ser usadas en riego agrícola. Por lo cual se realizó el análisis de los cuatro tipos de aguas empleados en los riegos, siendo el mismo procedimiento para la determinación de las bacterias coliformes fecales y *salmonella*. Para tal determinación se utilizaron dos medios de cultivo (Agar Mac Conkey y Agar Verde Brillante), para estas evaluaciones de igual manera se realizaron 4 repeticiones para cada dilución 1:10, 1:100 y 1:1000 en cada agar.

### **3.4. Diseño experimental**

Para el análisis de los datos se utilizo el diseño experimental completamente al azar con (4 tratamientos) T1: Agua Residual Doméstica Sin Tratar (UAAAN), T2: Agua Residual Doméstica Tratada por Aerobiosis, T3: Agua Residual Doméstica Tratada por Anaerobiosis y T4: Testigo (Agua Potable), con 4 repeticiones para el análisis en laboratorio para las diluciones de 1:10, 1:100 y 1:1000 de cada tratamiento.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 2 se muestran los resultados del análisis de varianza y comparación de medias de las evaluaciones realizadas para el análisis del cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L). var. Champion, demostrando cual de los tratamientos comparado con el testigo superó el límite máximo permisible establecido en la NOM-003-ECOL-1997 (1000 UFC/100ml), regado con los cuatro efluentes de aguas (tratamientos) para la determinando de UFC (Unidades Formadoras de Colonias) en diluciones de 1:10, 1:100 y 1:1000 para el Agar Mac Conkey (Coliformes fecales). Mediante la comparación de medias se determinó diferencias altamente significativas entre los tratamientos, donde el T2 (Agua Residual Doméstica Tratada por Aerobiosis) fue el que demostró mayor numero de UFC en las tres diluciones evaluadas, mientras que el T1 (Agua residual Doméstica Sin Tratar UAAAN) presentó menos UFC comparado con el T2 (Agua Residual Doméstica Tratada por Aerobiosis), el T3 (Agua Residual Doméstica Tratada por Anaerobiosis) se comportó como el mejor tratamiento, ya que no hubo crecimiento de UFC en ninguna de las tres diluciones comparado con el testigo.

**Cuadro 2. Analisis de Varianza y comparación de medias de las unidades formadoras de colonias de bacterias coliformes fecales en el cultivo de rábano bajo diferentes aplicaciones de efluentes para riego.**

Tratamientos	Variables	Diluciones evaluadas en Agar Mac Conkey					
		1:10		1:100		1:1000	
<b>T1</b>	Coliformes fecales (1000 UFC/100 ml)	262.5	A	550	B	1250	AB
<b>T2</b>	Coliformes fecales (1000 UFC/100 ml)	1027.5	A	13200	A	5750	A
<b>T3</b>	Coliformes fecales (1000 UFC/100 ml)	0	A	0	A	0	B
<b>Testigo</b>	Coliformes fecales (1000 UFC/100 ml)	0	A	0	A	0	B
<b>C.V. (%)</b>		215		128		148	
		NS		**		**	

&= Promedios seguidos de la misma letra, en las columnas, son estadísticamente iguales (DMS, p=0.01).

C.V. = Coeficiente de variación.

\*\*NS= Diferencias altamente significativas (p= 0.01) y Diferencias no significativas.

T1= Agua Residual Doméstica Sin Tratar (UAAAN).

T2= Agua Residual Doméstica Tratada por Aerobiosis.

T3= Agua Residual Doméstica Tratada por Anaerobiosis.

Testigo= Agua Potable.

En el cuadro 3 se muestran los resultados del análisis de varianza y comparación de medias de las evaluaciones realizadas para el análisis del cultivo (*Raphanus sativus* L.) var. Champion regado con los cuatro efluentes de aguas (tratamientos) para la determinación de UFC (Unidades Formadoras de Colonias) en diluciones de 1:10, 1:100 y 1:1000 correspondientes al Agar Verde Brillante (*Salmonella*). Mediante la comparación de medias se determinó cual de los tratamientos comparado con el testigo cumplió con la NOM-003-ECOL-1997. Se puede observar que el T2 (Agua Residual Doméstica Tratada por Aerobiosis) demostró el mayor número de UFC comparado con el Testigo (Agua Potable), mientras que T1 (Agua Residual Doméstica Sin Tratar UAAAN) presentó mejor crecimiento que el T2, para el T3 (Agua Residual Doméstica Tratada por Anaerobiosis) comparado con el testigo fue el mejor ya que cumplió con los límites máximos permisibles de la NOM.

**Cuadro 3. Analisis de Varianza y comparación de medias de las unidades formadoras de colonias de bacterias *Salmonella* en el cultivo de rábano bajo diferentes aplicaciones de efluentes para riego.**

Tratamientos	Variables	Diluciones evaluadas en Agar Verde Brillante			
		1:10	1:100	1:1000	
<b>T1</b>	<i>Salmonella</i> (1000 UFC/100 ml)	315 A <sup>&amp;</sup>	500 B	2000 AB	
<b>T2</b>	<i>Salmonella</i> (1000 UFC/100 ml)	375 A	3050 A	4500 A	
<b>T3</b>	<i>Salmonella</i> (1000 UFC/100 ml)	5 A	0 B	0 B	
<b>Testigo</b>	<i>Salmonella</i> (1000 UFC/100 ml)	0 A	0 B	0 B	
C.V. (%)		158.10 NS	86 **	95 **	

&= Promedios seguidos de la misma letra, en las columnas, son estadísticamente iguales (DMS, p=0.01).

C.V. = Coeficiente de variación.

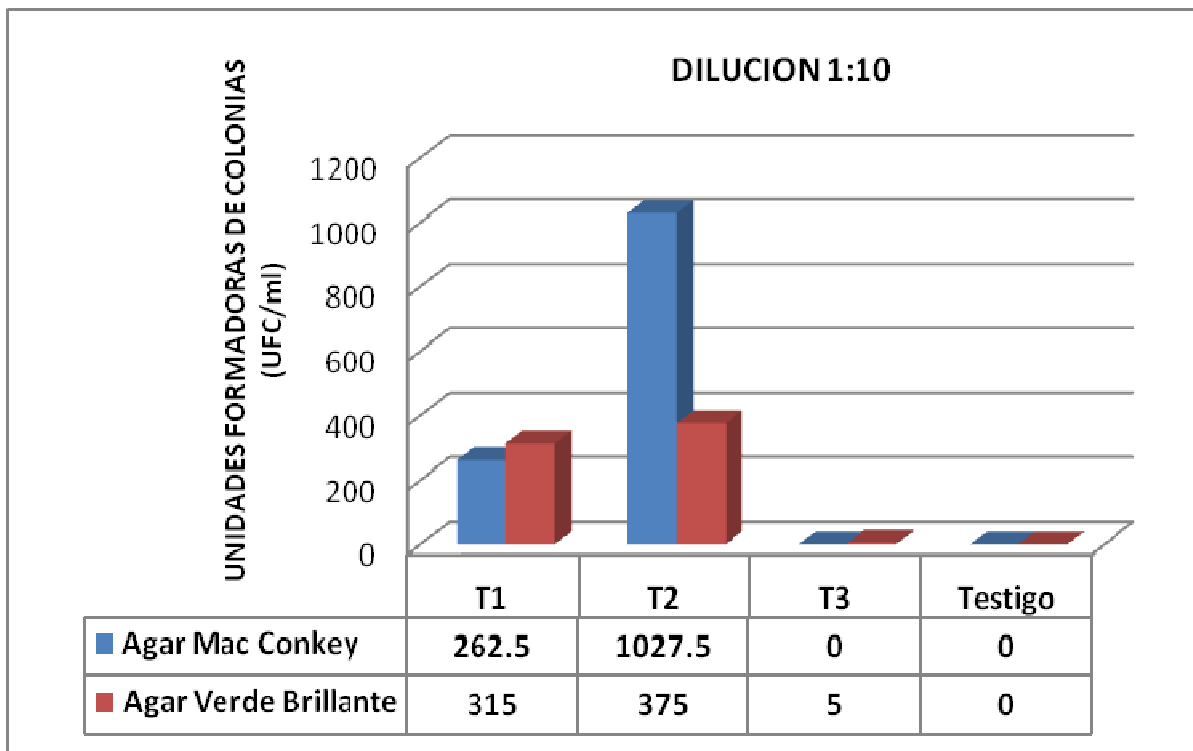
\*\*NS= Diferencias altamente significativas (p= 0.01) y Diferencias no significativas.

T1= Agua Residual Doméstica Sin Tratar (UAAAN).

T2= Agua Residual Doméstica Tratada por Aerobiosis.

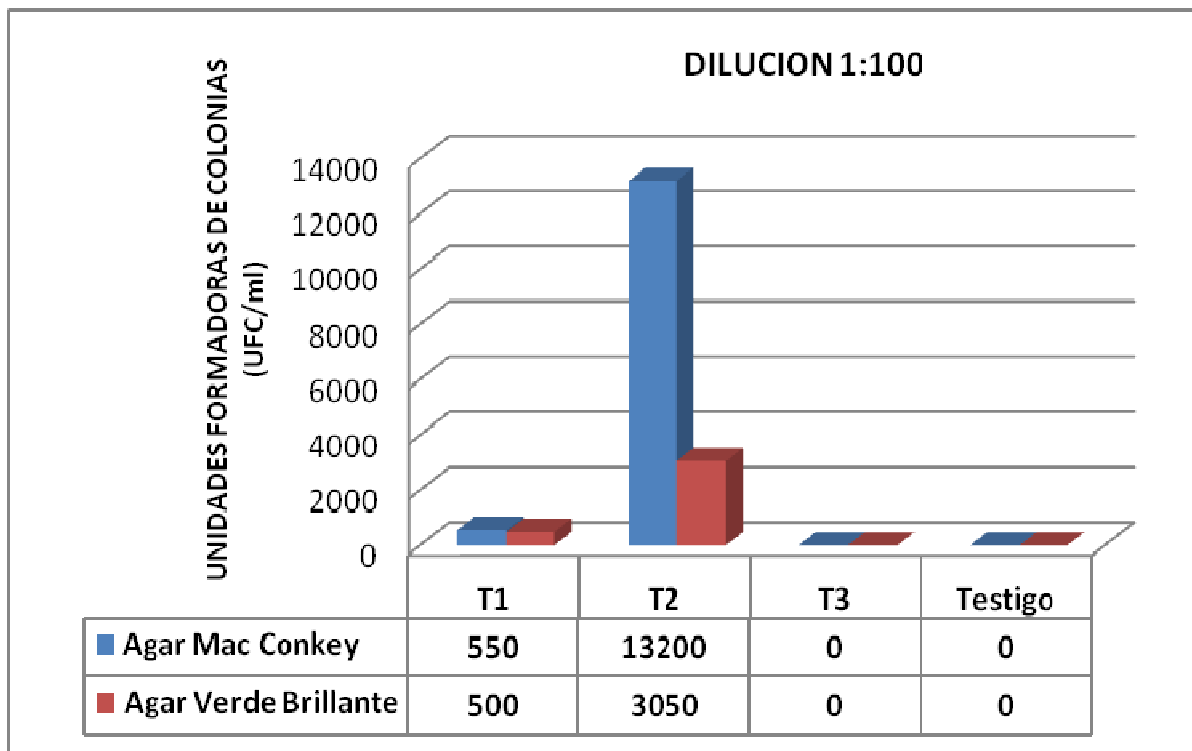
T3= Agua Residual Doméstica Tratada por Anaerobiosis.

Testigo= Agua Potable.



**Fig. 1 Remoción de coliformes fecales y *Salmonella* en el cultivo de rábano al aplicar los tratamientos de aguas.**

Para la dilución 1:10 se encontró que el tratamiento (T2) Agua Residual Doméstica Tratada por Aerobiosis generó 1027.5 UFC de coliformes fecales y 375 UFC para *Salmonella* no cumpliendo con el límite máximo permisible establecido en la NOM-003-ECOL-1997 (Fig.1). El (T1) Agua Residual Domestica Sin Tratar (UAAAN) generó 262.5 UFC de coliformes fecales y 315 UFC de *Salmonella* cumpliendo con la NOM, mientras que el tratamiento que presento un mejor resultado fue el (T3) Agua Residual Doméstica Tratada por Anaerobiosis en comparación con el (testigo) Agua Potable, ya que no demostró crecimiento para la dilución 1:10. En investigaciones realizadas para el cultivo de cilantro de demostró que al ser evaluado el cultivo en licuado se determinaron 54 UFC lo cual indicó que al aplicar aguas residuales tratadas por anaerobiosis cumplió con la NOM, siendo clasificada el agua aplicada para el riego de buena calidad asi como también el cultivo de buena calidad (Sandoval *et al.*, 2004).

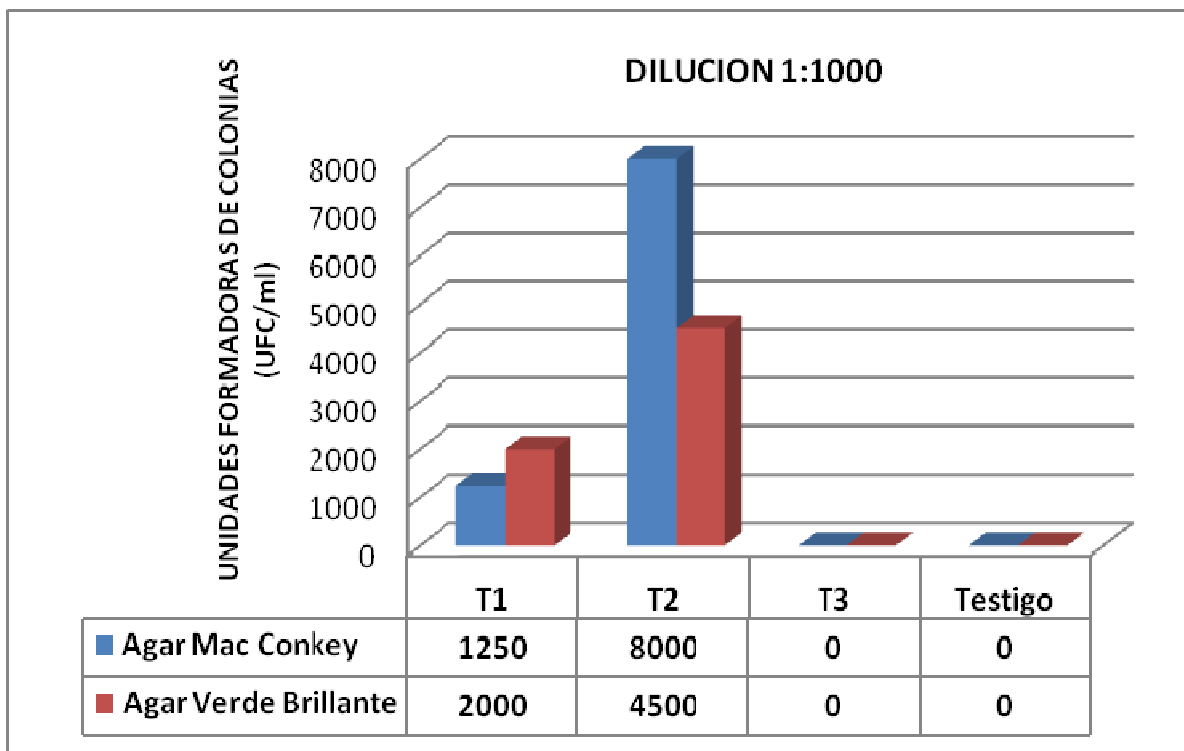


**Fig. 2 Remoción de coliformes fecales y *Salmonella* en el cultivo de rábano al aplicar los tratamientos de aguas.**

Para la dilución 1:100 se encontró que el tratamiento (T2) Agua Residual Doméstica Tratada por Aerobiosis presentó 13,200 UFC para coliformes fecales y 3050 UFC para *Salmonella* lo cual indica el no cumplimiento de la NOM-ECOL-003-1997, generando el cultivo de rábano riesgos para la salud al ser consumidas estas por la sociedad (Fig. 2). Mientras que el (T1) Agua Residual Doméstica Sin Tratar (UAAAN) generó 550 UFC para coliformes fecales y 500 UFC para *Salmonella* cumpliendo con el límite máximo permisible de la NOM comparado con el (T2) Agua Residual Doméstica Tratada por Aerobiosis. El tratamiento que presentó mejores resultados y cumpliendo con la NOM fue el (T3) Agua Residual Doméstica Tratada por Anaerobiosis comparado con el (testigo) Agua Potable, generando rábanos de buena calidad sanitaria. (Navarro *et al.*, 2010), demostró la influencia del agua residual sobre la calidad postcosecha, rendimiento y presencia de contaminantes en frutos de plantas de tomate irrigadas con agua residual en hidroponía. Los resultados indicaron que el agua residual favoreció la calidad



postcosecha en los parámetros de color del fruto y una menor acidez titulable. Aun que el agua residual afectó la producción por planta y el rendimiento, no hubo presencia de *Salmonella* ni coliformes fecales en los frutos, siendo de buenas condiciones sanitarias para el consumo humano.



**Fig. 3 Remoción de coliformes fecales y *Salmonella* en el cultivo de rábano al aplicar los tratamientos de aguas.**

Para la dilución 1:1000 se demostró que el tratamientos (T2) Agua Residual Doméstica Tratada por Aerobiosis generó el mayor número de unidades formadoras de colonias con 8000 UFC para coliformes fecales y 4500 UFC para *Salmonella* (Fig.3), obteniendo a partir de este tratamiento mejor rendimiento y apariencia externa del cultivo, pero con alto contenido bacteriológico, ocasionando un bajo nivel de calidad sanitaria para el consumo; por lo cual no cumplió con los límites máximos permisibles establecidas en la NOM-003-ECOL-1997. Para el (T1) Agua Residual Doméstica Sin Tratar (UAAAN) se determinaron 1250 UFC para coliformes fecales y 2000 UFC para *Salmonella*, superando los límites de la NOM. Mientras que en el (T3) Agua Residual Doméstica Tratada por Anaerobiosis no se demostraron coliformes fecales ni *Salmonellas*, por lo cual se consideró

como el mejor tratamiento en cuanto a calidad sanitaria, comparado con el (testigo) Agua Potable. En una investigación realizada sobre el efecto del agua residual al ser aplicada en un cultivo de cebolla se determinó que en el bulbo hubo niveles altos (490 y 2400 UFC) de contaminación por coliformes fecales y menos de un huevecillo de helmintos en bulbos de cebolla regada con agua residual sin tratar. Sin embargo se aprobó su consumo, mediante la aplicación de inmersiones en los bulbos de cebolla en hipoclorito de sodio, para la eliminación de la contaminación por coliformes fecales, sin poner en riesgo la salud de la población. Por lo tanto, es posible producir cebolla regando con aguas residuales con un riesgo menor si se aplican metodologías adecuadas (Pérez *et al.*, 2001).

En el cuadro 4 se muestran los resultados del análisis de varianza y comparación de medias de las UFC (Unidades Formadoras de Colonias) de las evaluaciones realizadas al analizar los cuatro efluentes (tratamientos) aplicados al riego agrícola del cultivo (*Raphanus sativus* L.) var. Champion. Evaluadas en diluciones de 1:10, 1:100 y 1:1000 en Agar Mac Conkey (Coliformes fecales). Se demostró que el T2 (Agua Residual Doméstica Tratada por Aerobiosis) presentó el mayor UFC para las tres diluciones, lo cual nos indica que no cumplió con la NOM. Para el T1 (Agua Residual Doméstica Sin Tratar UAAAN) demostró menor UFC en las diluciones comparado en el T2 (Agua Residual Doméstica Tratada por Aerobiosis), mientras que el T3 (Agua Residual Doméstica Tratada por Anaerobiosis) solo presentó UFC en la dilución 1:10, para 1:100 y 1:1000 no hubo presencia de UFC comparado con el testigo, mencionando que se clasificó como el mejor de tratamientos.

**Cuadro 4. Analisis de Varianza y comparación de medias de las unidades formadoras de colonias de bacterias coliformes fecales en los cuatro efluentes para riego.**

Tratamientos	Variables	Diluciones evaluadas en Agar Mac Conkey			
		1:10	1:100	1:1000	
<b>T1</b>	Coliformes fecales (1000 UFC/100 ml)	142.5 B	725 A	1250 AB	
<b>T2</b>	Coliformes fecales (1000 UFC/100 ml)	330 A	475 A	1750 A	
<b>T3</b>	Coliformes fecales (1000 UFC/100 ml)	35 BC	0 B	0 B	
<b>Testigo</b>	Coliformes fecales (1000 UFC/100 ml)	0 C	0 B	0 B	
C.V. (%)		40.81 **	71.69 **	105.41 **	

&= Promedios seguidos de la misma letra, en las columnas, son estadísticamente iguales (DMS, p=0.01).

C.V. = Coeficiente de variación.

\*\*, NS= Diferencias altamente significativas (p= 0.01) y Diferencias no significativas.

T1= Agua Residual Doméstica Sin Tratar (UAAAN).

T2= Agua Residual Doméstica Tratada por Aerobiosis.

T3= Agua Residual Doméstica Tratada por Anaerobiosis.

Testigo= Agua Potable.

En el cuadro 5 se muestran los resultados del análisis de varianza y comparación de medias de las UFC (Unidades Formadoras de Colonias) en las evaluaciones de los cuatro efluentes (tratamientos) aplicados para el riego agrícola del cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L.) var. Champion. Para las evaluaciones se emplearon diluciones de 1:10, 1:100 y 1:1000 en Agar Verde Brillante (*Salmonella*). Se puede observar que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos, lo que indica que el T1 (Agua Residual Doméstica Sin Tratar UAAAN) fue el que demostró mayor UFC para las tres diluciones, mientras que en este caso el T2 presentó menor UFC para las tres diluciones comparado con el T1 (Agua Residual Doméstica Sin Tratar UAAAN), el T3 (Agua Residual Doméstica Tratada por Anaerobiosis) fue el mejor de los tratamientos ya que solo no generó crecimiento de UFC para la dilución 1:10, para 1:100 y 1:1000 no generó crecimiento comparado con el testigo, cumpliendo los límites máximos permisibles en la NOM.

**Cuadro 5. Analisis de Varianza y comparación de medias de las unidades formadoras de colonias de bacterias *Salmonella* en los cuatro efluentes para riego.**

Tratamientos	Variables	Diluciones evaluadas en Agar Verde Brillante		
		1:10	1:100	1:1000
<b>T1</b>	<i>Salmonella</i> (1000 UFC/100 ml)	182.5 B	600 A	2500 A
<b>T2</b>	<i>Salmonella</i> (1000 UFC/100 ml)	502 A	800 A	250 B
<b>T3</b>	<i>Salmonella</i> (1000 UFC/100 ml)	37.5 B	0 B	0 B
<b>Testigo</b>	<i>Salmonella</i> (1000 UFC/100 ml)	0 B	0 B	0 B
C.V. (%)		64.25 **	36.89 **	55.55 **

&= Promedios seguidos de la misma letra, en las columnas, son estadísticamente iguales (DMS, p=0.01).

C.V. = Coeficiente de variación.

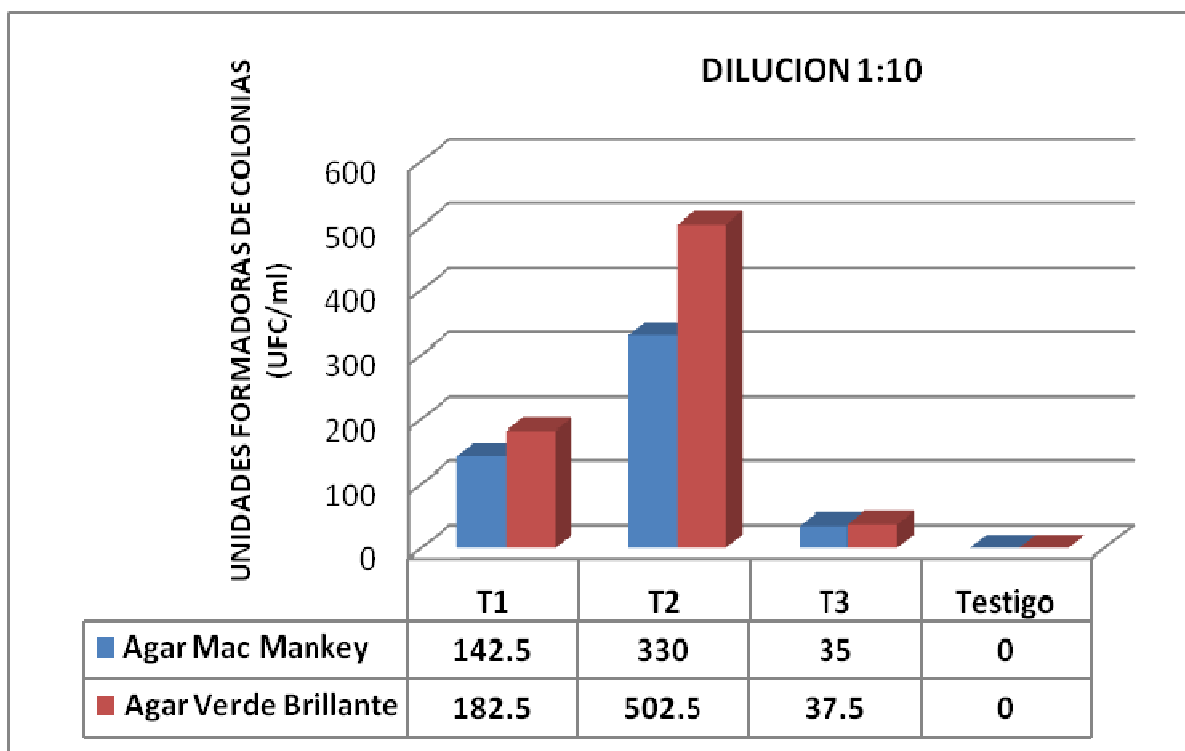
\*\*, NS= Diferencias altamente significativas (p= 0.01) y Diferencias no significativas.

T1= Agua Residual Doméstica Sin Tratar (UAAAN).

T2= Agua Residual Doméstica Tratada por Aerobiosis.

T3= Agua Residual Doméstica Tratada por Anaerobiosis.

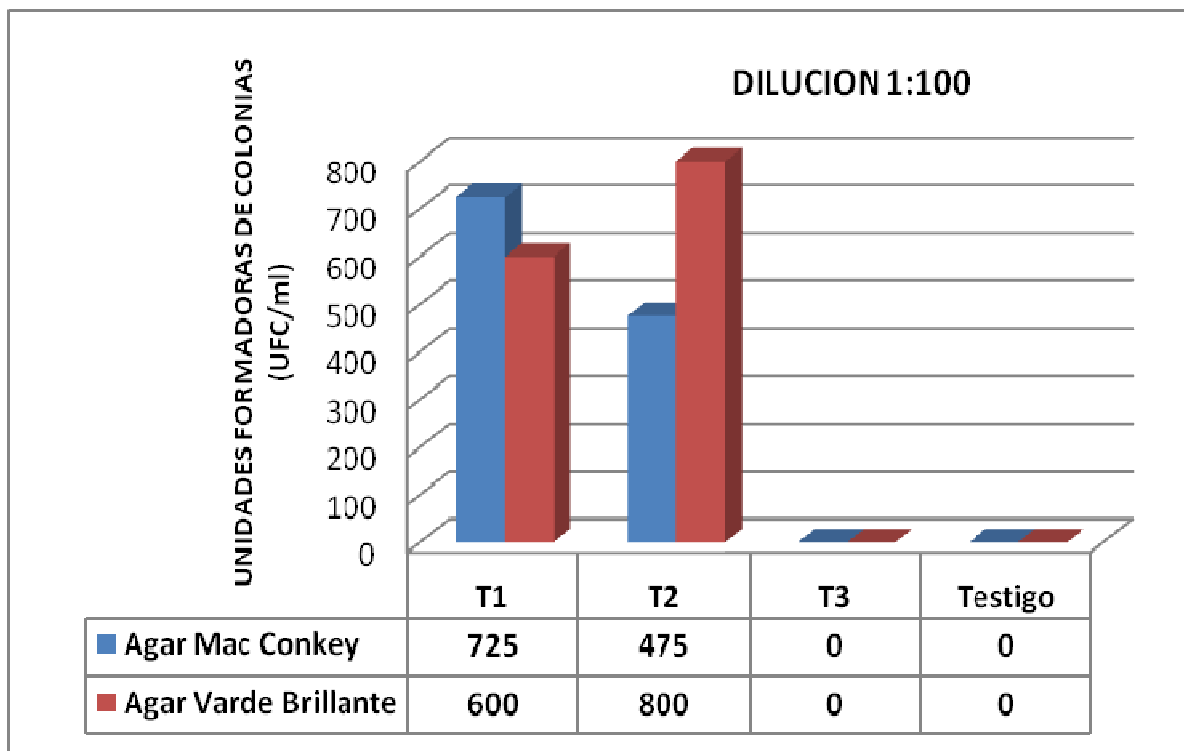
Testigo= Agua Potable.



**Fig. 4 Remoción de coliformes fecales y *Salmonella* en los efluentes de aguas aplicadas al riego del cultivo.**

En la dilución 1:10 se cuantificó en el (T2) Agua Residual Doméstica Tratada por Anaerobiosis un alto nivel de unidades formadoras de colonias con 330 UFC de coliformes fecales y 502.5 UFC de *Salmonella* (Fig. 4) y el agua generada fue clasificada como agua de moderada calidad, cumpliendo con los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-003-ECOL-1997. Para el tratamiento (T1) Agua Residual Doméstica Sin Tratar (UAAAN) se determinaron 142.5 UFC de coliformes fecales y 182.5 UFC de *Salmonella*, clasificada como agua de moderada calidad, cumpliendo con la NOM. Mientras que el (T3) Agua Residual Doméstica Tratada por Anaerobiosis fue en el que se detectó mejor calidad del agua y cumplió con los límites máximos permisibles establecidos en la NOM, comparado con el (testigo) Agua Potable. Se determinó que el (T3) fue el mejor en cuanto a calidad del agua. En investigaciones realizadas se demostró que el rendimiento agronómico mediante la aplicación de aguas residuales en los cultivos de acelga y lechuga en cuanto al rendimiento no se observó diferencias entre los demás tratamientos, por lo que los resultados refuerzan la propuesta de reusar a

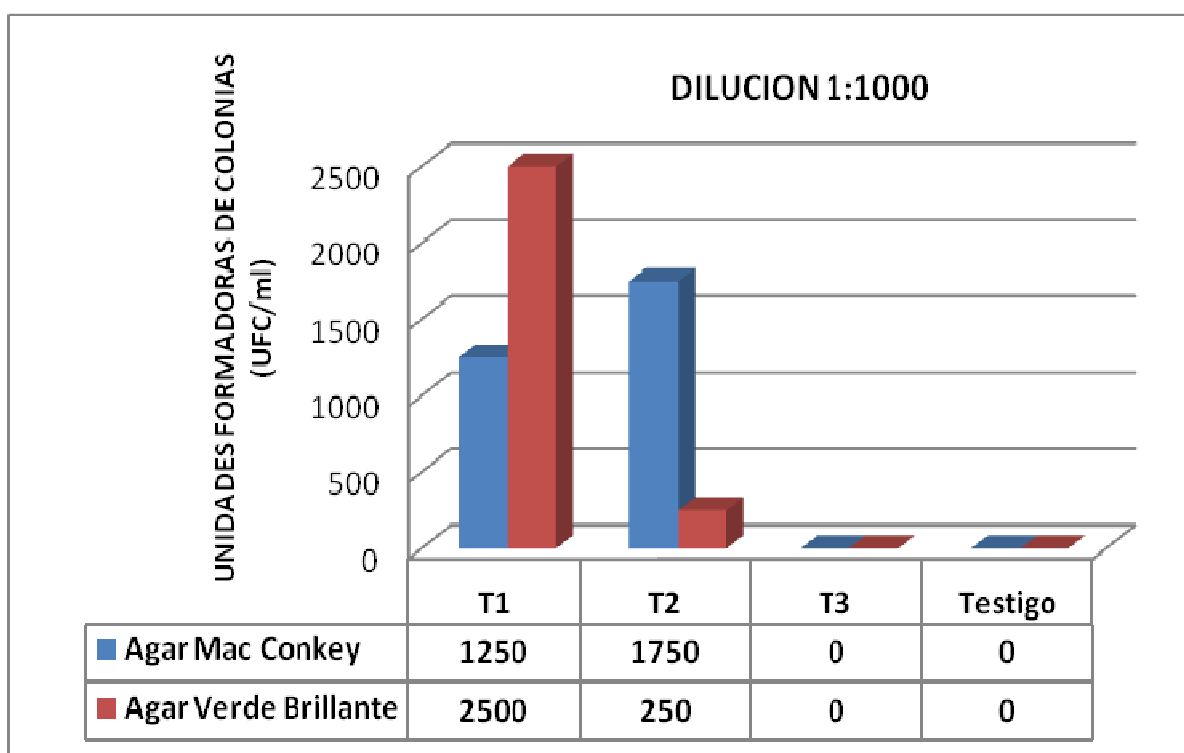
las aguas residuales tratadas como fuente alterna de agua para agricultura (Estrada *et al.*, 2001).



**Fig. 5 Remoción de coliformes fecales y *Salmonella* en los efluentes de aguas aplicadas al riego del cultivo.**

En la dilución 1:100 se cuantificó para el (T2) Agua Residual Doméstica Tratada por Aerobiosis 475 UFC de coliformes fecales y 800 UFC de *Salmonella* (Fig. 5), clasificando la calidad del agua como moderada, cumpliendo con la NOM establecida con un límite máximo de 1000 UFC/100ml. Para el (T1) Agua Residual Doméstica Sin Tratar (UAAAN) se contabilizaron 725 UFC de coliformes fecales y 600 UFC de *Salmonella* cumpliendo con la NOM, de lo cual el agua fue clasificada como agua de moderada calidad, mientras que el (T3) Agua Residual Doméstica Tratada por Anaerobiosis fue el que demostró una mejor calidad de agua, cumpliendo los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-003-ECOL-1997, comparado con el testigo (agua potable). Se determinó en un ensayo a campo la calidad sanitaria de ajos cultivados y regados con efluentes domesticos tratados, el objetivo fue evaluar: la calidad microbiológica de los ajos regados con efluentes domesticos tratados en zanjas de oxidación y su aceptabilidad para

consumo fresco, donde las evaluaciones fueron principalmente de *Salmonella* en los ajos. Siguiendo los planes de muestreo de la Comisión Internacional para la Especificación Microbiológica de Alimentos para vegetales que se consumen crudos, se concluyó que los ajos estuvieron aptos para el consumo a los 20 días después de la cosecha y 26 días del último riego. No se detectó *Salmonella* en los ajos (Fasciolo *et al.*, 2005).



**Fig. 6 Remoción de coliformes fecales y *Salmonella* en los efluentes de aguas aplicadas al riego del cultivo.**

En la dilución 1:1000 se detectó en el (T1) Agua Residual Doméstica Sin Tratar (UAAAN) el mayor número de unidades formadoras de colonias con 1250 UFC de coliformes fecales y 2500 de *Salmonella* (Fig. 6), lo cual indicó que el agua analizada no cumplió con la NOM-003-ECOL-1997 superando los límites y obteniendo agua de baja calidad, para el (T2) Agua Residual Doméstica Tratada por Aerobiosis se cuantificó 1750 de coliformes fecales y 250 de *Salmonella* superando los límites de la NOM y generando agua de baja calidad comparado con el (testigo) Agua Potable), mientras que el (T3) Agua Residual Doméstica Tratada por Anaerobiosis fue el mejor ya que generó agua de buena calidad, apta

para el uso y riegos agrícolas, además de cumplir los límites máximos permisibles de la NOM comparado con el (testigo) Agua Potable. En análisis realizados mediante la aplicación de aguas residuales sin tratar, se demostró que en los cultivos de cilantro, espinaca, lechuga escarola y zanahoria, mostraron la presencia de bacterias de origen fecal, las cuales, al presentar una cantidad superior al valor permitido de estos microorganismos, se convierten en una fuente de propagación de diarrea de origen bacteriano. Por lo tanto, cabe mencionar que el uso de aguas residuales es una alternativa para riego agrícola pero después de un previo tratamiento con el fin de evitar problemas sanitarios a la sociedad (Vega *et al.*, 2005).



## V. CONCLUSIONES

El agua de reuso es un recurso hídrico que debe ser aprovechado mediante procesos de tratamientos, los cuales permiten recuperar la calidad que las hacen aptas para distintos usos.

Los resultados de los análisis bacteriológicos indican que el agua tratada por anaerobiosis puede usarse para regar cultivos que se consumen directamente, presentando el mismo comportamiento que el testigo; ya que cumplen con los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-003-ECOL-1997.

Por otra parte, los resultados de los análisis bacteriológicos indican que el agua tratada por aerobiosis superó los límites máximos permisibles de la NOM-003-ECOL-1997, comparado con el testigo, de lo cual puede ser destinada para actividades donde el público en general esté expuesto indirectamente, por lo cual se recomienda para los siguientes reusos: riego de jardines, camellones en autopistas, fuentes de ornato, campos de golf y lagos artificiales no recreativos.

De acuerdo con los resultados obtenidos se considera que los rábanos pueden ser aceptables para consumo fresco, al ser regados con el agua residual doméstica tratada por anaerobiosis, mientras que al aplicar el agua tratada por aerobiosis los rábanos demostraron una alta concentración bacteriana, así como también al aplicar el agua residual doméstica sin tratar produjo rábano con niveles altos de bacterias, comparados con el testigo.

Se recomienda continuar con la investigación, para la continuación de análisis en cuanto a la concentración de metales pesados y cianuros, para el uso de las aguas residuales tratadas en riegos agrícolas y análisis de cultivos regados con las mismas.

## VI. LITERATURA CITADA

- Cisneros E., O.X.; González M., J.-2002-. Reuso del agua en agricultura de invernadero. XI Congreso Nacional de Irrigación. Guanajuato, Guanajuato, Mexico. 19 - 21.
- CIDECALLI.-2006-. Calidad y Normatividad del Agua para Consumo Humano. Edo. De México.
- Clemente L., N.- 2010-. Calidad postcosecha de tomate (*Solanum lycopersicon L.*) producido con agua residual y de pozo en hidroponía y suelo. Tesis de maestro en ciencias. Universidad Autónoma De Chapingo.
- Cruz S., A.-2011-. Riegan con Aguas Negras 60% de Cultivos Agrícolas en Hidalgo. La jornada. Marzo 12.
- Estrada C., O.X.; González J., M.-2001-. Reuso del agua en agricultura de invernadero. ANEI, A.C. Simposio 9. Contaminación, Tratamiento y Reuso del Agua.
- Fasciolo G.; Meca M.I.; Calderón E.; Rebollo M.- 2005-. Contaminación microbiológica en ajos y suelos regados con efluentes domésticos tratados. (FCA) Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo. 1: 31-40.
- Garza A., V.-2000-. Reuso agrícola de las aguas residuales de Cd. Juárez, (Chih., Mexico). En el valle de Juárez y su impacto en la salud pública. FASPYN, Salud Pública y Nutrición. 3(1): 1-11.
- Gutierrez J.-2003-. Reuso de aguas y nutrientes. Centro de información, gestión y educación ambiental. (Revista) Medio ambiente. (41).
- Kelly A.; Reynolds R.-2002-. Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica Identificación del Problema. Agua Latinoamericana. 2(5): 1-4.

- Levin M., A.; Gealt M., A.-1997-. Visión general del biotratamiento y su futuro. Biotratamiento de Residuos Tóxicos y Peligrosos. Mc Graw Hill, Interamericana, Madrid, España. Pp. 1-19.
- Mara D., S.; Cairncross. -1990-. Guidelines for the safe use of waste water and excreta in agriculture and aquaculture. World Health Organisation.
- Méndez F., M.A.; Ricardo C., M.P.; Pérez P., J.; Hernández C., G.; Osvaldo C. - 2006-. Uso de las aguas residuales para el riego de cultivos agrícolas, en la agricultura urbana. Ciencias Técnicas Agropecuarias. Universidad Agraria de La Habana (La Habana, Cuba). 003(15): 17-21.
- Moreno S.E. -2006-. El recurso agua en el oriente del estado de México: importancia en el proceso urbano - regional. Quivera, Universidad Autónoma del Estado de México. 8 (002): 66-88.
- Navarro L., E.R.; Nieto A., R.-2010-. Uso de agua residual en la producción de tomate hidropónico en invernadero. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Pp: 1-17.
- Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. (Publicada en el D.O.F. el 21 de septiembre de 1998).
- Orta De V., T.; Rojas V., N.; Franco V.; Morales C., A.C.- 2006-. Aprovechamiento de residuos selectivos y aguas residuales tratadas para cultivos urbanos. Asociación Interamericana de ingeniería sanitaria y ambiental.
- Parreiras S.-2005-. Curso sobre tratamiento de aguas residuales. Facultad de Medio Ambiente, Belo Horizonte (Brasil). Pp: 40.
- Pérez M., J.M.; Echegaray A., A.; Cuenca A., E.; Riestra D., D.-2001-. Uso de Aguas residuales y control de organismos patógenos en la producción de cebolla. Agrocienza, Colegio de Postgraduados. 003(35): 255-265.

- Rivas L., B.A.; Pérez H., A.; Nevárez M., V.-2003-. Sistema de tratamiento biológico aplicable al uso de aguas residuales en riego agrícola. Centro de Investigación en Materiales Avanzados. Chih, Chih.
- Romero G.; Bonilla N.; Cabrera C.; Silva G.-2008-. Contaminación bacteriológica en agua y plantas de lechuga en Puebla, México. Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla.
- Ruiz I.; Álvarez J., A.; Soto M.-1993-. El potencial de la digestión anaerobia en el tratamiento de aguas residuales urbanas y efluentes de baja carga orgánica. Facultad de ciencias.
- Sandoval Y., L.; Collí M., J.-2004-. Tratamiento integral de agua residual municipal, su desinfección y reuso en la agricultura. Instituto Mexicano de Tecnología del agua. Pp: 1-8.
- Siebe, C.- 1994-. Acumulación y disponibilidad de metales pesados en suelos regados con aguas residuales en el distrito de riego 03, Tula, Hidalgo, México. Rev. Int. Contam. Ambient. 10 (1): 15-21.
- Suematsu L., G.-1995-. Impacto Ambiental De Los Proyectos De Uso De Aguas Residuales. CEPIS/OPS.
- Takayanagui O., M.; Oliveira C., D.; Bergamini A., M.; Capuano D., M.; Okino M., H.; Febrônio L., H.; Castro E.; Silva A., A.; Oliveira M., A.; Ribeiro E., G.- 2001-. Monitoring of vegetables sold in Ribeirao Preto, SP, Brazil. Rev. Soc. Bras. Med. Trop. 34 (1): 37-41.
- Vega M.; Jiménez M.; Salgado R.; Pineda G.- 2005-. Determinación de bacterias de origen fecal en hortalizas cultivadas en Xochimilco de octubre de 2003 a marzo de 2004. Facultad de Ciencia y Tecnología. 4 (4).