



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

**USO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS PARA
RIEGO DE LECHUGA BAJO SISTEMA DE
ACOLCHADO**

TESIS

**Que como Requisito Parcial
Para obtener el Grado de**

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN
HORTICULTURA**

PRESENTA Bk. 93537

LILIA SUSANA GERÓN ESPINOSA



DIRECCION ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



**USO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS PARA RIEGO DE LECHUGA
BAJO SISTEMA DE ACOLCHADO**

Tesis realizada por **LILIA SUSANA GERÓN ESPINOSA**, bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

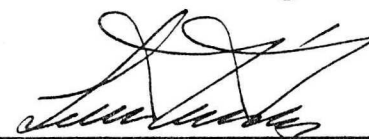
COMITÉ PARTICULAR

DIRECTOR:



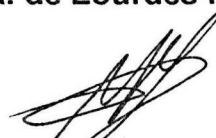
M.C. Efraín Contreras Magaña

ASESOR:



M.C. Ma. de Lourdes Rodríguez Mejía

ASESOR:



M.C. Mario Pérez Grajales

Universidad Autónoma Chapingo

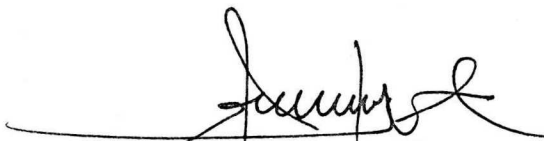
Chapingo, Estado de México, Diciembre de 1999.

USO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS PARA RIEGO DE LECHUGA

BAJO SISTEMA DE ACOLCHADO

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **LILIA SUSANA GERÓN ESPINOSA** autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura estuvo constituido por:

PRESIDENTE



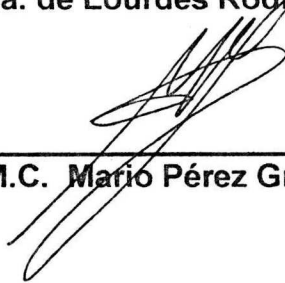
M.C. Efraín Contreras Magaña

ASESOR:



M.C. Ma. de Lourdes Rodríguez Mejía

ASESOR:



M.C. Mario Pérez Grajales

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo por brindarme la oportunidad de realizar los estudios de posgrado.

Al Departamento de Fitotecnia por su apoyo económico durante el último año del posgrado, sin el cual hubiese sido difícil concluir los estudios.

Agradezco infinitamente al M.C. Efraín Contreras Magaña por su dedicación, sugerencias, paciencia y minuciosas observaciones para corregir y concluir de la mejor forma el trabajo escrito.

A la M.C. Ma. De Lourdes Rodríguez Mejía por sus atinadas sugerencias para el buen desarrollo del trabajo y por el tiempo dedicado al mismo.

Al M.C. Mario Pérez Grajales por apoyarme en la realización del trabajo.

Al Ing. Adalberto Gómez Cruz por permitirme utilizar las instalaciones del Laboratorio de Investigación del Departamento de Ingeniería Agroindustrial, así como por su valiosa instrucción y sugerencias para el buen desarrollo del trabajo.

Al Sr. José Luis Alcántara Jasso, jefe de la Planta Tratadora de aguas residuales, por su valiosa cooperación y apoyo para en la fase de campo del presente trabajo. Así como a la Sección de Calderas por facilitarme tantas veces como fue necesario el equipo para regar el cultivo.

A Graciano, Carlos, Javier, Arturo, Christian, Matías, Monserrat, Carmen, Estela y demás personas por su apoyo incondicional durante la fase de campo y toma de datos, las cuales fueron muy difíciles.

A todas las personas que de una u otra forma participaron en la realización del trabajo.

DEDICATORIA

A mi madre **Susana Espinosa Montiel**, de quien solo he recibido confianza, paciencia y amor infinito durante toda mi existencia. A ella toda mi gratitud y amor.

A mi padre **Franco Gerón Xavier**, en quien he encontrado apoyo, ejemplo de dedicación y responsabilidad. Quisiera no haber defraudado las aspiraciones que espera tengan sus hijos; tan sólo quiero que me acepte como un ser único que existe en su vida y no me compare con nadie.

Con cariño para mis sobrinos: **Carlos Abraham, Arturo, Misael, Christian, Monserrat, Victor Hugo, Kitzia, Ximena y Aranza**, esperando sea un estímulo para que sigan adelante y lo superen, porque yo sé que tienen capacidad para ello y mucho más.

A mis hermanos: **Arturo, Carlos, Irma, Javier y César** por su apoyo incondicional, pero sobre todo porque a pesar de muchas cosas hemos sido unidos y espero lo seamos por siempre.

A mi tía **Esther Vega Piscil** (q.e.p.d) por ser una persona que siempre me apoyo y brindo amor incondicional, a pesar de ser sobrina política. Donde quiera que te encuentres te respeto y admiro por siempre.

A **Graciano Vázquez López** por su amor y apoyo para alcanzar las metas que me he propuesto.

A mis cuñadas **Marina Espejel Degado, Estela De la Rosa y Juana Fonseca**, por ser parte de unidad en la familia.

A mis abuelos **Francisca Montiel Espinosa, Tiburcio Espinosa Franco** (q.e.p.d.), **Margarita Xavier** (q.e.p.d.) y **Cupertino Gerón** (q.e.p.d.).

Al Dr. **Carlos Rodríguez Zavaleta** (q.e.p.d.) porque sus obras fueron fuente de inspiración para el desarrollo de la presente investigación.

DATOS BIOGRÁFICOS

La autora de la presente investigación es originaria del Estado de México; realizó sus estudios profesionales en la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa en el año de 1992, con especialidad en Hidrobiología. Se ha desempeñado profesionalmente en empresas de la iniciativa privada que desarrollan actividades sobre evaluaciones de impacto ambiental, protección de recursos naturales en peligro de extinción. En la docencia ha participado en el Departamento de Agroecología de la Universidad Autónoma Chapingo, impartiendo la asignatura de Introducción a la Acuicultura.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA	vi
CONTENIDO	ix
ÍNDICE DE CUADROS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	4
III. HIPÓTESIS	5
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	6
4.1. El agua dulce.....	6
4.1.1. Distribución en el mundo ..	6
4.1.2. Distribución del agua en México	8
4.1.3. Volúmenes de agua residual generada	9
4.1.3.1. Volúmenes mundiales	9
4.1.3.2. Volúmenes nacionales	9
4.1.4. Uso de aguas residuales en la agricultura	11
4.1.4.1. Definición y clasificación de aguas residuales	11
4.1.4.2. Usos mundiales	13
4.1.4.3. Usos nacionales	16
4.1.4.4. Parámetros para evaluar la calidad de aguas residuales	21

4.1.4.5. Ventajas y desventajas de regar con aguas residuales	23
4.1.4.6. Problemas por el uso de las aguas residuales en la agricultura	25
4.1.4.6.1. Contaminación del suelo	26
4.1.4.6.2. Contaminación de los productos cultivados	29
4.1.4.6.3. Daños a la salud de la población	31
4.1.5. Volúmenes de aguas tratadas en México	34
4.1.5.1. Definición de tratamiento	35
4.1.5.2. Ventajas del tratamiento	35
4.1.5.3. Métodos de tratamiento	36
4.1.4.4. Costo de tratamiento de aguas residuales.....	37
4.1.6. Tratamiento y uso del agua residual en Chapingo, México	37
4.2. El acolchamiento del suelo	40
4.2.1. Definición de acolchado	41
4.2.2. Beneficios por el uso de acolchado	42
4.2.2.1. Humedad del suelo	42
4.2.2.2. Temperatura del suelo	44
4.2.2.3. La estructura del suelo	44
4.2.2.4. En la salinidad del suelo	45
4.2.2.5. La incidencia de maleza	45
4.2.2.6. La fertilidad y actividad microbiológica del suelo	46
4.2.2.7. La erosión del suelo	47

4.2.2.8. El intercambio gaseoso suelo-aire.....	48
4.2.2.9. La limpieza y calidad de los frutos	48
4.2.2.10. Sobre plagas y enfermedades	49
4.2.2.11. Sobre el cultivo	49
4.3. Microorganismos entéricos	50
4.3.1. Crecimiento y multiplicación de los microorganismos	50
4.3.2. Microorganismos fitopatógenos	52
4.3.2.1. Erwinia carotovora	52
4.3.2.1.1. Características bioquímicas	53
4.3.3. Microorganismos de los alimentos	53
4.3.4. Clasificación de los microorganismos de los alimentos	53
4.3.4.1. Bacterias	54
4.3.4.1.1. Bacterias aeróbicas mesófilas	55
4.3.4.1.2. Coliformes	56
4.3.4.1.3. Coliformes fecales	57
4.3.4.1.4. Escherichia coli	57
4.3.4.1.5. Salmonella .sp	60
4.3.4.1.6. Shigella sp	62
V. MATERIALES Y MÉTODOS	64
5.1. Ubicación y características del sitio experimental	64
5.2. Fase de campo	65
5.2.1. Análisis de agua	65
5.2.2. Diseño experimental	66
5.2.3. Material vegetal	66
5.2.4. Tratamientos evaluados	67

5.2.5. Variables evaluadas	67
5.3. Fase de laboratorio	71
5.3.1. Variables evaluadas	73
5.4. Conducción y manejo del experimento	74
5.5. Análisis de datos	76
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	77
6.1. Análisis de agua	77
6.2. Efecto de los tratamientos sobre el desarrollo de la planta .	79
6.3. Microorganismos enteropatógenos en el tejido de lechuga .	91
VII. CONCLUSIONES	101
VIII. RECOMENDACIONES	102
IX. LITERATURA CITADA	103
X. APÉNDICE	120

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Gasto de agua por persona en distintos lugares del mundo.....	7
Cuadro 2. Distritos de riego en México que utilizan aguas residuales	18
Cuadro 3. Actividades realizadas durante el desarrollo del experimento.....	70
Cuadro 4. Nutrimientos y concentraciones de fertilizantes con los que se preparó la solución nutritiva con la que se regaron las plántulas de lechuga durante su fase en el invernadero.....	75
Cuadro 5. Comparación de medias de calidad del agua tratada de la planta de la U.A.Ch. con los límites máximos permisibles para contaminantes básicos.....	78
Cuadro 6. Análisis de varianza para variables evaluadas durante el desarrollo vegetativo en el cultivo de lechuga regada con aguas tratadas bajo acolchamiento del suelo, durante las tres primeras fechas.....	79
Cuadro 7. Comparación de medias de variables vegetativas durante las tres primeras fechas de muestreo.....	80
Cuadro 8. Análisis de varianza para variables evaluadas durante el desarrollo vegetativo en el cultivo de lechuga en la cuarta evaluación.....	83
Cuadro 9. Comparación de medias en variables vegetativas durante la cuarta fecha de muestreo.....	84

Cuadro 10. Análisis de varianza para variables evaluadas durante el desarrollo vegetativo en el cultivo de lechuga en la quinta evaluación.....	88
Cuadro 11. Comparación de medias en variables perímetro de cabeza y peso fresco durante la quinta evaluación.....	88
Cuadro 12. Colonias de bacterias presentes en el tejido de lechuga cultivada con agua tratada y bajo acolchado.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de bloque del proceso de tratamiento.....	38
Figura 2. Curva de crecimiento de los microorganismos.....	50
Figura 3. Croquis del Diseño Experimental establecido en campo.....	66
Figura 4. Plantas de lechuga con daño por “pudrición blanda”.....	69
Figura 5. Aspecto general del cultivo y asperción de solución compuesta para detener el daño por bacterias.....	69
Figura 6. Algunos materiales utilizados en el laboratorio para la cuantificación de las bacterias.....	72
Figura 7. Contador de bacterias mesófilas tipo Quebec.....	74
Figura 8. Prueba de comparación de medias del número de hojas en los cuatro tratamientos durante todos los muestreos.....	82
Figura 9. Prueba de comparación de medias del diámetro de planta en los cuatro tratamientos durante todos los muestreos.....	82
Figura 10. Prueba de comparación de medias de sanidad para los cuatro tratamientos durante todos los muestreos.....	85
Figura 11. Muestras de lechugas con daño por bacterias (<i>Erwinia</i> sp) provenientes de: A) tratamiento de agua tratada y acolchado, B) Tratamiento agua limpia y sin acolchar, C) tratamiento de agua tratada y sin acolchar y D) tratamiento de agua limpia y acolchado.....	87
Figura 12. Prueba de comparación de medias del perímetro de cabeza entre tratamientos durante todos los muestreos.....	89

Figura 13. Prueba de comparación de medias del peso fresco entre tratamientos durante todos los muestreos.....	90
Figura 14. Medias aritméticas del número de colonias de bacterias mesofílicas contenidas en el tejido de lechuga para los cuatro tratamientos, durante todos los muestreos.....	92
Figura 15. Comportamiento del crecimiento de colonias de bacterias mesofílicas presentes en el tejido de lechuga en las tres diferentes diluciones evaluadas.....	94
Figura 16. Pruebas positivas de la cuantificación de coliformes totales	95
Figura 17. Comportamiento de las medias aritméticas del número de coliformes totales presentes en hojas de lechuga para los cuatro tratamientos.....	96
Figura 18. Comportamiento de las medias aritméticas del número de coliformes fecales presentes en el tejido de lechuga.....	98
Figura 19. Prueba positiva de coliformes fecales.....	98

RESUMEN

Lilia S. Gerón Espinosa

USO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS PARA RIEGO DE LECHUGA BAJO SISTEMA DE ACOLCHADO

Diciembre 1999

(Bajo la dirección del M.C. Efraín Contreras Magaña).

Para conocer el impacto del uso de aguas residuales tratadas en la agricultura se evaluó en el cultivo de lechuga el riego con este tipo de agua y el acolchamiento plástico. Esta investigación se realizó para cuantificar los organismos siguientes: coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* presentes en el producto cosechado. El experimento fue establecido en las instalaciones de la Universidad Autónoma Chapingo, bajo un diseño de bloques al azar con seis repeticiones, evaluando cuatro tratamientos: (T1) agua tratada y acolchado, (T2) agua limpia y sin acolchar, (T3) agua tratada y sin acolchar y (T4) agua limpia y acolchado. La técnica empleada para el conteo de los organismos contaminantes fue la del Número Más Probable (NMP). Los resultados indican que la presencia de coliformes totales por gramo de lechuga fresca fue: 1.56 organismos en el T1, 5.93 en el T2, 12.43 en el T3 y 5.22 en el T4; con respecto a la presencia de coliformes fecales por gramo de lechuga fue: 1.03 y 1.0 en T2 y T4, respectivamente. Ellos estaban ausentes en tratamientos T1 y T3.

La ocurrencia de microorganismos en todos los tratamientos es más baja que los límites permisibles por las Normas Oficiales de Calidad del producto comestible; por consiguiente es conveniente usar agua residual tratada para riego de lechuga sin riesgo para la salud del hombre.

Palabras clave: bacterias, coliformes fecales, *E. Coli*, NMP, salud del hombre.

ABSTRACT

Lilia S. Gerón Espinosa

USE OF TREATED RESIDUAL WATER FOR WATERING OF LETTUCE UNDER A PADDED SYSTEM

December 1999

(Under the direction of M.C. Efraín Contreras Magaña).

In order to know treated residual water impact in lettuce crop, it was evaluated different combinations of the watering with treated residual water and plastic padded system. This research aimed to observe on harvested products: total coliformes, fecal coliformes and *Escherichia coli*. The experiment was established in the facilities of the Universidad Autónoma Chapingo, and it was evaluated four treatments: (T1) treated residual water and padded, (T2) clean water and without padding, (T3) treated residual water and without padding, and (T4) clean water and padded. The technique applied to notice presence of microorganisms is named: The most probably number (MPN). Results data indicate that: presence of total coliformes per gram of fresh lettuce was: 1.56 of the T1, 5.93 of the T2, 12.43 in T3 and 5.22 in the T4; with respect to fecal coliformes per gram of fresh lettuce was: 1.03 and 1.0 on T2 and T4, respectively. They were absent on T1 and T3.

Occurrence of microorganisms on all the treatments was lower than permissible limits from Official Norms of Quality for foodstuff; consequently it is safe to use treated residual to irrigate lettuce plants without any dangerous to human health.

Key words: bacterias, fecal coliformes, *E.coli*, MPN, human health.

I. INTRODUCCIÓN

El agua residual es la composición variada de líquido proveniente de descargas de usos municipales, industriales, comerciales, servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general cualquier otra mezcla de ellas (Diario Oficial, 1997). El agua, como factor de la producción en el sector agropecuario, es uno de los limitantes actuales y a medida que transcurre el tiempo el problema de un abastecimiento adecuado se hará más crítico debido principalmente al uso ineficiente del recurso, incremento en la demanda de los alimentos y crecimiento de los núcleos urbanos (Vega, 1984).

Calderón (1992) menciona que en México, ha sido clara la importancia del agua en la productividad agrícola, ya que de los 20 millones de hectáreas que se cosechan, aproximadamente 6 millones se encuentran bajo riego, cuyo valor de producción representa el 50 % del total nacional, esto es, la productividad de las áreas regadas es de 2.5 veces mayor que en las áreas de temporal. Por tanto, la agricultura que se realiza en regiones áridas o con déficit de agua para riego, causa una de las alteraciones más significativas que el hombre puede generar, dado que abastecen sus necesidades hídricas mediante el suministro de aguas residuales.

El aumento poblacional requiere de una mayor cantidad de recursos dentro de los cuales el suministro de agua de calidad se hace cada vez más prioritario, así como también se incrementa la demanda de los alimentos y, como es sabido, el sector que más aporta alimentos a la población es el agrícola, por lo que al presentarse una tendencia de suministrar el agua destinada a la agricultura al consumo humano, disminuye el volumen para riego y ante la situación de desabasto hídrico se afectan las superficies cultivadas. A partir de esta situación y dada la necesidad por contar con agua para uso agrícola, la única alternativa que han tenido los productores de algunos Distritos de riego es

emplear las aguas residuales. Estas proceden de diferentes fuentes de las ciudades y son empleadas para el riego de los cultivos, sin tomar en cuenta los daños que pueden ocasionarse tanto al suelo como a la salud de la población que ingieren alimentos producidos en estas condiciones.

Los efectos que el agua negra o residual ocasiona al ambiente son múltiples en función de su contenido de materia orgánica la cual demanda oxígeno para su descomposición, agentes infecciosos, compuestos químicos, sustancias radioactivas y calor, entre otras. Los grandes volúmenes de agua negra generada y que es considerada como producto de desecho y causante de alteraciones al ambiente, dieron la pauta para que en 1969 el Gobierno mexicano a través del primer Departamento de Prevención de Contaminantes dentro la Secretaría de Recursos Hidráulicos estableciera una serie de medidas para que en las diferentes actividades productivas se utilice el agua con el nivel de calidad requerido y después de su utilización, las aguas residuales recibieran el debido tratamiento con objeto de disminuir la cantidad de contaminantes hasta donde fuera posible (Fundación Universo 21, 1990).

A pesar de que el empleo de aguas residuales para la agricultura ya ha sido legislado, estas Leyes no son cumplidas, puesto que no se les da tratamiento antes de ser desechadas o para ser reutilizadas. No obstante, se puede dar una utilidad a las aguas residuales siempre y cuando la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, así como las fechas de cumplimiento que tienen los municipios para establecer una planta de tratamiento, dependiendo del rango de su población, sea cumplida.

Dado que los consumidores de los productos obtenidos de cultivos irrigados con aguas residuales manifiestan gran desconfianza para ingerirlos, es

necesario realizar estudios sobre las relaciones de este tipo de aguas sobre el suelo y las plantas. Específicamente, en el presente trabajo se planteó emplear las aguas residuales generadas en la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), clasificadas según su origen dentro del grupo “aguas residuales” (Granados y Pérez, 1995), en el riego del cultivo de lechuga, que es una especie consumida en fresco y de fácil contaminación; y combinarlo con el uso de acolchado plástico al suelo, para que posiblemente ayuden a eliminar o disminuir la presencia de organismos enteropatógenos en las plantas. El acolchado no solo proporciona un uso más eficiente del agua residual sino que además puede tener efectos significativos en alcanzar una mayor velocidad de decomposición de la materia orgánica contenida en las aguas residuales y favorecer las propiedades del suelo tales como: humedad, temperatura, estructura, salinidad fertilidad, actividad microbiológica e intercambio gaseoso suelo-aire (Ibarra y Rodríguez, 1984).

Con los resultados de este estudio se pretende determinar la factibilidad del empleo de este tipo de aguas combinado con el sistema de acolchado en su utilización en cultivos de hortalizas, como la lechuga. Para ello, se consideró la evaluación de la presencia o ausencia y concentración de agentes enteropatógenos en las “cabezas” de lechuga que permitieran conocer el efecto de las aguas residuales sobre el producto comestible y también el efecto amortiguador del acolchado. Paralelamente, se pretende conocer el comportamiento del crecimiento de la planta y su rendimiento bajo estas modalidades de producción.

II. OBJETIVOS

General

Estudiar la factibilidad de cultivar lechuga con aguas residuales tratadas de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), para no causar daño en la salud de los consumidores del producto comestible.

Particulares

- Evaluar el crecimiento y rendimiento de lechuga cultivada bajo el sistema de acolchamiento al ser regado con aguas residuales tratadas obtenidas de la UACH.
- Determinar el grado de contaminación biológica que adquiere el cultivo de lechuga, con y sin el uso de acolchado al suelo e irrigados con aguas residuales tratadas, en contraste con agua limpia.

III. HIPÓTESIS

- El número de hojas, diámetro de planta, perímetro de cabeza, peso fresco, así como la sanidad de planta de la lechuga, se incrementará con el uso de acolchado plástico en combinación con la irrigación de aguas residuales tratadas empleados en el cultivo de lechuga. Además se tendrá un efecto sinérgico que se manifestará en un mayor rendimiento.
- Es posible reducir o eliminar los microorganismos enteropatógenos (que representan un peligro a la salud del consumidor) mediante el empleo de acolchado del suelo, porque se produce un aislamiento entre el suelo regado con agua tratada y el producto final.
- Es posible emplear las aguas residuales de origen doméstico previamente tratadas, para regar cultivos de hortaliza como la lechuga, sin correr el riesgo de que se encuentren contaminados con organismos enteropatógenos que afecten la salud de los consumidores.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. El agua dulce

4.1.1. Distribución en el mundo

Sánchez *et al.* (1990) mencionan que el agua dulce es un recurso limitado y más si ésta es potable, ocupando solamente el 1 % del total del agua en el mundo, mientras que para Sánchez y Medina (1990) el agua dulce ocupa solamente el 5 % del total del agua en el planeta, de este, el 80 % lo constituyen la nieve de las zonas polares y el 20 % restante es agua líquida aprovechable la cual encontramos en corrientes en su mayor parte en el subsuelo y el resto en lagos y ríos.

Granados y Pérez (1995) dicen que la distribución y consumo del agua en el mundo no es la misma, pues una persona, dependiendo de su país de origen gasta cierta cantidad de agua por día en actividades cotidianas como beber, regar el jardín, lavar el automóvil, limpiar su hogar, en el excusado, en el cuarto de baño, etc., por lo que concluyen, que el destino que lleva el uso del agua, hace que ésta resulte ser un recurso muy importante que cada día se deba cuidar más, sobre todo, en donde ya se empieza a notar su escasez. El gasto de agua por persona, según su lugar de residencia se muestra en el cuadro 1.

En Asia se tiene el 36 % del agua de todos los lagos y ríos del mundo y, sin embargo, alberga al 60 % de la población mundial. En contraste, el río Amazonas contiene el 15 % de agua de todos los ríos del mundo, pero solo el 0,4 % de la población mundial vive lo suficientemente cerca para aprovecharla (Cázares, 1997).

Cuadro 1. Gasto de agua por persona en distintos lugares del mundo.

Lugar de residencia	Gasto en litros por persona por día
Canadá	254.79
California	523.29
Estados Unidos de Norteamérica	301.37
Japón	284.93
Comunidad Europea	150.68
Suiza	260.27
Italia	213.70
Grecia	109.59
Argelia	95.89
India	24.66
Sudán	19.18

Fuente: Granados y Pérez, 1995.

Es tan grave la escasez de agua dulce en el mundo que el Banco Mundial advierte que el problema presenta una amenaza para la economía y la salud de 80 países, es decir 40 % de los habitantes de la Tierra –mas de dos millones de personas– no tienen acceso a agua limpia ni a condiciones sanitarias (Cázares, 1997).

Según el mismo autor el Vicepresidente del Banco Mundial encargado del desarrollo sostenible del medio ambiente predice: “ La causa de muchas guerras del presente siglo ha sido el petróleo, pero en el siglo próximo será el agua”, conforme se incrementa la demanda de agua.

4.1.2. Distribución del agua en México

Sánchez *et al.* (1990) dicen que la principal fuente de abastecimiento son los mantos subterráneos, que se estiman en 110,540,000,000 de m^3 con recarga anual de 31,241,000,000 y una extracción de 23,518,000,000. México cuenta con 410,000,000,000 de m^3 de agua al año, que se generan en 320 cuencas hidrográficas, pero disponiéndose $13000 \text{ m}^3 \cdot \text{seg}^{-1}$, de los cuales $180 \text{ m}^3 \cdot \text{seg}^{-1}$ se usan para fines domésticos e industriales. Sin embargo, la distribución desbalanceada de la población agrava el problema de abastecimiento de agua; parte del centro y norte del país están habitados por 60 % de la población y solo poseen 12 % de agua disponible.

El Gobierno de México, a través de la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, distribuye este volumen por grado de importancia, iniciando el uso público urbano, después el uso en la agricultura, generación de energía eléctrica y otras actividades productivas (Comisión Nacional del Agua, 1994).

Sin embargo en México se ha dado un mal uso del agua, puesto que cada familia desperdicia en promedio unos 150 litros diarios a causa de los malos hábitos, elevando con ello el consumo promedio por persona a 200 y hasta 300 litros al día, cuando 100 litros serían suficientes para el uso doméstico per cápita urbano (Sánchez *et al.*, 1990).

Como día con día crece la población se expanden las zonas urbanas e industriales por lo que también se incrementa la demanda de agua, la cual captar, conducir, potabilizar y suministrar requiere de enormes recursos económicos, humanos y tecnológicos, sobre todo si se toma en cuenta que para finales del siglo XX se tendrán que seguir suministrando a unas 93 ciudades de la República que seguramente para entonces serán mucho más extensas. Por ello, según Becerra *et al.* (1996), actualmente en México que es un país en vías

de desarrollo, la escasez del agua es uno de sus principales problemas y se acentúa más en ciudades altamente pobladas como Guadalajara, Monterrey, Puebla y ciudad de México, las cuales destinan altos presupuestos para proveerse del líquido que requiere su población y resolver el problema de la demanda. Como ejemplo el Distrito Federal de un caudal promedio de $34.6 \text{ m}^3 \cdot \text{seg}^{-1}$, el 78 % se extrae de fuentes subterráneas y el resto se aporta de las fuentes superficiales de la cuenca del río Cutzamala de donde el agua es conducida (Cirelli, 1996).

4.1.3. Volúmenes de agua residual generada

4.1.3.1. Volúmenes mundiales

Cázares (1997) menciona que anualmente se vierten en los ríos del mundo 450 Km^3 de aguas residuales de origen doméstico e industrial, por lo que muchos ríos y arroyos están contaminados desde su nacimiento hasta su desembocadura. Esta situación se acentúa más en los países en vías de desarrollo. Con ello, se concluye que un tercio de la humanidad vive en un estado permanente de enfermedad o debilidad causada por el agua impura, otro tercio se ve amenazado por el vertido de sustancias químicas cuyos efectos a largo plazo se desconocen.

4.1.3.2. Volúmenes nacionales

En 1988 la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) registró que las ciudades que presentan los volúmenes mayores de aguas negras son: Distrito Federal, Guadalajara, Culiacán y Córdoba (Fondo Universo 21, 1990).

Los datos de volúmenes de agua negra producida son muy considerables, así se tiene que para 1980 se vertieron a los cuerpos de agua del país $110 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

de agua residuales municipales, $74 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ de residuos líquidos industriales y cerca de $0.5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ de aguas provenientes de la agricultura.

Sin embargo Mascareño (1974), dice que la ciudad de México para desprenderse de sus aguas residuales construyó el Túnel de Tequixquiac, el Tajo de Nochistongo, El Gran Canal de Desagüe, el Emisor Poniente y el Sistema de Drenaje Profundo para transportar dichas aguas al río Tula, los cuales en forma conjunta tienen un aforo de $40 \text{ m}^3 \cdot \text{seg}^{-1}$ de aguas residuales.

Sánchez *et al.* (1990) mencionan que las ciudades de México, Monterrey y Guadalajara son las que más aguas residuales producen pues generan 34 % del total urbano a nivel nacional por lo que provocan un problema de gran impacto: generan grandes volúmenes de agua residual.

Cortés *et al.* (1993) establecen que los centros urbanos industriales del país, generan un gasto aproximado de $242 \text{ m}^3 \cdot \text{seg}^{-1}$ de aguas residuales, de los cuales alrededor de $82 \text{ m}^3 \cdot \text{seg}^{-1}$ son de origen industrial.

Becerra *et al.* (1996) mencionan que en la Zona metropolitana del Valle de México se genera un orden de $40 \text{ m}^3 \cdot \text{seg}^{-1}$ de aguas residuales, de los cuales, el D. F. produce $29 \text{ m}^3 \cdot \text{seg}^{-1}$ y los 17 municipios conurbados $11 \text{ m}^3 \cdot \text{seg}^{-1}$. Las aguas que colectan los sistemas de drenaje descargan a cuatro drenes: El río Churubusco, El Gran Canal de Desagüe, El Interceptor Poniente y el Sistema de Drenaje Profundo.

Por último Mora *et al.* (1998) mencionaron en una conferencia realizada en la Universidad Nacional que actualmente se descargan $45 \text{ m}^3 \cdot \text{seg}^{-1}$.

4.1.4. Uso de aguas residuales en la agricultura

4.1.4.1. Definición y clasificación de aguas residuales

Para Rodier (1981) las aguas residuales son aquellas que han sido utilizadas por el hombre en alguna actividad primaria en la cual adquieren carga de elementos minerales y/o orgánicos y que han sido desechadas por la imposibilidad de volverlas a utilizar como en su estado original; Turk (1988), las define como líquidos procedentes de la actividad humana que llevan en su composición gran parte de agua y que generalmente, son vertidos a las masas de aguas continentales o marinas, mientras que para Cruz (1989), las aguas residuales son aquellas que han sido degradadas por su empleo en usos municipales y pecuarios, mezcladas o no con aguas superficiales, subterráneas o de lluvias. Agrega que en términos generales el agua que ha sido empleada para fines domésticos tiene transformación en su contenido biológico, y que si han sido empleadas para fines industriales se modifican su calidad físico-química. Los cambios mencionados ocasionan que las aguas residuales sean de calidad variable y compleja a través del transcurso del día.

La Comisión Nacional del Agua (1990), considera como agua residual a las aguas provenientes de actividades domésticas, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarias o de cualquier otra actividad humana y que por el uso que hayan recibido se le hayan incorporado contaminantes en detrimento de su calidad original. O también se entiende como agua residual a la composición variada de líquido proveniente de descargas de usos municipales, industriales, comerciales, servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general cualquier otra mezcla de ellas (Diario Oficial, 1997).

Granados y Pérez (1995), mencionan que las causas de contaminación del agua pueden ser diversas y de variada naturaleza, pudiéndose distinguir cinco

principales: vertido de aguas residuales y urbanas, contaminación producida por la industria, contaminación de origen agrícola, contaminación térmica y por el proceso de eutrofización. Por ello dichos autores clasifican las aguas contaminadas, según su origen en:

1. **Aguas residuales.** Son aquellas que provienen de las casas y contienen en su mayoría una gran cantidad de materia orgánica.
2. **Aguas de origen industrial.** Constituyen la principal causa de la contaminación del agua por las sustancias que vierten (aceite, gasolina, sustancias radioactivas, petróleo, detergentes, etc.).
3. **Contaminación de origen agrícola.** Proviene de los plaguicidas y fertilizantes disueltos en el agua que llega a los ríos y lagos.
4. **Aguas negras.** Nombre que se les da a aquellas aguas que transportan a todas las anteriores y que resultan ser peligrosas para la salud.

La contaminación de agua es uno de los problemas más apremiantes que enfrenta hoy en día la humanidad y aunque se hallan emprendido muchas acciones, tanto para impedir que este fenómeno prolifere, como para depurar las aguas residuales (ya usadas), lo cierto es que la velocidad con la que se ensucia aún supera con mucho nuestra capacidad de mantener su calidad biológica (Sánchez, *et al.*, 1990).

Las aguas contaminadas también se pueden clasificar según los efectos que originan sobre el ambiente acuático o terrestre sobre el cual se vierten, se le puede clasificar en tres tipos:

1. **Contaminación física.** Esta resulta por cambios en color, transparencia, temperatura, densidad, presencia de espumas y sustancias radioactivas.

2. **Contaminación química.** Comprende compuestos orgánicos e inorgánicos que son generados en todas las fuentes; los urbanos proceden de actividades domésticas y operaciones industriales, además de los arrastres que las lluvias llevan a los alcantarillados al lavar techos, plazas y calles. Las fuentes agropecuarias y naturales contribuyen con residuos de fertilizantes, plaguicidas y productos de la descomposición de plantas y animales.
3. **Contaminación biológica.** Es causada por organismos vivos, predominantemente por organismos patógenos tales como las bacterias y virus causantes de las enfermedades llamadas hídricas: cólera, tifoidea, disentería, hepatitis y enfermedades diarreicas. En el agua existen cinco clases de organismos capaces de infectar al ser humano: bacterias, virus, protozoarios, helmintos y hongos; de los cuales algunos completan su ciclo de vida al pasar a través de un portador acuático intermedio.

4.1.4.2. Usos mundiales

La práctica del riego agrícola con aguas de desecho de origen doméstico, lo mismo que la utilización de excremento y otros desperdicios orgánicos domésticos como abono, son muy antiguos. En china y México, por ejemplo, el riego del huerto familiar con las aguas utilizadas para el aseo personal y de la cocina, está documentado en diversos textos, lo mismo que el almacenamiento de excremento de humanos y animales para abonar los campos (Peña, 1997).

Según este mismo autor, el empleo de aguas negras provenientes de núcleos urbanos para riego de amplias extensiones de tierra, es más reciente y se encuentra documentada desde 1650 en Edimburgo, Reino Unido, alcanzando una mayor difusión e importancia a partir de la segunda mitad del siglo XIX.

También señala que en 1968, se inicia la práctica de aplicar al riego agrícola las aguas desalojadas por París, como una medida para disminuir la contaminación del Sena río abajo, es decir como una forma de tratar las aguas de desecho. Para 1872 eran irrigadas de esa manera cerca de 900 hectáreas de tierra circundante de la capital francesa y para 1904 se sumaban 5,300 hectáreas beneficiadas con este tipo de aguas.

Ayers y Wescot (1987), mencionan que en muchos lugares del mundo se usan aguas de calidad inferior a la establecida por las normas sanitarias, como son las sobrantes de las ciudades, porque frecuentemente estas aguas constituyen la única fuente disponible para usos agrícola, a pesar de ello ha surgido el interés por conocer tecnologías para tratar estas aguas residuales, con la finalidad de volver a utilizarlas reduciendo así los volúmenes que se desechan.

En algunos países como Israel, Estados Unidos, Alemania, y otros ya se han desarrollado proyectos de reutilización del agua residual; en el distrito de riego Brootview, California se mezclan un 80 % de agua proveniente del drenaje agrícola con un 20 % de agua limpia, posteriormente con esta mezcla se riegan las áreas de este distrito, dando como resultado un incremento en la producción de las especies ahí cultivadas y una disminución de sales en el suelo.

En Alemania en Braunschweig utilizan las aguas residuales en los cultivos desde hace 100 años, bajo el sistema de aspersión portátil para cultivar papa, cebada, avena, trigo y remolacha azucarera (Ayers y Wescot, 1987).

Day y Tucker (1960) en sus estudios evaluados en Arizona, al comparar el efecto del riego con aguas negras con y sin fertilizante y el testigo regado con agua "blanca" sobre el rendimiento de las siguientes gramíneas: avena, cebada

y trigo, obtuvieron los mejores resultados en aquellas en las que emplearon agua residual sin fertilizante.

Algunos autores como Bower y Chaney (1974) y Shuval (1977), señalan que dentro de los componentes peligrosos del agua residual para el medio ambiente están los patógenos, sólidos sedimentables, metales pesados, detergentes y diversos tipos de sales.

Noy y Fermesser (1977) obtuvieron incremento en el rendimiento de algodón como respuesta al riego con aguas residuales, mientras que Clapp (1984) y Bole *et al.* (1985) llegaron a la conclusión que los forrajes tienen buena respuesta a las aguas residuales y, con aguas mezcladas y efluentes secundarios se pueden regar cultivos como alfalfa, algodón, arroz, forrajes y sorgo.

Burau (1987), estableció que si al agua residual se le aplica un tratamiento consistente en: coagulado, filtrado, sedimentado y desinfectado, se pueden sembrar hortalizas como: brócoli, coliflor, lechuga, etc.

Ayers y Wescot (1987) mencionan que en la ciudad de Fresno, California, E.U.A. situada en el Valle de San Joaquín, donde se tratan $1.5 \times 10^5 \text{ m}^3$ de agua residual al día y se riegan 275 ha que pertenecen al municipio y 1350 ha de tierras particulares, en las cuales se cultivan maíz, algodón, cebada, alfalfa, almendros, vid, avena, sorgo y frijol; cultivos en los cuales no ha sido necesaria la aplicación de fertilizantes químicos.

Estos ejemplos y otros más no mencionados demuestran la necesidad de emplear aguas de calidades inferiores en el uso agrícola mediante técnicas que permitan un mejor aprovechamiento de este recurso y una disminución en el riesgo sanitario de los productos cultivados.

4.1.4.3. Usos nacionales

Las aguas residuales se han venido utilizando en forma espontánea, principalmente en las zonas de mayor escasez para satisfacer demandas que no requieren calidad de agua potable, en la agricultura, la industria o servicios municipales (Cortés *et al.*, 1993).

El uso de las aguas residuales tratadas puede ser muy diverso pues además de ser empleadas en el sector agrícola, en muchas partes este tipo de agua es utilizada en el riego de áreas verdes, urbanas, zonas deportivas, alimentación de lagos de ornato y de recreación. También en el área industrial así como otro sector productivo de alimento como la acuicultura; siempre y cuando reciba un tratamiento que asegure la calidad que requiere esta actividad.

Se estima que a nivel nacional, se están regando con aguas residuales alrededor de 350,000 hectáreas con un volumen de $160 \text{ m}^3 \cdot \text{seg}^{-1}$ de aguas de origen municipal, algunas mezcladas con aguas superficiales o subterráneas y otras de origen industrial. De esta área, en abril de 1991, se tenían identificadas 24,100 hectáreas sembradas con cultivos restringidos como son hortalizas y algunos frutales que se consumen en crudo (Sancho, 1992).

El mayor aprovechamiento de aguas residuales en la agricultura, se realiza en los Distritos de riego 03 y 100 Tula-Alfajayucan, ubicados en el Valle del Mezquital, Hidalgo, en donde desde hace casi 100 años se aprovechan las aguas residuales crudas o mezcladas con aguas blancas, provenientes de la zona metropolitana de la Ciudad de México y municipios conurbados del Estado de México, para irrigar aproximadamente 85,000 hectáreas.

Otras zonas que aprovechan las aguas residuales de manera importante en la agricultura prácticamente sin ningún control sanitario son: Aguascalientes,

Chihuahua, Comarca Lagunera, Durango, Ciudad Juárez, León, Monterrey, Morelia, Ciudad Obregón y Puebla (Cortés *et al.*, 1993).

Actualmente muchas de las zonas de producción hortícola en México hacen uso de las aguas residuales atendiendo a las necesidades que se tienen por este recurso, para tal fin se destinan grandes volúmenes de agua sin reconocer el uso consuntivo que requieran, así como también los efectos que se tienen sobre el suelo y las plantas.

La agricultura bajo riego en México ha sido siempre frenada por la falta de coincidencia entre la disponibilidad de agua y tierras propicias. Sin embargo, las condiciones climáticas, la aridez y las condiciones orográficas que presenta el país provocan la necesidad de regar las superficies sembradas.

Resulta contradictorio el problema existente en muchas zonas agrícolas del País en materia de uso y suministro de agua, la cual está limitada y es insuficiente, pues el mal uso que se hace de ella origina que después de un primer uso ya no sea utilizada nuevamente y se conciba como producto de desecho conocido comúnmente como agua negra.

Para 1992 se tiene conocimiento que a nivel nacional seis distritos de riego, señalados en el cuadro 2 hacen uso de las aguas residuales para la agricultura.

En este cuadro se observa que el distrito con mayor superficie es el 03 Tula, en donde las aguas residuales que reciben se destinan al riego de forrajes, granos y hortalizas cuya producción abastece en gran medida al mercado de la zona metropolitana (central de abastos), principal distribuidor de alimentos de la población del Distrito Federal, por lo que el Gobierno en una de sus Normas restringe el tipo de cultivos regados con aguas residuales.

Cuadro 2. Distritos de riego en México que utilizan aguas residuales

Número de Distrito	Nombre del Distrito	Estado	Área regada (ha)	Área factible de riego (ha)	Cultivos
03	Tula	Hidalgo	43,000	48,000	Alfalfa, maíz, chile, jitomate, trigo, tomate de cáscara y calabaza
09	Cd. Juárez	Chihuahua	3,000	17,500	Algodón, alfalfa y trigo
28	Tulancingo	Hidalgo	300	1,100	Pastos, maíz y alfalfa
30	Valsequillo	Puebla	17,600	33,800	Maíz, alfalfa, frijol y chile
88	Chiconautla-Chalco- Texcoco	México	4,300	4,300	Maíz, alfalfa, remolacha y tubérculos
100	Alfajayucan	Hidalgo	14,700	28,900	Maíz, frijol, tomate de cáscara y trigo
TOTAL			82,900	133,600	

Fuente: Pescod, 1992.

El agua residual en los Distritos de Desarrollo Rural en México representa una fuente importante de reuso, especialmente en las zonas áridas y semiáridas, donde el recurso agua actúa como factor limitante tanto en calidad como en cantidad, en resumen, a medida que la demanda de agua se incrementa, el riego con agua residual se convierte en un importante componente que debe considerarse dentro de la planeación y desarrollo total del recurso (Cámara, 1994).

Reyes (1983) y Lama (1985) llegaron a la conclusión que el uso de aguas negras, urbanas y municipales en la irrigación de cultivos es una de las alternativas para disponer de más agua en las regiones áridas y semiáridas.

Rodríguez (1987) menciona que debido a la presencia de nutrimentos en el agua negra con la que se riegan cultivos de maíz, alfalfa, avena, trigo, cebada, tomate y frijol, no aportan respuesta de éstos a la aplicación de fertilizante,

además de que presentan buenos rendimientos comparados con el testigo que se riega con agua blanca y aplicación de fertilizante.

Murrieta y Uvalle (1991) en su estudio realizado en el Valle del Yaqui, para utilizar el agua residual agrícola y urbana del Dren Esperancita para su reuso y adecuación de suelos y cultivos a este tipo de aguas, así como determinar el posible impacto ambiental llegaron a los siguientes resultados: (1) la calidad del agua es buena para regar 12,000 Ha con 12 cultivos y (2) el impacto del riego con agua negra en el suelo es bajo.

Ortega y Díaz (s.a.) mencionan que desde 1901 las aguas negras de la Ciudad de México se han utilizado para riego, siendo el Valle del Mezquital, Estado de Hidalgo, la zona agrícola que más se ha regado con estas aguas. Actualmente en esa zona se riegan mas de 38,000 hectáreas, considerándose uno de los distritos de riego más grandes del mundo que hacen uso del agua residual; para diversos cultivos, entre los que se encuentra la alfalfa forrajera, que ocupa la mayor superficie (Rodríguez, 1994).

En general, estos autores recalcan que los rendimientos que se han alcanzado en la mayoría de los cultivos son semejantes o mayores que los rendimientos de estos mismos cultivos de otras áreas del país en donde se aplican grandes cantidades de fertilizantes; sin embargo en su estudio de las aguas negras de la red hidrográfica de los estados de México e Hidalgo llegan a la conclusión de que todas las aguas de dicha red se pueden utilizar para riego siempre y cuando el valor de la relación de adsorción de sodio (RAS) se encuentre entre 0.0000 y 63.3682; así como realizar medidas agronómicas especiales como paso frecuente de subsoleo para evitar desarrollo de condiciones reductoras.

Cámara (1991) en su estudio sobre el agua residual y su aprovechamiento en el riego agrícola en el Valle del Yaqui, Sonora, obtuvo como resultado que el reuso del agua residual queda condicionado a los siguientes puntos: cultivos en que va a emplearse, tipo de suelos en que va a emplearse, prácticas de manejo integral y condiciones climatológicas de la zona.

De la Parra y Rodríguez (1991) tienen la convicción de que el agua residual no es un problema que se tenga que resolver, sino que es un recurso que se debe aprender a administrar y aprovecharse una vez tratada, para el riego de áreas verdes, como en la ciudad de Tijuana, o para la industria como en la ciudad de Monterrey, Nuevo León, donde la autoridad encargada del manejo del agua en la ciudad, le vende el agua residual cruda para su tratamiento y "aprovechamiento".

Dado que las aguas residuales de una ciudad son un recurso fundamental en el contexto urbano, pues los nutrientes que llegaron en forma de alimento a las ciudades y que se alojan en las aguas residuales, no solo se han desperdiciado al no aplicarse para el riego urbano, sino que son un componente importante en la hiperfertilización de cuerpos de agua superficial y subterránea en toda la República, donde son depositadas; por ello no existe justificación alguna para que no se adecue la infraestructura urbana para administrar correctamente dicho recurso (De la Parra y Rodríguez, 1991).

Durán y Hernández (1992) hacen énfasis que las aguas residuales sin previo tratamiento se han utilizado con fines agrícolas en el Distrito de Desarrollo Rural 03, el cual es reconocido como el más grande del mundo bajo éstas características, con unas 85,000 hectáreas aproximadamente y cuyo crecimiento para el año 2000 se estima sea de 150,000 ha bajo riego. Otras zonas que aprovechan aguas residuales se encuentran en los estados de

Morelos, Nuevo León, Puebla, Tlaxcala, Jalisco, B.C. Norte, Michoacán, Estado de México y San Luis Potosí.

4.1.4.4. Parámetros para evaluar la calidad de aguas residuales

El vertido de aguas residuales se ha utilizado durante muchos años para el riego de los cultivos, y su empleo va aumentando sobre todo en regiones donde hay escasez de agua; estas descargas de aguas residuales pueden ser utilizadas si se cumplen las debidas precauciones sobre el contenido de sales, elementos nutritivos y oligoelementos, los cuales debidamente manejados pueden ser ventajosos para la agricultura, por lo que es conveniente dar por lo menos el tratamiento primario consistente en la separación de sólidos suspendidos contenidos en las aguas negras, método que elimina de 40 a 60 por ciento, mediante el proceso físico de asentamiento en tanques de sedimentación (Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, 1993), para evitar una crisis debido a una serie de alteraciones ambientales por contaminación biológica ocasionada por coliformes totales y fecales, así como la química por metales pesados. También debe cubrir requisitos de salinidad, pH, permeabilidad y toxicidad principalmente, entre otros (Pescod, 1992).

La calidad del agua residual depende en gran medida del uso que se le dé, y de la naturaleza de los desechos que se agregan durante su uso, por lo que dentro de las características que interesan en el control de la contaminación por agua residual municipal son: demanda bioquímica de oxígeno (D.B.O.), sólidos en suspensión y análisis bacteriológico (Cámara, 1991).

Las decisiones referentes al uso agrícola de las aguas residuales incluyen consideraciones sobre los efectos del agua, suelo y aire (Pescod, 1992). Para comprobar que en las aguas residuales existen altos contenidos de materia orgánica, se han creado ciertos métodos o criterios a evaluar tales como:

demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), carbono orgánico total (COT), y el método del permanganato potásico; los cuales nos indican, por vía química o biológica, los procesos que ocurren en un agua residual (Seóanez, 1977).

Ortíz (1997) menciona que las aguas residuales contienen grandes cantidades de compuestos en solución y en suspensión y que en función de las fuentes pueden provocar contaminación en los suelos desde el punto de vista de salinidad este tipo de agua posee valores elevados de sales y es común observar ensalitramiento del suelo, a partir de este tipo agua. Esta situación enmarca la necesidad de considerar algunos de los criterios técnicos para la producción que algunos investigadores recomiendan.

En cuanto a la calidad bacteriológica de las aguas residuales empleadas en la agricultura, está se establece a partir del número de coliformes fecales y la presencia de bacterias patógenas como son la *Salmonella*, *Shigella*. Sin embargo no existe un consenso sobre el número máximo de coliformes permisibles para las aguas de riego, y únicamente se encuentra lo establecido por la Organización Mundial de la Salud, que menciona que para las aguas utilizadas en riego sin "restricción" (para cualquier tipo de cultivo) no debe tener más de 100 coliformes fecales por cada 100 ml (Pescod, 1992), mientras que las aguas residuales depuradas en California y Arizona, para el riego de cultivos que se consumen en crudo (hortalizas como la lechuga) no pueden contener una media geométrica mayor a 2.2 coliformes fecales por cada 100 ml. En Israel, las aguas para regar cultivos que después se van a consumir crudos, deben tener menos de 12 coliformes feclaes por cada 100 ml (Ramos, 1998).

Las aguas residuales previamente tratadas mediante el método de laguna de estabilización han permitido confirmar que este tipo de tratamiento tiene gran eficiencia para remover patógenos, por lo que se puede garantizar que el

efluente puede ser usado en la agricultura y acuicultura cuando alcanzan niveles de 10,000 coliformes fecales por 100 ml (Moscoso, 1993).

4.1.4.5. Ventajas y desventajas de regar con aguas residuales

Según Mora (1980), el aprovechamiento de las aguas residuales en México y algunas partes del mundo es ventajoso por los siguientes aspectos:

- Contribuye en forma importante al abatimiento de los caudales de aguas residuales y por lo tanto al control de la contaminación.
- Es muy amplio el espectro de usos del agua, por lo que su calidad no debe estar siempre para uso potable.
- Es una fuente adicional, segura y creciente para garantizar la satisfacción de las demandas de agua en algunas zonas.
- Se retarda la saturación de la capacidad de los sistemas de drenaje y se disminuyen los costos de construcción y operación.
- Disminuye el uso del recurso hídrico en la mayor parte de las zonas del país con escasez del mismo.
- Las densidades de distribución geográfica de los asentamientos humanos no corresponden a la ubicación de los volúmenes disponibles del país. Más del 70 % de la actividad urbana e industrial se encuentra ubicada por encima de los 500 m.s.n.m., en cambio, sólo el 15 % de los recursos hidráulicos están arriba de ese nivel.
- En muchas zonas es más económico emplear aguas residuales tratadas que blancas, un ejemplo concreto es el Valle de México y la zona de Monterrey.

Ortega y Díaz (s.a.) mencionan que el efecto benéfico de las aguas residuales reside en que éstas contienen altas cantidades de materia orgánica y cantidades suficientes de elementos nutritivos, mientras que Cortés (1989) dice

que la materia orgánica contenida en el agua residual mejora las condiciones del suelo y su productividad de las plantas, sin embargo De la Parra y Rodríguez (1991) establecen que el agua residual contiene una riqueza digna de reconocerse, pues del 99.7 % de la misma es agua pura; los sólidos que contiene son principalmente (80 %) materia orgánica, la cual descompuesta tiene 60 % de proteínas, 20 % de carbohidratos y 20 % de grasas y aceites.

Rodríguez (s.a.) señala que el agua negra presenta generalmente una composición heterogénea, siendo los principales componentes: nitratos, detergentes, sólidos orgánicos en suspensión, metales pesados, microorganismos y otros fertilizantes.

A pesar que se ha señalado las ventajas del uso de aguas residuales en la agricultura, es obvio que también se presentan desventajas, pues aunque las aguas negras contienen una riqueza de nutrimentos, en los últimos años debido al establecimiento de diferentes industrias en el Valle de México, se ha observado que estas aguas han sufrido variaciones en la concentración de iones de Na^+ y Ca^{++} , así como también en el contenido de cloruros y bicarbonatos (Ortega y Díaz, s.a.). Ahora bien, la descarga indiscriminada de sustancias tóxicas, con altos contenidos de sales o con elementos indeseables complica el aprovechamiento de las aguas residuales al presentarse efectos colaterales adversos en la cadena natural agua - suelo - planta.

Mendoza (1980) dice que las desventajas de la utilización de las aguas residuales en el riego de cultivos son:

- Los habitantes de la zona de riego están inmersos en un ambiente peligroso para la salud por la presencia de organismos patógenos en todas partes por la práctica de mezclar las aguas residuales con blancas.

- Se riegan con aguas residuales productos agrícolas que se consumen crudos, poniendo en peligro la salud de los consumidores.
- Los metales pesados que contiene el agua residual se han venido depositando en los suelos y se han introducido en las cadenas tróficas que incluyen al hombre a través de los forrajes y de la ingestión directa de los productos regados con éstas aguas.

Méndez (1982) menciona que en México, las aguas negras de las grandes ciudades presentan concentraciones hasta de $22 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de diferentes surfactantes los cuales al no ser degradados rápidamente, ocasionan la reducción de la fertilidad del suelo y por ende la productividad.

Cortés (1989) señala que el uso de aguas residuales en la agricultura produce contaminación del suelo, plantas y medio ambiente; ya que dichas plantas acarrean metales y microorganismos (bacterias coliformes, estafilococos, *Pseudomonas*, *Salmonelas* y helmintos) que ponen en peligro la salud humana, no solo en el sector rural, sino también de la población consumidora de los productos agrícolas.

4.1.4.6. Problemas por el uso de las aguas residuales en la agricultura

Aún cuando la práctica de regar con aguas residuales ha traído beneficios obvios en la producción, se presentan algunos problemas y/o posibles daños tales como 1) contaminación de los suelos y aguas subterráneas 2) contaminación de productos cultivados y 3) daños a la salud de la población por manejo de aguas residuales debido a la recirculación de compuestos y organismos patógenos, dado que hoy en día los microorganismos enteropatógenos es el problema más evidente en la contaminación de productos agrícolas.

4.1.4.6.1. Contaminación del suelo

Aunque sabemos que el uso de aguas residuales en riego agrícola presenta ventajas como el incremento de nutrimentos como nitrógeno, fósforo, potasio y materia orgánica, además de proporcionar humedad a los cultivos, también se presentan desventajas cuando su uso es inadecuado o no se consideran las condiciones del suelo en los que serán vertidas. Otra forma de contaminación al suelo por el uso de aguas residuales es la posible acumulación de metales pesados en este.

Juárez (1971) menciona que el boro que se encuentra en las aguas negras es tóxico para las plantas de frijol con una concentración de 5 ppm y para las plantas de lechuga a una concentración de 15 ppm en la solución del suelo. Respecto a la presencia de SAB (Sulfonato Alquilo de Benceno), también es tóxico para las plantas de frijol a nivel de 40 ppm en la solución del suelo estando éste saturado, y para las lechugas su rendimiento disminuye a partir de la concentración de 60 ppm bajo las mismas condiciones.

Mascareño (1974) en su investigación observó que las aguas residuales ocupadas para el riego en el Distrito 063 del estado de Hidalgo, aportan metales pesados al suelo, detectando la presencia de As, Al, Hg y Pb en tejidos vegetales, así como elevados niveles de Cu, Fe y Zn. Noy y Feeinmesser (1977) mencionan que si se riegan con aguas residuales los suelos pesados (arcillosos), se puede llegar a obstruir su infiltración, ocasionando anegamiento, algunos componentes que posee el agua en altas concentraciones puede provocar fitotoxicidad, mientras que Mendoza (1980) y Méndez y Guajardo (1985) en sus diferentes estudios mencionan que las concentraciones de As, B, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn y Mo del agua residual proveniente de la ciudad de México y que llega al Valle del Mezquital, sobrepasan los límites permisibles

recomendados por la EPA (US-EPA, de 1973), para el agua de uso continuo en irrigación.

Tiller (1989) señala que las aguas residuales usadas para riego acarrean elementos útiles para las plantas como son el nitrógeno, fósforo y potasio, los cuales tienen un efecto benéfico para su desarrollo y reducen los costos de producción. Sin embargo, su uso sin ningún tratamiento previo, las convierte en una fuente potencial de contaminación del suelo por metales pesados y para las plantas que en él crecen.

García *et al.* (1988) comprobaron que existen elevadas concentraciones de Pb, Cr y Cd en tejidos vegetales, principalmente en especies desarrolladas en suelos regados con aguas residuales de la ciudad de México por largo tiempo. Sin embargo, Flores *et al.* (1990) y Mejía *et al.* (1990) llegaron a la conclusión que los metales introducidos con el agua de riego se acumulan principalmente en la capa arable, disminuyendo su concentración conforme aumenta la profundidad del perfil del suelo.

Cajuste *et al.* (1991) observaron que la acumulación de los metales pesados es mayor en suelos irrigados con aguas negras, en comparación con los niveles que se presentaron en suelos regados con una mezcla de aguas residuales y aguas de escorrentía. Mientras que Carrillo *et al.* (1992) señalan que el uso de aguas residuales en el Valle del Mezquital provocan la introducción de los siguientes metales pesados al suelo: Pb, Cr, Cd, Ni, Cu, Mn y Zn en diferentes concentraciones, mismos que al ser comparados con los valores de los metales pesados encontrados en el agua de pozo, los primeros superan a los segundos en más de diez veces su concentración. Estos autores al comparar los niveles de Cd de las aguas residuales respecto a los límites establecidos por el reglamento para la prevención y control de la contaminación de aguas en México, encuentran que los superan ampliamente. Sin embargo, pudieron

observar que la concentración de los metales pesados disminuye conforme el agua sale al canal de drenaje. Por tanto, la mayor proporción de metales (del 66 al 99 %) se encuentran en forma adsorbida y están fijados en el suelo.

En su investigación realizada en el Valle del Mezquital obtienen como resultado que este tipo de aguas introducen al suelo metales pesados tales como cadmio en una concentración de 13-14 µg/l, la cual supera los límites permisibles recomendados por la legislación mexicana (Carrillo *et al.*, 1992).

Mendoza *et al.* (1992) en su trabajo sobre el efecto del agua residual sobre algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, encontraron que sí se presentan cambios en dichas propiedades del suelo por el uso de efluentes, lodos y compostas. Las propiedades físicas de espacio poroso, estabilidad, tamaño de agregados y capacidad de retención de la humedad del agua se benefician; las propiedades químicas como materia orgánica y relación C/N, actividad enzimática y contenido de nutrimento mejoran, pero se deterioran la concentración de sales y metales pesados porque aumentaron. Respecto a la población microbiológica del suelo, se ve disminuida por el uso del agua residual.

Torres (1992) estimó que los niveles de Fe superan varias veces los límites permitidos en el agua, suelo y cultivos estudiados. El Pb y Zn superan generalmente al Cd y Cr, pero siempre con una concentración menor a la del Fe; por tanto sugiere controlar los aportes y/o tratamientos del Fe, Cd y Cr así como contar con parámetros o normas de control y evaluación que permitan decidir las concentraciones y condiciones que condicionen el uso del agua residual.

Flores (1984) llegó a la conclusión que las aguas negras se pueden usar en la agricultura siempre y cuando se tomen ciertos cuidados, pues éstas aguas no

tratadas son difíciles de manejar por su alto contenido de materia orgánica, la cual al existir en grandes cantidades se convierte en un estorbo, en lugar de ser útil, porque tiene un valor fertilizante muy bajo y por tanto causa un metabolismo en el suelo. Por ello se deben utilizar en suelos de textura ligera, con buen drenaje y de preferencia que tenga una velocidad de permeabilidad de moderada hasta moderadamente rápida.

Granados y Pérez (1995) mencionan que el uso del agua residual origina en el suelo diferentes alteraciones por lo que consideran que el suelo y el agua presentan alteraciones por residuos de abonos orgánicos e inorgánicos, plaguicidas y otras fuentes cuyos efectos no son observables a corto plazo pero muy deteriorantes a mediano y largo plazo y su restauración es lenta y costosa.

4.1.4.6.2. Contaminación de los productos cultivados

Respecto al tipo de cultivos que pudieran regarse con aguas tratadas se sabe que los frutales debido a su alta sensibilidad a ciertos elementos como boro, cloro y sodio se encuentran “prohibidos” en las zona irrigadas con aguas que contengan altas concentraciones de los elementos antes mencionados. Las hortalizas tienen un mayor rango de tolerancia a las aguas residuales, sin embargo, muchas de ellas que poseen contacto directo con el agua residual, como es el caso de lechuga, zanahoria, betabel y rábano, entre otras, pueden llegar a contaminarse con metales pesados y organismos fitopatógenos (como la *Erwinia* spp.) y las bacterias entéricas, que son aquellas que se encuentran en los intestinos del hombre y le causan enfermedades gastrointestinales, tales como *Salmonella*, *Shigella*, *Escherichia coli*, *Vibrio Cholerae*, *Staphylococcus aureus* y *Clostridium perfringes* entre las más importantes y comunes, que ponen en riesgo la salud humana. Por tal razón se ha considerado que las aguas residuales que se empleen para riego agrícola deben pasar por un

proceso de tratamiento con la finalidad de eliminar las sustancias orgánicas e inorgánicas y patógenas que pueden ser causante de problemas de salud (Sáenz, 1998)

Collins (1969) recomienda que todas las hortalizas que se consumen en fresco como ensaladas deben someterse a un proceso de desinfección, porque pudieron haber crecido en aguas contaminadas y es posible que exista *Escherichia coli*.

Janetti (1970) menciona que para disminuir las posibilidades de transmisión de alguna enfermedad por consumo de productos agrícolas regados con aguas negras se pueden aplicar métodos tales como: el almacenaje de los productos, el lavado con agua limpia, el lavado con la acción de productos detergentes, el lavado con agentes germicidas, el uso de cloro aplicado en forma de gases y aplicación de calor. Con estos métodos se remueven o mueren las bacterias sin alterar las características de sabor, textura y presencia de los productos. Según los resultados obtenidos llegó a las siguientes conclusiones: no hubo evidencias que las bacterias, amibas o huevecillos de helmintos penetren a los vegetales; que los productos vegetales que fueron regados con aguas negras no muestran un mayor contenido de organismos coliformes que aquellos que se cultivan con agua limpia, siempre y cuando las aguas negras hayan sido aplicadas antes de que las plantas sean sembradas o cuando están en desarrollo; que las cepas de *Salmonella* y *Shigella* no sobreviven en la superficie de los vegetales por más de una semana y que la sobrevivencia de quistes de *Entamoeba histolytica* depende de la humedad del lugar de almacenaje.

Rodríguez (s.a.) en un estudio para conocer el tiempo que *Vibrio cholerae* 01 puede permanecer viable en macerado de cebolla con una dosis de infección de 10^{12} realizando conteo de bacterias a los 7, 14 y 21 días obtuvo como resultado que la cuenta bacteriana a los 21 días disminuye en algunas muestras, aunque

si se presenta crecimiento bacteriano éste se encuentra muy por abajo de la dosis infectante. Sin embargo, recomienda repetir el estudio por lo menos en dos ocasiones para poder concluir con mayor solidez.

Muller (1981) señala que en general, las frutas y verduras poseen un sistema defensivo natural frente a los microorganismos, que consiste en capas tisulares que las protegen de ataque microbianos, agentes traumatizantes y de la desecación; o bien se protegen mediante la presencia de sustancias químicas defensivas como son los ácidos cítrico, málico y benzoico.

Pérez (1995) citado por Cuenca (1995) menciona que la contaminación microbiológica de hortalizas regadas con agua residual puede eliminarse al tratar los productos hortícolas con diluciones de hipoclorito de sodio y otros desinfectantes.

Moscoso (1993) enfatiza que 20 a 70 % de los productos regados con aguas crudas muestran presencia de *Salmonella* y parásitos respectivamente, mientras que aquellos que fueron regados con aguas que recibieron al menos tratamiento primario, la infestación desciende a niveles de 5 y 18 % para los mismos organismos.

4.1.4.6.3. Daños a la salud de la población

Sánchez (1976) realizó un estudio en niños de edad escolar de los Distritos de riego 03 (Caxuxi, Hgo.) y 88 (en Xaltocan, Edo. De México) y concluye que no existe exceso significativo de padecimientos gastrointestinales, incluyendo parasitosis, en los niños que habitaban en comunidades cercanas a las zonas de irrigación con aguas residuales, comparados con niños de una comunidad donde regaban con aguas blancas.

Cortés *et al.* (1993), dicen que las aguas municipales crudas del país contienen coliformes fecales en el orden de 10^6 a 10^8 bacterias por 100 ml, así como otros organismos de origen fecal potencialmente patógenos tales como huevos de helmintos y quistes de protozoarios. Mientras que Moscoso (1993) puntualiza que la evaluación de riesgos para la salud por el uso de aguas residuales en la agricultura realizada por el CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y ciencias del ambiente) en 1990, concluye que es posible obtener verduras sin *Salmonella* si se riegan con aguas residuales que contengan niveles menores a 10,000 coliformes por 100 ml y con una *Salmonella* por cada 100 ml de líquido.

Calderón (1992) señala que los principales padecimientos por contaminación de hortalizas regadas con aguas residuales son: infecciones intestinales, enteritis, amibiasis, giardiasis y shigelosis, las cuales han proliferado en México a tal grado que es la segunda causa de decesos, presentándose con más frecuencia en niños menores de cuatro años y personas mayores de 55 años.

Cuenca (1995) menciona que los riesgos para la salud en el hombre pueden reducirse mediante el tratamiento de las aguas residuales, pero que cualquier tipo de tratamiento es muy costoso, por lo que se ha limitado el riego con este tipo de aguas a hortalizas que crecen en contacto con el suelo y que son consumidas en crudo; sin embargo, los productores siembran ilegalmente estos cultivos, tal es el caso de cebolla, tomate de cáscara y jícama.

Mora *et al.* (1998) explican que es necesario enfatizar que los daños en la salud de los productores que riegan con aguas residuales provenientes del Distrito Federal se debe a que éstas no reciben ningún tratamiento, pues sólo 5 % de las aguas residuales reciben tratamiento para su reutilización y el restante 95 % se desechan sin tratar a través de sus canales de desagüe.

Flores (1984) recalca que los cultivos, de raíces como la zanahoria o los de hojas, como la lechuga, pueden cultivarse sin ningún peligro para la salud humana, en suelos que hayan sido regados con aguas negras en años anteriores a la cual los cultivos son desarrollados, siempre y cuando se rieguen con aguas negras sujetas a cualquier tipo de tratamiento completo o desinfección. En cuanto a la presencia de organismos patógenos en las aguas negras aplicadas en riego, considera que las plantas tienen defensas naturales y artificiales que pueden evitar los peligros de su presencia en la misma. También enfatiza que se mejoran bacteriológicamente las aguas negras que se dejan almacenadas por determinado tiempo.

Cisneros *et al.* (1993) en su Informe final del Proyecto Uso de las Aguas Residuales en la Agricultura del Estado de Morelos, llegan a la conclusión de que las aguas residuales se pueden utilizar en el cultivo de arroz porque es el único que resiste dado que dichas aguas son aptas para el riego desde el punto de vista químico, pero no desde el punto de vista bacteriológico, pues los coliformes fecales persisten en el bulbo de cebolla hasta 70 días después de aplicado el último riego ó 28 días después de la cosecha, por lo que recomienda almacenar por lo menos 30 días después de la cosecha antes de enviarla al mercado. Respecto al *Vibrio cholerae* 01, su persistencia estuvo muy relacionada con el contenido de humedad en el suelo y éste desaparece a los 13 y 18 días después de aplicado el último riego en el bulbo de cebolla y el suelo respectivamente.

Sáenz Forero (1998) escribe que las enfermedades que se propagan por el mal manejo de las aguas residuales son las diarreas bacterianas y víricas, la tifoidea y la paratifoidea, el cólera, la hepatitis infecciosa, la amibiasis, y la giardiasis entre otras y, los productores al estar en contacto directo con las aguas residuales, cada vez que riegan sus cultivos, sin equipo de protección

(guantes, botas y cubre bocas) constantemente están expuestos a este tipo de enfermedades.

4.1.5. Volumen de aguas tratadas en México

Calderón (1992) menciona que de las descargas municipales que se generan en el país menos del 8 % reciben un tratamiento adecuado en un total de 361 plantas. Y las descargas industriales generadas son tratadas en un 15 %, pero en general, a nivel nacional sólo el 10 % reciben un tratamiento determinado.

Cortés *et al.* (1993) mencionan que del caudal total de aguas de origen municipal, solo se le da tratamiento a menos del 25 %, lo que conlleva riesgos en los usos que se le puedan dar y obstaculiza el desarrollo de reutilización para el futuro. También dicen que la Comisión Nacional del agua para mayo de 1993 tiene inventariadas 733 plantas de tratamiento de aguas residuales, para un gasto de $38.57 \text{ m}^3 \cdot \text{seg}^{-1}$. De éstas, 465 se encuentran en operación y tratan $21.97 \text{ m}^3 \cdot \text{seg}^{-1}$. En 1993 se analizan la descarga de 316 plantas, de las cuales 110 tienen una eficiencia mayor al 75 %.

Dado que en muchos de los trabajos de investigación que se han realizado respecto al uso de aguas residuales y/o negras en la agricultura para evaluar sus ventajas y desventajas, efecto en el suelo, plantas y en el hombre; se menciona que es necesario realizar un tratamiento a dichas aguas antes de emplearlas, más adelante se menciona ¿en qué consiste un tratamiento? y la clasificación de los diferentes tipos de ellos.

Huitrón y Orta (1984) en sus diferentes estudios mencionan que la práctica común ha sido aprovechar el agua residual que ha recibido tratamiento o control de tipo sanitario, para el riego de cultivos.

4.1.5.1. Definición de tratamiento

Según el Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York (1993), el tratamiento de las aguas negras es un proceso por el cual los sólidos que el líquido contiene son separados parcialmente, haciendo que el resto de los sólidos orgánicos complejos muy putrescibles queden convertidos en sólidos minerales o en sólidos orgánicos relativamente estables. Y la magnitud del cambio depende del proceso de tratamiento empleado.

4.1.5.2. Ventajas del tratamiento

Las ventajas que hay que tomar en consideración del tratamiento de aguas residuales son las siguientes, según Durán y Hernández (1992):

- La conservación de las fuentes de abastecimiento de agua para uso doméstico estarán libres de contaminación.
- Prevención de enfermedades.
- El aprovechamiento racional del agua mediante su reutilización.
- Mantener limpias las aguas que se usan para la supervivencia.
- Es una fuente adicional, segura y creciente para garantizar la satisfacción de las demandas del agua.
- Se reducen las concentraciones de metales pesados en las aguas residuales por medio de controles en la fuente.
- Permite un uso en la agricultura de aguas residuales con servicios sanitarios básicos.
- El mantenimiento de aguas limpias para el baño y otros propósitos recreativos.
- Conservación del agua para usos industriales.
- Prevención del azolve de los canales de desagüe y navegables.

- Alternativa muy importante para ayudar a resolver los problemas de contaminación y de escasez de agua en algunas regiones.
- El cumplimiento de la legislación existente.

4.1.5.3. Métodos de tratamiento

A pesar de que son muchos los métodos usados para el tratamiento de las aguas negras, son los siguientes, según Durán y Hernández (1992):

- Tratamiento primario. Consiste solamente en la separación de una porción de los sólidos del agua residual. Usualmente esto se logra por cribado y sedimentación en cámaras de depósito. El efluente del tratamiento primario ordinariamente contendrá mucha materia orgánica y tendrá una DBO (demanda bioquímica de oxígeno) relativamente alto.
- Tratamiento secundario (biológico). Consiste en el consumo de la materia orgánica contenida en las aguas de desecho y de una parte de los nutrientes (N y P) por parte de microorganismos ya presentes en dichas aguas, y esto generalmente en presencia de aire u oxígeno. El crecimiento de la flora y la fauna origina la formación de flóculos que se eliminan por decantación o filtración. El efluente del tratamiento secundario usualmente tiene poca DBO y puede contener varios miligramos por litro de oxígeno disuelto.
- Tratamiento terciario (físico-químico). Este sólo se usa cuando se exige de las aguas vertidas una pureza extrema. Con frecuencia consiste de una cloración cuidadosamente dosificada para no comunicar a las aguas una dosis perjudicial de cloro residual.

4.1.5.4. Costo de tratamiento de aguas residuales

Sancho y Cervera (1990), citados por Cisneros *et al.* (1993), estimaron que para tratar la totalidad del agua residual de origen doméstico (sin incluir el Distrito Federal y la Ciudad de Guadalajara) se requiere una inversión del orden de 7.2 mil millones de pesos, distribuidos en 2.5 mil millones en alcantarillado y 4.7 en sistemas de tratamiento, mientras que para el tratamiento de las aguas industriales se requieren de otros 4 mil millones de pesos. La inversión estimada para el Distrito Federal y Guadalajara es de 1.5 mil millones de pesos adicionales.

Para lograr que el 65 % del agua residual reciba tratamiento en 1994, se requiere una inversión anual de 0.8 billones de pesos, lo que significa triplicar el ritmo de inversión que predomina en ese momento. De esta manera se cubre el tratamiento de las descargas residuales en un período de ocho años.

4.1.6. Tratamiento y uso del agua residual en Chapingo, México

El tratamiento de las aguas negras en Chapingo empezó a mediados de los 60 con el "Plan Chapingo" el cual proponía la reutilización de las aguas residuales después de un tratamiento de sedimentación y aireación o también conocido como tratamiento aeróbico por medio de lodos activados. Años después, a principios de los 90, ese procedimiento de tratamiento fue sustituido por otro con un enfoque más completo integrando propósitos ecológicos además del puro tratamiento (Aguilar, 1997).

La Universidad Autónoma posee una planta de tratamiento Dual que mediante el sistema anaerobio (por digestión) se trata un flujo de 16.5 litros por segundo. El mecanismo es primeramente pasar a un desarenador en el cual se separan las partículas sólidas más densas y residuos; posterior el agua es

conducida por gravedad al tratamiento anaerobio, llevado a cabo en un digestor vertical y uno horizontal, donde es removida la materia orgánica e inorgánica por un medio biológico, que reproduce los microorganismos endógenos, los cuales destruyen las bacterias fecales; una vez tratada el agua, realiza un recorrido por una serie de canales que contienen filtros foliares (plantas acuáticas como el lirio, lechuguilla de agua, lentejilla y enredaderas). Posteriormente se realiza el tratamiento químico por medio de un dosificador al cual se le agrega cal y agua; de esta manera es desinfectada y finalmente es conducida a través de filtros físicos, como arena. En la figura 1 se esquematiza el diagrama del proceso de tratamiento.

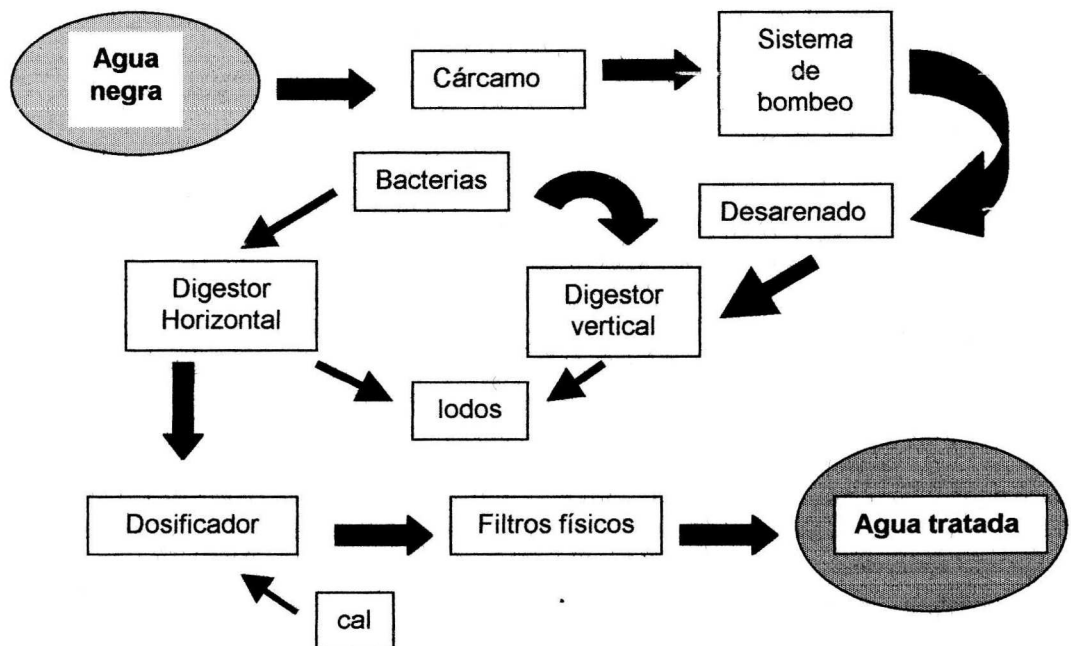


Figura 1. Diagrama de bloque del proceso de tratamiento.

Es importante mencionar que la planta de tratamiento de la Universidad, procesa máximo un 10 % de las aguas residuales generadas en la misma y el resto se canaliza al drenaje de la colonia Netzahualcóyotl (Sánchez y Medina, 1990).

En lo que respecta a los componentes del agua residual que se genera en Chapingo, son muy diversos, pero de manera general se componen de aguas domésticas provenientes de las unidades habitacionales de Profesores y la colonia El Cooperativo; aguas pluviales que arrastran materia inorgánica como arena, tierra y otras cosas, se depositan en las alcantarillas de la red del drenaje y sustancias tales como ácidos, solvente, colorantes y carbohidratos que son empleadas en los laboratorios y se desechan en cantidades mínimas en forma diluida y solo cuando se realizan prácticas en los diferentes departamentos. También presentan sustancias que se usan en las diferentes áreas de trabajo como la imprenta, talleres y comedores en donde se proporcionan servicios a los estudiantes.

Cabe mencionar que en los comedores se desechan diariamente grandes cantidades de detergentes, considerándose como aguas jabonosas.

En abril de 1983 se les presentó un proyecto a los agricultores de Texcoco y municipios aledaños sobre la utilización de aguas tratadas para regar sus cultivos (que es donde se consume más agua) y evitar así el consumo de agua potable para riego; este proyecto era muy rentable a largo plazo y por todos lados era “beneficioso”, pero no fue aceptado, porque se dieron cuenta que no tenía la finalidad de conservar y aumentar sus reservas acuíferas, sino que pretendía transportar el agua limpia, potable de manera continua al Distrito Federal y devolverles agua sucia, por lo que se abatirían más rápidamente los mantos acuíferos, y en poco tiempo ya no tendrían agua ni para beber (Sánchez y Medina, 1990).

Un ejemplo de la escasez de agua potable y por tanto del uso de las aguas residuales tratadas se presenta en la propia Universidad Autónoma Chapingo, donde para regar las áreas verdes se utiliza el agua proveniente de los dormitorios y todos los servicios asistenciales que se les proporciona a los

alumnos internos, así como las generadas de todos y cada uno de los departamentos, aunada a la generada por las colonias habitacionales I.S.S.T.E. y El Cooperativo, que son colectadas mediante el canal y puestas en la planta tratadora macro-dual de la Universidad, donde se tratan $16 \text{ l}\cdot\text{seg}^{-1}$.

Del total de área verde con que cuenta la Universidad, el 75 % aproximadamente es regada con aguas residuales tratadas y el 25 % restante con aguas limpias, por cuestiones higiénicas, ya que aun tratadas las aguas, según la población poseen un olor desagradable.

De esta situación, en la publicación Tzapingo No. 148 con fecha abril de 1997, en un artículo denominado "Atentado contra la salud en nuestra Universidad" de Aguilar (1997), menciona que el tratamiento proporcionado a las aguas residuales generadas dentro de la universidad no es completo y dado que con esta agua se riegan los jardines, cuando se transita por los pasillos se nos proporciona una ráfaga de bacterias.

Aguilar *et al*, (1997) señalan que el uso de aguas tratadas provenientes de las planta de tratamiento de la Universidad utilizadas en el riego para el cultivo de cebada para ser usada como forraje, comparada con una mezcla de agua tratada y con agua potable, producen el mismo efecto; sin embargo la calidad del agua, el origen y método de tratamiento utilizado en las aguas negras repercute en el rendimiento de materia seca, las aguas tratadas hacen más susceptibles las plantas a enfermedades y, el grado de tratamiento de las aguas influye en las características químicas del suelo.

4.2. El acolchamiento del suelo

Dado que la agricultura en México es una de las actividades que no se han desarrollado en correspondencia al incremento de la población, se ocasiona un

déficit en la producción de alimentos, debido principalmente a que más del 50 % del territorio nacional son zonas áridas y semiáridas con condiciones climáticas desfavorables para el desarrollo del sector agrícola. Por ello, en las zonas productivas del país se trata continuamente de mejorar los sistemas de producción tratando de hacerlos más intensivos y de que se aprovechen en forma óptima todos los factores ambientales que determinan la producción; en este caso el acolchamiento del suelo es una Técnica que concuerda con lo anterior, ya que reúne varias de las características emitidas.

4.2.1. Definición de acolchado

Gómez (1987), menciona que el acolchado es “una técnica que consiste en cubrir parcialmente o totalmente el suelo con una delgada capa o lámina de material orgánico o inorgánico (polietileno, polivinilo, rastrojo, paja, aserrín, corteza de árboles, cascarilla de arroz, arena o grava, etc.), dejando sólo pequeños espacios para la siembra del cultivo, aireación y captación de humedad”. Sin embargo, para Romero (1987), el acolchado es una técnica que consiste en cubrir al suelo con distintos materiales orgánicos e inorgánicos al fin de reducir la evaporación del agua presente en el suelo, proteger a este del impacto de la lluvia o el viento, controlar la presencia de malas hierbas, etc. Mientras que Contreras (1991) lo define como un sistema de producción vegetal en el que se aísla el suelo tanto con materiales orgánicos como inorgánicos buscando la modificación de condiciones ambientales tanto del suelo, como de la parte aérea que circunda la planta, estas modificaciones de los factores pretenden acercarlos lo más posible a las necesidades de las plantas que están en cultivo.

4.2.2. Beneficios por el uso de acolchado

El acolchamiento del suelo modifica varias de las condiciones del medio ambiente que rodean a las plantas en cultivo, influyendo por tanto en: crecimiento, desarrollo y calidad. También ofrece beneficios tales como: producción de cosechas tempranas, altas producciones y supresión de labores culturales (aporques, deshierbes, etc.).

Gutiérrez (1985) menciona que algunos de los efectos producidos por el acolchamiento del suelo son: reducción de la pérdida de agua, control de maleza, modificación de la temperatura del suelo, mejora en la estructura física del suelo, mayor actividad microbiana, etc.

La existencia del acolchado presenta variantes dependiendo del material a emplear, así, es posible el uso de películas plásticas, residuos orgánicos en descomposición tales como paja, hojas, hierba, cañas, rastrojos, etc.; permitiendo el bajo o nulo desarrollo de maleza, disminuir la evaporación del agua del suelo y principalmente aumentar la fertilidad (Ibarra y Rodríguez, 1991).

4.2.2.1. Humedad del suelo

Ibarra y Rodríguez (1984) establecen que el alto grado de impermeabilidad de las películas plásticas provoca la reducción de la evaporación del agua del suelo, dándose una economía de la misma, por lo que las reservas existentes se aprovechan y por tanto la disponibilidad de los nutrimentos en los cultivos son más regulares y constantes. También dicen que la capacidad para conservar el agua ésta en función del color del plástico utilizado (negro, transparente, gris, etc.). Estos autores mencionan que el movimiento del agua en el suelo presenta una diferencia que esta asociada directamente con los

gradientes de temperatura que se dan bajo los diferentes tipos de película plástica.

El agua de la superficie del suelo y la que asciende por capilaridad puede evaporarse, pero al no poder escapar a la atmósfera se condensa en la cara interna del material acolchante devolviéndosela al suelo (Gutiérrez, 1985).

Como aumenta la velocidad de infiltración y se disminuye la velocidad de escorrentía, también se reduce la evaporación del agua del suelo ya que el tamaño de las partículas de los materiales acolchantes impide el ascenso capilar del agua por ellas y la acción evaporante del aire. En resumen, al haber más infiltración, menos escorrentía y evaporación además de una acumulación de materia orgánica en el suelo, se conservará la estructura de éste, y habrá un mayor contenido de agua en el mismo, la cual se conservará durante más tiempo estando disponible para las plantas a bajas tensiones (Gómez, 1987).

Cuando el acolchado es orgánico (paja, aserrín, turba, etc.), las pérdidas del agua del suelo se impiden en gran medida por 1) el tamaño de las partículas y 2) por las propiedades aislantes del material. También disminuyen notablemente la escorrentía y aumenta la infiltración del suelo por unidad de volumen de agua depositada en el terreno (Gutiérrez, 1985).

Santos (1994) concluye que los efectos del acolchado sobre la humedad del suelo se logran solamente si éste es lo suficientemente amplio en torno a la planta, ya que el efecto positivo no se determina solo por la mayor cantidad de agua, sino además por su distribución a través del perfil del suelo.

4.2.2.2. Temperatura del suelo

Dependiendo de la pigmentación de la película y de su composición química variarán las tendencias de las curvas de temperatura pues disminuye la oscilación térmica diurna y estacional. Es decir, con el acolchado el suelo se calienta menos durante el día y se enfría menos durante la noche; y en el invierno la temperatura mínima del suelo tiende a aumentar y disminuye la máxima durante el verano (Campos y Razo, 1992).

En el caso de acolchamiento con materiales plásticos el suelo recibe las calorías del sol transmitidas por el plástico, haciendo un efecto invernadero. Durante la noche la lámina detiene, en cierta medida, el paso de la radiación de onda larga del suelo a la atmósfera manteniéndolo más caliente. La mayor o menor intensidad de este fenómeno dependerá principalmente del color, anchura y grosor del plástico empleado (Gutiérrez, 1985)

Para que el efecto por acolchamiento con plásticos sea relevante, la faja del suelo cubierto deberá ser suficientemente amplia, alrededor de un metro como mínimo, aunque lo recomendable es el acolchamiento total del suelo (Santos, 1994).

Si se usan materiales de tipo orgánico el suelo muestra una menor fluctuación térmica diurna y estacional, se calienta menos durante el día y se enfría menos en la noche (Gutiérrez, 1985).

4.2.2.3. La estructura física del suelo

El acolchado mantiene la estructura del suelo tal y como se encontraba cuando se hizo la aplicación de la película plástica; sin embargo, en algunos casos puede mejorarla. El cubrimiento del terreno ayuda a mantener una

porosidad óptima permitiendo un desarrollo radical más numeroso en sentido horizontal, una mejor circulación del oxígeno y una gran producción y movimiento de anhídrido carbónico (Ibarra y Rodríguez, 1984).

El plástico protege al suelo de la erosión de la lluvia, del granizo temporal y de la desecación del mismo por el viento por tanto, la estructura del suelo es preservada de la acción degradadora del mal tiempo (Ibarra y Rodríguez, 1984).

Las condiciones de humedad y de temperatura obtenidas por el acolchamiento producen un efecto favorable directo sobre la formación de agregados del suelo y otro indirecto al promover la actividad de los microorganismos. Este último efecto se ve magnificado notablemente al usar materiales orgánicos naturales para acolchar (Gutiérrez, 1985).

4.2.2.4. En la salinidad del suelo

En aquellas zonas donde el agua de riego tiene un alto contenido de sales como cloruro de sodio, cloruro de magnesio, sulfato de magnesio o sulfato de calcio, debido a la intensa evaporación, se forman costras en la superficie del suelo. Si se cubre el área de cultivo con acolchado de cualquier color se presentaran las siguientes ventajas: 1) se reduce el volumen de agua aplicada y por consecuencia la cantidad de sales presentes en cuanto a concentración y 2) al darse una reducción en la evaporación se disminuye el movimiento de ascenso del agua y se limita la formación de costras salinas (Ibarra y Rodríguez, 1984).

4.2.2.5. La incidencia de maleza

El desarrollo de las malas hierbas bajo el acolchado depende del color de la película plástica, es decir de su transmitancia a la luz solar. Si se emplean

películas negras opacas y metalizadas se intercepta casi todo el espectro visible, impidiendo así que se lleve a cabo la fotosíntesis bajo el plástico y, por consiguiente se evita el desarrollo de maleza. Las películas transparentes, verde marrón y gris humo permiten el paso de gran cantidad de radiación, permitiendo con ello el calentamiento del suelo y favoreciendo el desarrollo de maleza. Sin embargo, aunque aparecen malas hierbas, por lo general no llegan a fructificar, ya que con las altas temperaturas que se originan bajo el acolchado, terminan sofocándose (Ibarra y Rodríguez, 1984).

La disminución en la densidad de población de maleza lograda por el acolchado, disminuye las pérdidas del agua por transpiración de éstas y se suprimen labores de cultivo al existir en menor cantidad (Gutiérrez, 1985).

4.2.2.6. La fertilidad y actividad microbiológica del suelo

Se sabe que 30 g de la mayoría de los suelos agrícolas contiene 500 millones de bacterias, hongos, animales unicelulares y algas, los cuales descomponen los residuos de los cultivos, producen el humus que retiene el agua, fijan nitrógeno para las plantas, producen gomas y mucílagos que mejoran la estructura del suelo, evitan la erosión y realizan un buen desempeño en la degradación de la mayoría de los pesticidas (Campos y Razo, 1992).

Las condiciones de humedad y temperatura generadas por el acolchado favorecen una mayor actividad microbiana, la cual al descomponer la materia orgánica aumenta el contenido de nutrimentos disponibles para la mineralización. Asimismo al elevarse el nivel de humedad y al haber menos oscilación de temperatura, se favorecen los procesos de nitrificación y por lo tanto la absorción de nitrógeno por la planta. Se disminuyen las pérdidas de nutrimentos por arrastre, a la vez que el mayor contenido de humedad favorece

una mayor solubilización y movilización de los mismos, facilitando el intercambio catiónico (Ibarra y Rodríguez, 1984).

El acolchado permite que se alcancen los valores óptimos de temperaturas (25 y 45 °C) así como una saturación hídrica que varía entre 60 y 80 %, valores a los cuales existe una buena nitrificación, por lo que el abono nitrítico queda a disposición de la planta en gran parte bajo el acolchado y al suministrar agua de riego. Además, la percolación que es causa de grandes pérdidas de abonos nitríticos por lavado, es reducida al mínimo (Santos, 1994).

La actividad microbiana, sobre todo durante la descomposición de la sustancia orgánica, favorece la producción del anhídrido carbónico, que es mucho mayor bajo el acolchado que en el suelo desnudo y en consecuencia es también mejor aprovechado por las plantas, lo que se traduce en un aumento cuantitativo y cualitativo de la producción (Ibarra y Rodríguez, 1984).

4.2.2.7. La erosión del suelo

Las pérdidas de suelo, agua y nutrientes debido a la erosión hídrica tiene efectos adversos en el rendimiento de los cultivos, ya que las gotas de lluvia “martillean” el suelo descubierto disgregando sus partículas que luego serán depositadas ladera abajo, como sedimentos en ríos o reservas de agua pública (Becerra *et al.*, 1996).

Estos autores dicen que las técnicas de acolchado, sobre todo con materiales orgánicos permiten controlar la erosión, principalmente la hídrica, pues estos materiales presentan al agua de lluvia una superficie rugosa que disminuye la velocidad de escorrentía y aumenta la infiltración de la misma. De tal modo que si el suelo está protegido de la lluvia y de la incidencia directa del

viento, se reduce notablemente la erosión y el arrastre o lixiviación de nutrientes.

4.2.2.8. El intercambio gaseoso suelo-aire

La aireación del suelo es importante ya que la mayoría de los organismos que en este se encuentran prefieren condiciones de buena aireación, lo cual se favorece con la materia orgánica. Asimismo, en condiciones anaeróbicas se producen procesos microbianos detrimentales como la nitrificación y la producción de sustancias tóxicas tales como: metano, ácido sulfhídrico, fosfina, B-metil-indol, etc. Aparte de los efectos directos de la carencia de oxígeno en la planta.

La película plástica que es casi impermeable al gas, indudablemente modifica el intercambio gaseoso recíproco entre el aire y el suelo y, aunque no se conoce bien el comportamiento de este intercambio, se infiere que el CO₂ liberado por las raíces se acumula bajo el acolchado y se canaliza a través de las perforaciones hechas al momento de la plantación, concentrándose alrededor de la planta. Este pequeño incremento en el nivel de CO₂ en torno al follaje debe promover mayor actividad fotosintética (Ibarra y Rodríguez, 1984).

4.2.2.9. La limpieza y calidad de los frutos

Ibarra y Rodríguez (1984) mencionan que al actuar el acolchado como barrera entre el suelo y la parte foliar de la planta, se evita que los frutos (sobre todo en cultivos de tipo rastrojero) estén en contacto con el suelo. Con ello se obtiene un mayor porcentaje de productos más limpios y mejor presentados (frutos comerciales).

4.2.2.10. Sobre plagas y enfermedades

El efecto de la práctica del acolchado sobre la incidencia de plagas y enfermedades de los cultivos es poco conocido, solo se sabe que algunos plásticos blancos y aluminizados reflejan la luz lo que repele a algunos insectos chupadores que por su forma de alimentación transmiten enfermedades de plantas enfermas a plantas sanas (Gutiérrez, 1985).

El acolchado evita además enfermedades como la Botrytis, que es ocasionada por el contacto del follaje con la humedad del suelo (Ibarra y Rodríguez, 1984)

4.2.2.11. Sobre el cultivo

A parte de los efectos benéficos en el rendimiento de los cultivos que se han encontrado en muchos de los experimentos con acolchados, se tienen efectos en otros aspectos de la planta, los cuales afectan el rendimiento de una u otra manera. Gutiérrez (1985) dice que éstos aspectos son:

- Las plantas se desarrollan vigorosamente y con un índice de área foliar más grande
- Existe una concentración de raíces en la capa superficial inmediatamente debajo del acolchado, además de ser más numerosas y crecer en forma horizontal. Esto es importante debido a que se hace más eficiente la utilización de los fertilizantes aplicados en la superficie, particularmente los elementos móviles como el fósforo.
- En ciertos cultivos se pueden realizar siembras más tempranas y así evitar el riesgo de heladas.

4.3. Microorganismos entéricos

Los organismos entéricos constituyen uno de los mayores y mejor definidos entre los grupos de eubacterias Gram-negativas no fotosintéticas. Sus representantes clásicos de este grupo son *Escherichia coli*, coliformes, microorganismos de los géneros *Salmonella* y *Shigella*, las cuales son bacterias patógenas responsables de infecciones intestinales en el hombre. Sin embargo, organismos relacionados con este grupo, pero con una ecología diferente son los agrupados en los géneros *Enterobacter*, *Serratia* y *Proteus*, que se encuentran sobre todo en suelos y aguas, y los patógenos de plantas incluidos en el género *Erwinia*, causante de la enfermedad conocida como “pudrición blanda” en muchos productos hortícolas (Stanier *et al.*, 1986).

4.3.1. Crecimiento y multiplicación de los microorganismos

Cuando se añaden microorganismos a un alimento, y las condiciones son favorables, los organismos se multiplican pasando por una serie de fases que se representan gráficamente en una curva de crecimiento, como la figura 2.

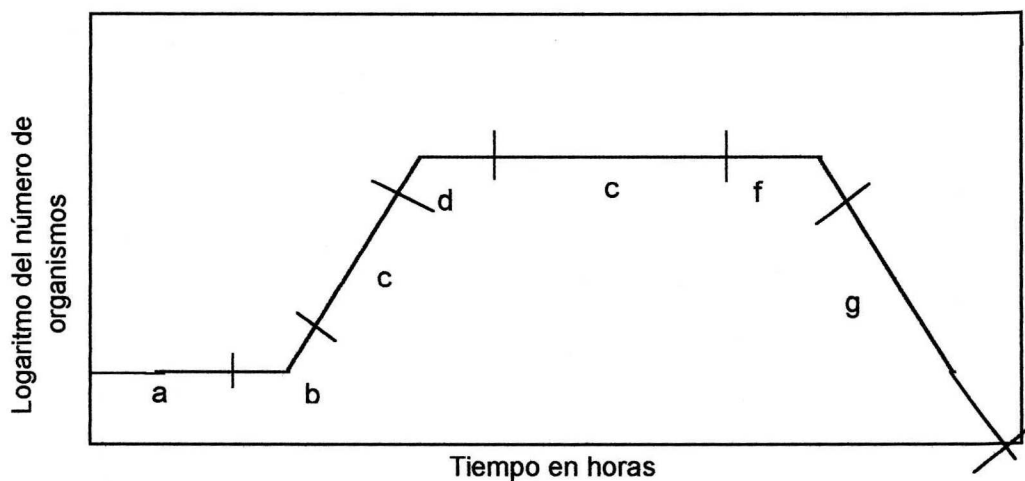


Figura 2. Curva de crecimiento de los microorganismos.

Donde:

- a Fase inicial de estacionamiento. Durante esta las bacterias se adaptan al nuevo medio, permaneciendo el número de bacterias constante o incluso disminuye.
- b Fase de aceleración positiva. En esta aumenta constantemente la velocidad de crecimiento.
- c Fase logarítmica o exponencial. Es la fase durante la cual la velocidad de multiplicación es más rápida y constante.
- d Fase negativa de crecimiento. La multiplicación disminuye, al disminuir los alimentos y al acumularse los productos de desecho que pueden ser tóxicos para el organismo.
- e Fase estacionaria máxima. En esta fase la mortalidad está en equilibrio con la natalidad.
- f Fase acelerada de mortalidad. También llamada fase de declinación, disminuye el número de bacterias.
- g Fase mortal.

Hobbs y Gilbert (1986) menciona que las bacterias se multiplican en dos mediante división simple, y cuando las condiciones ambientales y de temperatura son adecuadas esto se produce cada 20 o 30 minutos. Así una célula podría dar origen a más de 2 millones en 7 horas y a 7000 millones de células tras 12 horas de crecimiento. Cuando una célula ha alcanzado su tamaño máximo, aparece una constricción a ambos lados de su eje central, la membrana externa o envoltura de la célula crece hacia el interior y forma una división que finalmente se estrangula, dejando en libertad dos células nuevas pequeñas.

Estos autores afirman que la duración de la vida de una célula bacteriana varía según el alimento sobre o en el que crece o descansa, y también según el tipo de organismo.

4.3.2. Microorganismos fitopatógenos

4.3.2.1. *Erwinia carotovora*

Es una bacteria anaerobia facultativa, con flagelación peritrica, gramnegativa, con dimensiones de 0.5-1.0 x1-3 micras, con hipersensibilidad negativa en tabaco y causa pudrición blanda en muchos vegetales y se encuentra reportado como habitante natural del suelo, de donde inicia la infección, si se presentan condiciones favorables (Reyna, 1987), Sin embargo, Villareal (1985) comenta que éste patógeno difícilmente sobrevive en el suelo de una estación a otra, por lo que cultivos como papa, zanahoria, lechuga y otros, pueden ser contaminados por otros factores tales como insectos y vientos.

Sánchez (1988), menciona que la enfermedad de la pudrición blanda ocasionada por la bacteria *Erwinia carotovora* es común de los vegetales que están en tránsito o almacenamiento, por lo que a la enfermedad se le conoce como la "pudrición blanda de las hortalizas". Lovelock (1979) citado por Sánchez (1988), reporta que esta especie es una de las principales causantes de graves pérdidas de hortalizas en Arizona y que se presenta cuando en el ambiente prevalecen condiciones de alta humedad relativa (de 65 a 100 %) y que el producto se encuentre húmedo y con alguna lesión, pues se extiende rápidamente por toda la hoja superficial y avanza hasta cubrir por completo la planta.

Durante la epifitiología de la enfermedad, la planta se transforma en una masa acuosa y mucosa de tejido que trae por consecuencia la muerte de la planta, sin embargo, Alvarez (1997) señala que el tejido dañado se pone acuoso o húmedo y es de color pardusco, y gradualmente el tejido se pone suave y viscoso adquiriendo un color repugnante debido a la destrucción de las células y a la desintegración de la pectina por la enzima pectinasa, la cual es producida por el organismo. Esta bacteria se reproduce rápidamente y se disemina con

facilidad por medio de las herramientas de labor, insectos, lluvia, agua de riego o por decaimiento de partículas de tejido (Torres, 1987).

Es posible que ningún patógeno cause pérdidas totales como ha ocurrido en cultivos de repollo y pimiento (Sánchez, 1988). Este patógeno actualmente se encuentra distribuido en todas las regiones del mundo.

4.3.2.1.1. Características bioquímicas

Las pruebas bioquímicas que ayudan a caracterizar a esta bacteria son: sensibilidad a eritromicina, reducción de sustancias a partir de sacarosa, fosfatasa, α -metil glucosido, palatinosa y gas a partir de glucosa son negativas, mientras que degradación de pectinas, licuefacción de gelatina, pudrición de discos de papa y formación de ácido de lactosa son pruebas positivas (Álvarez, 1997).

4.3.3. Microorganismos de los alimentos

En los alimentos se pueden encontrar diferentes tipos de organismos como bacterias, levaduras y hongos semejantes y mohos, que pueden desarrollarse con relativa rapidez, según la temperatura, cantidad de alimento, tiempo de almacenamiento, etc.

4.3.4. Clasificación de los Microorganismos de los alimentos

Los microorganismos de interés para la microbiología analítica de los alimentos pueden subdividirse en: indicadores, patógenos y putrefactivos (Refai, 1981).

1. Microorganismos indicadores. Son especies de bacterias cuya presencia en los alimentos, cuando sobrepasa ciertos límites

numéricos, es considerada como una indicación de que existe la posibilidad de que se introduzcan organismos peligrosos, o de que proliferen especies patógenas o toxinógenas, o ambas cosas. Son útiles para determinar la seguridad y calidad de los alimentos y el agua desde un punto de vista microbiológico. También revelan un manejo no higiénico de los alimentos, con la posible presencia de ciertos patógenos. Ejemplo de ellos son: *Escherichia coli* tipo I, los estreptococos coliformes y fecales.

2. Microorganismos patógenos. Son los que producen infecciones o intoxicaciones transmisibles por los alimentos, ejemplo de estos son las especies del género *Salmonella*, el *Clostridium botulinum* y el *Staphylococcus aureus*.
3. Microorganismos putrefactivos. Entre los microorganismos que producen la descomposición de los alimentos figuran las bacterias, las levaduras y los mohos, que originan cambios perjudiciales en el aspecto, olor, gusto o aroma del alimento. Suelen agruparse según su actividad en proteolíticos, lipolíticos, etc. o según las condiciones necesarias para su crecimiento en termófilos, halófilos, etc.

4.3.4.1. Bacterias

Las bacterias son microorganismos con una organización celular relativamente simple y primitiva: son generalmente unicelulares, pero las células pueden desarrollarse, mutuamente ligadas, en forma de racimos, cadenas, bastoncillos, filamentos o, en las bacterias superiores (actinomicetales), en forma de micelio. Sus células tienen una membrana relativamente rígida, que mantiene la forma característica de la bacteria, que puede ser esférica (cocos), cilíndrica (bacilos), curva (vibriones), espiral o filamentosa. Las características

morfológicas de importancia son el tamaño, la forma y agrupación de las células, y la posesión de estructuras distintivas, como endoesporas, flagelos o cápsulas, así como las reacciones a la coloración (Refai, 1981).

La reacción al método de coloración de Gram es de aplicación, y permite dividir a todas las bacterias en dos categorías: (1) bacterias “Grampositivas” que toman un color violáceo y (2) bacterias “Gramnegativas” adquieren un color rosado (Refai, 1981).

Según Hobbs y Gilbert (1986) las bacterias son organismos diminutos, unicelulares, de forma y actividad variables, que aparecen en todas las partes del mundo: en el suelo, agua, polvo y aire. Existen miles de tipos diferentes y algunas realizan funciones útiles. Algunas transforman la materia vegetal caduca en abono; otras favorecen, en el interior del cuerpo humano o animal, la formación de ciertas vitaminas esenciales para la salud; otras intervienen en los procesos de fermentación tales como la producción de cerveza o vino y en la elaboración del queso; y otras se emplean para producir antibióticos usados para curar enfermedades. De la población total de bacterias tan solo una proporción muy pequeña es peligrosa por su capacidad para provocar enfermedades en el hombre y en los animales.

4.3.4.1.1. Bacterias aeróbicas mesófilas

El recuento de placas de bacterias aeróbicas mesófilas sigue siendo uno de los indicadores más útiles del estado microbiológico de un alimento. Un recuento muy viable indica frecuentemente la contaminación de las materias primas, un estado sanitario poco satisfactorio, condiciones de tiempo y de temperatura no idóneas durante la producción o almacenamiento del alimento, o una combinación de ambas. Además, recuentos elevados predicen la posibilidad de

que el alimento se descomponga, ya que la mayoría de ellos contienen de 10^6 a 10^8 microorganismos por gramo en el momento en que la descomposición es evidente. Por consiguiente, las bacterias aeróbicas mesófilas pueden considerarse como organismos indicadores, aunque advierten del peligro de intoxicación del alimento con mucha menos precisión y seguridad que los demás indicadores (Refai, 1981).

4.3.4.1.2. Coliformes

Al grupo de los coliformes pertenecen todas las bacterias que tienen forma de bastoncillos, no formas esporas, son gramnegativas, aeróbicas y aeróbicas facultativas, y que fermentan la lactosa, con formación de gases, al cabo de 48 horas a la temperatura de 35 °C. Ciertas especies de este grupo habitan en el intestino o en los medios no intestinales, como el suelo, el agua y el grano. A este grupo pertenece *E. coli*, y las especies de los géneros *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella* y *Serratia*. Los medios de ensayo son medios líquidos o sólidos enriquecidos con lactosa, para que los coliformes produzcan ácidos y gases de la lactosa (Refai, 1981).

Los coliformes diferentes de *E. coli* persisten en el suelo o en las superficies más tiempo; por consiguiente, no indican necesariamente la contaminación producida por una fuente fecal, en el sentido de que haya habido un contacto inmediato con las heces. Sin embargo, estos otros coliformes diferentes a *E. coli* son buenos indicadores de un proceso o un estado sanitario poco satisfactorio. Su presencia en gran número, en un alimento elaborado indica que puede haber habido una oportunidad de proliferación, que podría también haber permitido la multiplicación de *Salmonella*, *Shigella*, *Staphylococcus*, etc.

En la identificación de microorganismos coliformes en las placas de agar-bilis-rojo-violeta (RVBA), es necesario considerar si los alimentos a evaluar

contienen mono o disacáridos en concentraciones importantes, los cuales pueden ser fermentados por algunos microorganismos presentes, distintos a los coliformes, y generar por ello colonias semejantes a las fermentadoras de lactosa; dando con ello positiva la prueba, cuando en realidad es negativa (Amador y Rodríguez, 1993).

4.3.4.1.3. Coliformes fecales

Son aquellos que pueden desarrollarse y fermentar la lactosa a temperaturas superiores a la normal (44 - 44.5 °C), perteneciendo a estos una gran proporción de *E. coli* de los tipos I y II y son, por consiguiente, útiles para indicar una probable fuente fecal.

El término "Coliformes fecales" surgió de los intentos para encontrar métodos rápidos y seguros de detectar la presencia de *E. coli* o de variantes estrechamente relacionadas sin necesidad de purificar los cultivos o de proceder a los ensayos de IMViC, es decir las reacciones de indol, rojo de metilo, medio de Voges-Proskauer y citrato (Refai, 1981).

4.3.4.1.4. *Escherichia coli*

Según Refai (1981) tienen forma de bastoncillos, existen aislados o en parejas y pueden tener flagelos que les confieren motilidad, se desarrollan fácilmente sobre medios con nutrientes simples. Las colonias pueden ser lisas, poco convexas, húmedas, de superficie brillante, con el borde completo, o secas y ásperas. Algunas cepas son anaerógenas y casi todas fermentan la lactosa, aunque la fermentación puede producirse con retraso o no producirse.

Muchas variedades tienen estructuras capsulares o de forma análoga, menos desarrolladas microcápsulas; otras muchas tienen fimbrias, y se subdividen en varios tipos según su capacidad de hemoaglutinación directa, o de sus diferencias morfológicas; además, identificado por las reacciones de indol, rojo de metilo, medio de Voges-Proskauer y citrato (IMViC).

- **Características bioquímicas**

Las pruebas bioquímicas son positivas en: catalasa, galactosidosa, gas de glucosa, ácido místico, reducción de nitratos, indol, lisina descarboxilasa, arabinosa, maltosa, sorbitol, trehalosa, manitol y R.M. y la producción de ácido de arabinosa, ornitina, manitol, sorbitol, trehalosa y xilosa; y es negativa para las pruebas bioquímicas de oxidasa, KCN (crecimiento), gelatina, H₂S, hidrólisis del agua, adonitol, inositol, citrato, malonato y V.P. (Refai, 1981).

- **Serología**

La mejor forma de subdividir *E. coli*, es recurriendo a los métodos serológicos, es decir, basándose en las propiedades de las diferentes estructuras de la superficie, expresadas como antígenos O (somático), K (capsular) y H (flagelar). Hay 150 antígenos O reconocidos, 90 antígenos K y 50 del tipo K.

- **Enfermedades causadas por *E. coli***

Este organismo es el indicador preferido de las contaminaciones de origen fecal relativamente recientes. Su hábitat natural es la parte baja del intestino de los animales vertebrados. Causan diarreas que pueden ser mortales para los niños y adultos, que suele denominarse diarrea del viajero, también es un agente común de la enteritis infantil y cuando penetran en el epitelio intestinal producen una inflamación parecida a la que se observa en la disentería bacilar (Refai, 1981).

Su período de incubación dura de 12 horas a 3 días y los síntomas pueden corresponder a los de intoxicación alimenticia diarreica o disenteriforme con diarreas más prolongadas y presencia de sangre y mucus en las heces (Hobbs y Gilbert, 1986).

Eslava *et al.* (1993) mencionan que para llevar a cabo medidas de control por la búsqueda de los mecanismos de patogenicidad que comparten los diferentes tipos serológicos de *E. Coli*, éstos se asociaron en cuatro grupos, dependiendo del tipo de síntomas que producen:

- ETEC (enterotoxigénico). Presenta una diarrea acuosa.
- EIEC (enteroinvasiva). Presenta una diarrea con moco y sangre.
- EHEC (enterohemorrágica). Presenta una diarrea aguda y crónica en los niños.
- EPEC (enteropatógena). También presenta una diarrea aguda y crónica en los niños.

Se ha observado que *E. coli* exige los períodos siguientes para que una célula se divida, a temperaturas diferentes:

60 minutos a 20 °C

40 minutos a 25 °C

29 minutos a 30 °C

17 minutos a 37 °C

19 minutos a 40 °C

32 minutos a 45 °C

No crece a 50 °C

Por lo anterior, es evidente que la velocidad de crecimiento es óptima a 37 °C, pero disminuye a temperaturas inferiores o superiores

4.3.4.1.5. *Salmonella* sp

Tiene forma de bastoncillo, usualmente con flagelos peritricos que les confieren motilidad, aunque existen mutantes que carecen de motilidad y un tipo nunca móvil. Las colonias suelen tener generalmente 2-4 mm de diámetro, pero otras tienen cerca de 1 mm. Casi todas las cepas crecen en medios definidos, sin factores especiales de crecimiento, y pueden utilizar como fuente de carbono el citrato, la mayoría son aerógenas pero *S. typhi*, que es una excepción importante, no produce nunca gases. También existen variantes anaerógenas de serotipos que producen normalmente gases. Es importante mencionar que los microorganismos de éste género son resistentes a la congelación, por lo que las bajas temperaturas no son garantía de un proceso de esterilización, sino más bien se considera un método para crear una serie de condiciones desfavorables a un crecimiento microbiano extenso; y por el contrario el proceso de cocción que se realiza a altas temperaturas si los destruye (Refai, 1981).

- **Características bioquímicas**

Su respuesta es positiva a la evaluación de las siguientes pruebas bioquímicas: catalasa, gas de glucosa, arabinosa, maltosa, citrato, R.M., reducción de nitratos, arginina, H₂S, lisina descarboxilasa, ornitina, manitol, sorbitol, trehalosa y xilosa; y es negativa para las pruebas bioquímicas de oxidasa, adonitol, gluconato, V.P., indol, hidrólisis de la urea, salicina y sucrosa (Refai, 1981).

- **Serología**

Los organismos *Salmonella* están representados en el esquema Kauffmann-White por los números y letras asignados a los diferentes antígenos O y H. Gutiérrez (1993) menciona que el género *Salmonella* incluye a más de 2000 serotipos que infectan al hombre.

- **Enfermedades causadas por las salmonelas**

La salmonelosis es una infección, transmisible por los alimentos, que se contrae cuando se ingieren alimentos contaminados con bacterias vivas del grupo *Salmonella*, pudiendo producir dos tipos principales de enfermedades:

1. Fiebres entéricas. Las salmonelas ingeridas con el alimento o con la bebida contaminada, llegan al intestino delgado, del cual pasan a la sangre y se diseminan por numerosos órganos, entre ellos, los intestinos, en los cuales se multiplican, siendo expulsadas posteriormente por las heces.
2. Gastroenteritis. Es un tipo de intoxicación infecciosa producida por los alimentos, que requiere la multiplicación de las *Salmonella*, tanto en el alimento, antes de ser ingerido, como en el intestino, al cual vierten las endotoxinas que producen la enfermedad.
3. Septicemia. Son infecciones localizadas que son producidas por cualquiera de los muchos serotipos de las otras salmonelas.

Gutiérrez (1993) incluye la tercera enfermedad, pero menciona que las dos primeras producen un mayor daño en los extremos de la vida del hombre, es decir, niños menores de 5 años y adultos mayores de 60 años de edad. También menciona que ambas enfermedades infecciosas muestran claramente una incidencia estacional, de tal forma que el canal endémico registra aumento de casos a partir del mes de mayo, alcanza el pico máximo en los meses de julio y agosto y la declinación se observa a partir de septiembre.

La aparición de las enfermedades suele producirse de 6 a 36 horas después de ingerido el alimento, aunque el período de incubación puede ser más largo (Hobbs y Gilbert, 1986).

La salmonelosis es un problema de salud en todos los países del mundo y en México, la enteritis y otras enfermedades diarreicas ocupan el segundo lugar en causas de mortalidad, presentándose en los niños de 0 a 4 años de edad. Los alimentos más frecuentemente involucrados son los productos cárnicos, lácteos, pescados y verduras (Avilés y Eusebio, 1993).

4.3.4.1.6. *Shigella* sp

Las bacterias de este género son gramnegativas, aerobias no esporuladas y tienen forma de bastoncillos y carecen de flagelos, por lo que no tienen motilidad. El hábitat normal de todas las especies del género es el aparato intestinal del hombre, y todas ellas producen disentería (Refai, 1981).

Según González (1993) el género *Shigella* está formado por cuatro especies que se diferencian con base a pruebas bioquímicas y a reacciones de aglutinación.

Este género es inhibido fuertemente por la presencia de otros microorganismos, principalmente los coliformes que se encuentran en los alimentos en un número más elevado. El microorganismo es muy sensible al pH ácido, a la presencia de conservadores y a la congelación; por lo que se recomienda que los alimentos sospechosos de contaminación (ensaladas de frutas y verduras, puré de papa y productos crudos) por *Shigella* sean analizados lo más rápidamente posible (Avilés y Eusebio, 1993).

- **Características bioquímicas**

Según Refai (1981) la única prueba bioquímica positiva es R.M., y negativas: H₂S, LDC, múcido (ácido), KNC, V.P., arginina, gelatina, malonato, d-tartrato, citrato y salicina. La prueba con lactosa es tardía e irregularmente positiva.

- **Serología**

Se reconocen alrededor de 40 tipos serológicos diferentes, mismos que se diferencian de acuerdo con su composición antigénica (González, 1993).

- **Enfermedades causadas por *Shigella***

La disentería bacilar es una infección producida por la ingestión de bacterias *Shigella*, que se desarrolla en el intestino, en el que vierten sus endotoxinas que acaban destruyendo. El período de incubación puede llegar a durar siete días, siendo el término medio 4 días (Refai, 1981).

Shigella afecta a todas las edades, predominando en la edad pediátrica, entre uno y cuatro años de edad, siendo excepcional en niños menores de 6 meses (González, 1993).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Ubicación y características del sitio experimental

El presente trabajo se llevó a cabo en dos fases: a nivel de campo para evaluar el crecimiento, desarrollo y producción de lechuga regada con aguas tratadas y bajo acolchamiento del suelo y para determinar el grado de contaminación biológica del producto obtenido se recurrió a una fase de laboratorio (Investigación del Departamento de Ingeniería Agroindustrial). El sitio experimental y el laboratorio se localizan en la Universidad Autónoma Chapingo (UACH.) que está situada geográficamente a los 19°29' latitud norte, 98°53' longitud oeste y a una altitud de 2,251 m.s.n.m.

- **Características climáticas**

En la zona se presenta un clima C(wo)(w)b(i)g, el cual corresponde al más seco de los climas templados subhúmedos, se caracteriza por tener lluvias en el verano y este es fresco y largo, de 5 a 10.2 % de lluvia anual durante el invierno, el mes más lluvioso es junio con 131.7 mm y febrero el mes más seco con 4.8 mm. El mes más cálido es mayo con una temperatura media de 17.7 °C y el mes más frío enero con 11.6 °C de temperatura media mensual, es decir con poca oscilación. La precipitación media anual es de 645 mm (García, 1987).

- **Características edáficas**

Los suelos fueron clasificados dentro de la serie "Horno", según Cachón y Cuanalo (1976), y sus características son: suelos profundos con estratos superficiales de migajón arenoso o francos, color pardo amarillento y un estrato subyacente de textura de migajón arenosa pardo amarillenta y consistencia sólida. Los autores los caracterizaron como suelos con textura franca a migajón arenoso y de consistencia blanda o dura.

En estos terrenos previo al experimento se cultivo maíz y trigo, tanto para grano como para forraje.

5.2. Fase de campo

La fase de campo se estableció en un área de 505.25 m², ubicada dentro de las instalaciones del *Campus* universitario.

5.2.1. Análisis de agua

El agua tratada para el riego que se utilizó en los tratamientos que lo requirieron se obtuvo de la Planta de Tratamiento perteneciente a la UACH. y que se localiza en la parte contigua Norte del sitio del experimento.

La persona encargada del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, realiza periódicamente evaluaciones de la calidad del agua tanto al entrar a tratamiento como una vez concluido éste, con la finalidad de corroborar si los parámetros obtenidos en el análisis se encuentran dentro de los límites establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes así como la concentración de algunos elementos o sustancias tóxicas que causan trastornos en el hombre como es el caso del plomo, en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Por ello se tomaron como referencia los valores que aportaron los dos últimos estudios realizados con respecto a la calidad del agua tratada; datos que fueron proporcionados por el encargado de la planta de Tratamiento.

5.2.2. Diseño Experimental

El experimento se estableció bajo un diseño de Bloques al Azar con seis repeticiones (Figura 3). La unidad experimental tuvo un tamaño de 5.4 m por 2.7 m, compuesta por 3 surcos sembrados a doble hilera con un total de 165 plantas, establecidas a 25 cm de distancia con una distribución tipo tres bolillo.

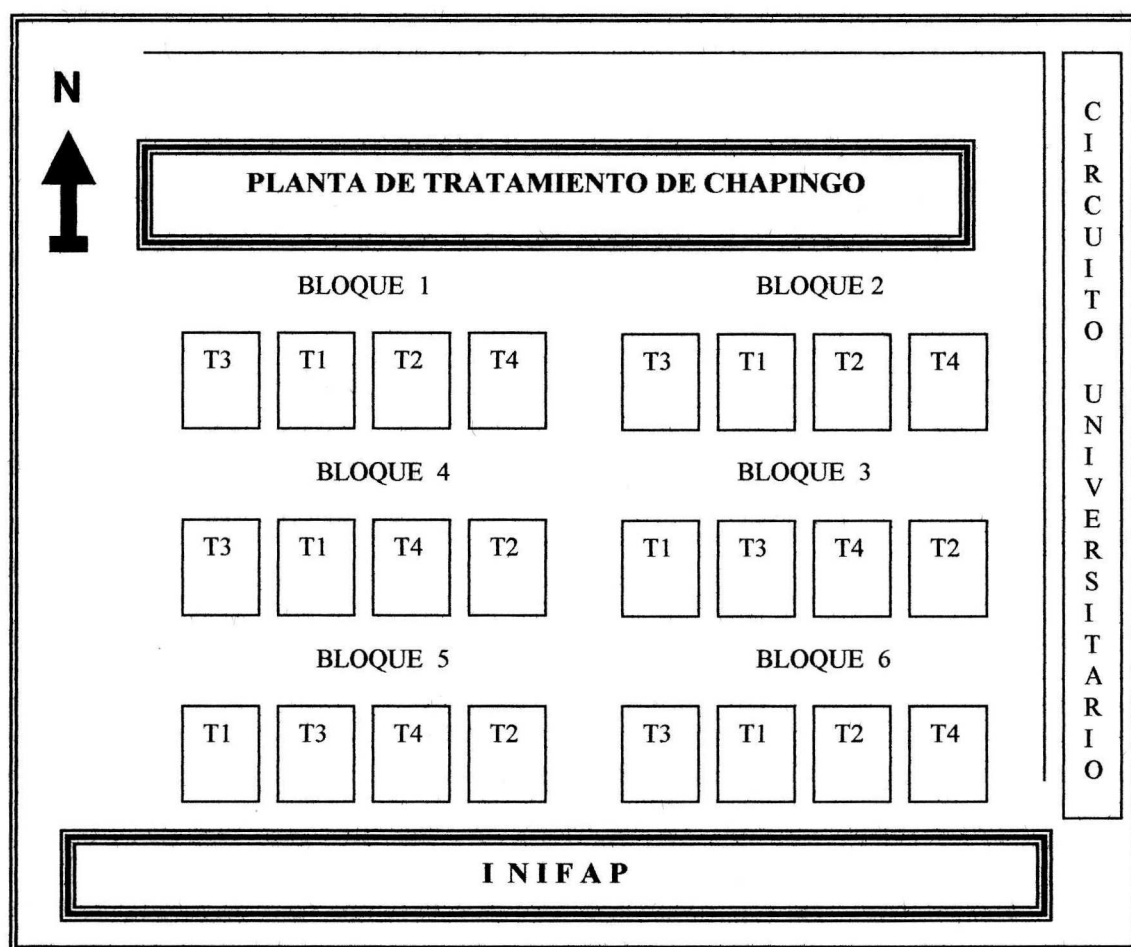


Figura 3. Croquis del Diseño Experimental establecido en campo.

5.2.3. Material vegetal

Se sembró lechuga (*Lactuca sativa* L.) Var. 'Coolguard', y se escogió este cultivo en función de su sensibilidad a la presencia de enteropatógenos y su

acumulación de los mismos en las estructuras de importancia para el hombre, en este caso las hojas. Es importante mencionar que esta especie se considera como tolerante a altas concentraciones de salinidad.

La variedad 'Coolguard' es una lechuga tipo romana, de hojas erectas de 25-30 cm de altura, de color verde claro.

5.2.4. Tratamientos evaluados

Se evaluaron dos tipos de agua (residual previamente tratada y limpia) y dos formas de cubrimiento de suelo, dando por resultado 4 tratamientos que a continuación se describen:

Tratamiento 1.- Agua tratada con acolchado con plástico negro.

Tratamiento 2.- Agua limpia con suelo descubierto.

Tratamiento 3.- Agua tratada con suelo descubierto.

Tratamiento 4.- Agua limpia con acolchado con plástico negro.

5.2.5. Variables evaluadas

Las variables respuesta evaluadas durante el ciclo de cultivo de las plantas en el campo fueron:

- **Número de hojas.-** Antes de formación de cabeza, se contaron las hojas protectoras.
- **Sanidad.-** Para esto se estableció una escala visual de apreciación con valores de 1 a 5, donde 1 es muy dañada y 5 es completamente sana.

- **Diámetro de planta (cm).**- Se midió con una cinta métrica, en la parte central de la planta, tomando la distancia comprendida de extremo a extremo de las hojas protectoras.
- **Perímetro de cabeza compacta (cm).**- Una vez cosechado el producto, se eliminaron las hojas protectoras y se midió con una cinta métrica la zona ecuatorial.
- **Peso fresco de cabeza (g).**- Esta variable se obtuvo pesando la cabeza compacta en una balanza electrónica. La medición se hizo cuando las plantas habían llegado a su madurez comercial.
- **Peso seco de la cabeza (g).**- Una vez obtenido el peso fresco, el material se sometió a secado en una estufa a una temperatura constante de 85 °C, posteriormente se pesó en una balanza electrónica hasta peso constante.

Cabe decir que en la última fecha no se consideró la variable peso seco porque no fue posible introducir las muestras obtenidas a secado en una estufa por causas ajenas a la institución.

Es importante mencionar que se realizaban visitas constantes al sitio experimental para valorar visualmente las condiciones del cultivo; por ello en una de esas inspecciones se observó que algunas plantas mostraban un color amarillento y la presencia de la enfermedad conocida como “pudrición blanda de las hortalizas” causada por la bacteria *Erwinia* sp (Figura 4), por lo que se decidió aplicar un bactericida y un fertilizante foliar en tres fechas (Cuadro 3), teniendo la precaución de asperjar siete días antes de la cosecha (Figura 5). La solución consistió en 2 g l⁻¹ de agrimicín®, 2 ml l⁻¹ de bayfolan forte® y 1 ml l⁻¹ de adherente.

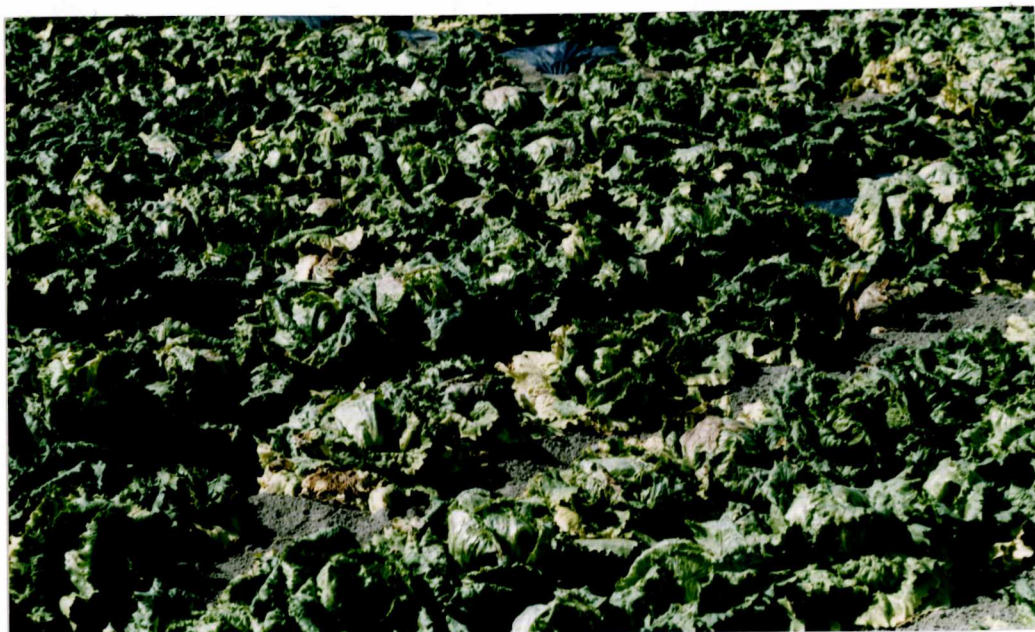


Figura 4. Plantas de lechuga con daño por “pudrición blanda”.



Figura 5. Aspecto general del cultivo y asperción de solución compuesta para detener el daño por bacterias.

Cuadro 3. Actividades realizadas durante el desarrollo del experimento.

Actividad	Fecha	dds
Siembra	30-sept-97	-
Trasplante	2-nov-97	34
Riegos	2-nov-97	34
	20,21-nov-97	53
	15,16-dic-97	78
	4-ene-98	97
	16-ene-98	109
	3-feb-98	127
Deshierbes	18-nov-1997	50
Evaluación de número de hojas (Nh) y diámetro de cabeza (Dc)	10-dic-1997	72
	4-ene-1998	97
	16-ene-1998	109
Evaluación de Sanidad de planta (San)	10-dic-1997	72
	4-ene-1998	97
	16-ene-1998	109
	30-ene-1998	123
Evaluación de perímetro de cabeza (Pc) y peso fresco (Pef) y peso seco (Pes)	30-ene-1998	123
	6-feb-1998	130
Aplicación de fertilizante foliar y fungicida	17-ene-1998	110
	22-ene-1998	115
	1-feb-1998	125
Cosecha	30-ene-1998	123
	6-feb-1998	130
Cuantificación de bacterias mesofílicas, coliformes totales, coliformes fecales y presencia de <i>E. coli</i>	Agosto a noviembre de 1998	-

5.3. Fase de laboratorio

Una vez que las plantas iniciaron la formación de cabeza se procedió a cortar al azar plantas de cada tratamiento y repetición, para guardar aproximadamente 150 g de lechuga fresca en frascos esterilizados, que fueron colocados a congelación hasta el momento de realizar la evaluación de microorganismos entéricos en el laboratorio. Para el presente trabajo de investigación, el grupo más importante de los microorganismos de los alimentos, fueron las bacterias, por ello fue el único grupo que se le dio importancia.

Cuando se tuvieron todas las muestras de lechuga en los frascos esterilizados, se llevaron al Laboratorio de Investigación del Departamento de Ingeniería Agroindustrial, para ser analizadas y así corroborar o no la existencia de las bacterias patógenas de interés para esta investigación que fueron: Coliformes totales, Coliformes fecales, *Escherichia coli*, *Shigella* sp. y *Salmonella* sp, ya que son las bacterias patógenas que con más frecuencia se presentan en productos obtenidos al regar con aguas residuales y que más daños generan a la salud del hombre.

La determinación y cuantificación de las bacterias entéricas se efectuó bajo las siguientes etapas:

1. Cuenta mesófila.
2. Cuantificación de coliformes totales mediante la técnica del número más probable.
3. Cuantificación de coliformes fecales.
4. Presencia de *Escherichia coli*.

La metodología detallada así como los materiales utilizados (Figura 6) para cada una de las etapas se mencionan en el apéndice 1 y fueron tomadas del

Manual de Técnicas para el Muestreo y Análisis Microbiológicos de alimentos de Pérez Miravete (1975). Se decidió seguir estas técnicas porque después de consultar los métodos para determinar la cuantificación de bacterias mesófilas, coliformes totales, coliformes fecales, *E. coli*, *Salmonella* y *Shigella*, mencionados en las diferentes Normas Oficiales Mexicanas, el Manual de Laboratorio de Microbiología Sanitaria de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional, El libro de Microbiología de los alimentos de Nickerson y Sinskey (1978), las técnicas descritas por Frazier y Westhoff (1993) y otras más, se llegó a la conclusión de que todos los métodos son esencialmente similares en principio y emplean las etapas de preenriquecimiento, enriquecimiento selectivo, aislamiento en medios de cultivo selectivo y diferenciales.



Figura 6. Algunos materiales utilizados en el laboratorio para la cuantificación de las bacterias.

El número de muestras de lechuga analizadas fue de 15 por tratamiento, porque según Refai (1981), para evaluar si un alimento contiene salmonelas es necesario analizar un mínimo de 10 muestras.

5.3.1. Variables evaluadas

Las variables respuesta de las muestras analizadas en el laboratorio fueron:

- **Número de bacterias mesofílicas por caja Petri de 100x15 mm.-**
Para ello cada una de las muestras fue manejada como se especifica en el apéndice 1. El conteo de dichas bacterias se hizo en el contador tipo Quebec (Figura 7).
- **Número de coliformes totales (NMP).-** Se cuantificó siguiendo la técnica del NMP (apéndice 1) y para esto cada una de las tres diluciones preparadas a partir de una muestra fueron inoculadas en tubos de ensaye de 16x150 mm con tapón de rosca que contenían caldo lauril sulfato de sodio (previamente esterilizado) y una campana de Durham.
- **Número de coliformes fecales (NMP).-** Las muestras que dieron un resultado positivo en la prueba del número de coliformes totales, se inocularon en tubos de ensaye de 150x10 que contenía el medio de cultivo específico para coliformes fecales (ver apéndice 1).
- **Presencia de *Escherichia Coli*.-** De los tubos positivos de la prueba anterior se inocularon tubos de ensaye con caldo lactosa verde brillante bilis al 2 % y se incubaron 48 horas a una temperatura de $44.5^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$.



Figura 7. Contador de bacterias mesófilas tipo Quebec.

5.4. Conducción y manejo del experimento

El experimento inició el 30 de septiembre con la siembra de semillas de lechuga en 30 charolas de unisel de 200 cavidades, las cuales fueron regadas según sus necesidades, y después de su germinación se les regaba cada tercer día con una solución que contenía los fertilizantes que se mencionan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Nutrientes y concentraciones de fertilizantes con los que se preparó la solución nutritiva con la que se regaron las plántulas de lechuga durante su fase en el invernadero.

Fertilizante	Fórmula	Cantidad ($\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	14.8
Nitrato de potasio	KNO_3	7.76
Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$	6.15
Superfosfato triple	$\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2\cdot \text{H}_2\text{O}$	4.0
Sulfato de hierro	$\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.29
Ácido bórico	H_3BO_3	0.11

La preparación del terreno consistió en un barbecho, un paso de rastra para desmoronar el suelo y el surcado a 0.90 m; inmediatamente después se acolcharon con la película plástica negra las unidades que según el diseño experimental debían de llevar dicha cubierta. Posteriormente se realizó el trasplante a campo el 2 de noviembre de 1997 y una vez concluido éste, se dio el primer riego a todo el terreno.

Una vez establecido el experimento se efectuaron 6 riegos durante la estancia de las plantas en el campo (Cuadro 3). El riego de agua tratada se realizó con ayuda de una bomba de 1HP de potencia con una manguera de 1 pulgada conectada directamente al estanque de almacenamiento del agua que fue previamente tratada o bien, del contenedor de agua tratada en ese día; y los tratamientos con agua limpia se regaron con una manguera del mismo grosor conectada a la llave de agua potable que había dentro de las instalaciones de la planta de tratamiento.

5.5. Análisis de datos

Los datos obtenidos en la fase de campo se sometieron a las pruebas de análisis de varianza y comparación múltiple de medias Tukey. Para ello se utilizó el programa computacional Statistical Analysis System (SAS) versión 6.12.

En cuanto a los resultados generados en la fase de laboratorio no se les realizó el análisis estadístico debido a que los valores obtenidos para la variable número de colonias mesofílicas no presentaron una distribución normal, por lo que no se cumple una de las tres condiciones necesarias para efectuar el análisis estadístico de una variable respuesta.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Análisis de agua

En el análisis del agua tratada empleada en el experimento se encontró que todos los valores obtenidos en contaminantes básicos, metales pesados y cianuros en los diferentes muestreos siempre se encontraban muy por debajo de los límites establecidos por la Norma Oficial o bien, no existieron. En el cuadro 5 se comparan los datos obtenidos en el análisis del agua tratada que se obtuvo en la planta y con la que se regaron los tratamientos que así lo requirieron contra los valores de la Norma Oficial NOM-CCA-032-ECOL/1993 y NOM-001-ECOL/1996 que se establecen en los Cuadros A-1 y A-3 del apéndice respectivamente, y se comprobó que todos los valores encontrados son inferiores; sin embargo, respecto a coliformes totales se puede apreciar que el valor cuantificado es muy alto (13×10^7), pero aún así se regaron las lechugas porque en muestreos subsecuentes los valores disminuyeron, además de que se quería comprobar la disminución de la presencia de organismos en el producto por efecto de la cubierta acolchante. El detalle de los organismos coliformes se estudia más adelante.

Además es importante mencionar que la planta tratadora se encontraba funcionando sin estar completamente concluida, es decir, faltaba poner bajo techo las instalaciones con la finalidad de tener temperaturas elevadas. Con esto se tiene la seguridad que el equipo será más eficiente y por consecuencia el agua residual tratada presentara mejor calidad en cuanto a organismos bacteriológicos.

De acuerdo con los muestreos de agua tratada realizados en la planta resulta perfectamente factible el utilizar el agua para fines agrícolas ya que en todos los casos (excepto en número de coliformes) están dentro de los límites permitidos por las Normas Oficiales, de ahí que resulte interesante el poder

darse cuenta de la potencialidad que tienen estos resultados, ya que por Decreto todos los municipios, dependiendo de su rango de población (Cuadro A-4 del apéndice), deberán instalar una planta de tratamiento, por lo que podrán utilizar sus aguas residuales para la agricultura.

Cuadro 5. Comparación de los análisis de calidad del agua tratada de la planta de la U.A.Ch con los límites máximos permisibles para contaminantes básicos.

PARÁMETROS (mg·l ⁻¹ , excepto cuando se especifique)	Límites establecidos en la Norma Oficial (Promedio Diario)	Valores obtenidos en los muestreos realizados en el agua tratada
Temperatura °C (Instantáneo)	No aplicable	23 ^{&}
Grasas y aceites (Muestra simple promedio ponderado)	25	-
Materia Flotante (1)	Ausente	-
Sólidos Sedimentables	2	0.2 ^{&}
Sólidos Suspendidos Totales	200	85 ^{&}
Sólidos disueltos totales	-	480 ^{&}
Demanda Bioquímica de Oxígeno ₅	200	104.13 ^{&}
Nitrógeno total	60	56.8 ^{&}
Fósforo total	30	6.54 ^{&}
PH	-	6.93 ^{&}
Conductividad (μmhos·cm ⁻¹)	-	994 ^{&}
Sodio (ml·l ⁻¹)	-	94.4 ^{&}
Potasio (ml·l ⁻¹)	-	29.3 ^{&}
Carbonatos (ml·l ⁻¹)	-	0.00 ^{&}
Bicarbonatos (ml·l ⁻¹)	-	478.8 ^{&}
Cloruros (ml·l ⁻¹)	-	30 ^{&}
Arsénico*	0.4	Trazas ^{&}
Cadmio*	0.4	Ausente ^{&}
Cianuro*	3.0	Ausente ^{&}
Cobre*	6.0	Ausente ^{&}
Cromo*	1.5	Ausente ^{&}
Mercurio*	0.02	Trazas ^{&}
Níquel*	4	Trazas ^{&}
Plomo*	1	Trazas ^{&}
Zinc*	20	1.327 ^{&}
Coliformes totales (NMP · 100ml)	-	13x 10 ^{7(&)}

(1) Ausente según el método de Prueba definido en la NMX-AA-006

(*) Medidos de manera total

(&) Promedio de tres diferentes fechas de muestreo)

(-) no se tiene datos

6.2. Efecto de los tratamientos sobre el desarrollo de la planta

En el Cuadro 6 se presentan los resultados de los análisis de varianza de las variables respuesta evaluadas durante las tres primeras fechas. Este análisis permite saber que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos para las variables número de hojas y diámetro de planta, lo que no ocurrió para la variable sanidad.

Cuadro 6. Análisis de varianza para variables evaluadas durante el desarrollo vegetativo en el cultivo de lechuga regada con aguas tratadas bajo acolchamiento del suelo, durante las tres primeras fechas.

Fecha	Variable	Fuente de Variación					
		Repetición	Tratamiento	Error	CV	R ²	Media
1	Núm. de hojas	0.509**	6.341**	0.116	3.066	92.501	11.132
	Diám. de planta (cm)	2.190	15.02**	2.095	4.619	64.058	31.336
	Sanidad	0.012	0.024	0.011	2.237	43.681	4.788
2	Núm. de hojas	2.454**	19.473**	0.247	3.325	95.013	14.956
	Diám. de planta (cm)	7.919**	50.178**	0.583	2.118	85.601	36.050
	Sanidad	0.015	0.000	0.007	1.767	43.045	4.797
3	Núm. de hojas	0.835	2.529**	0.496	8.308	61.224	8.482
	Diám. de planta (cm)	17.632**	39.819**	1.811	3.699	88.427	36.380
	Sanidad	0.035	0.036	0.020	3.435	48.234	4.176

** Altamente significativo ($\alpha = 0.01$)

En el Cuadro 7 se presentan los resultados de las pruebas de comparación de medias de las variables evaluadas durante las tres primeras fechas, por lo que se infiere que sí hay diferencias entre tratamientos para las variables número de hojas y diámetro de planta. Sin embargo, la variable sanidad es estadísticamente igual en todos los tratamientos, por lo que se afirma que no

importa el tipo de agua con que se rieguen las plantas así como si está o no acolchado el suelo, todas las plantas están sanas.

Cuadro 7. Comparación de medias en variables vegetativas durante las tres primeras fechas de muestreo.

Fecha	Variable	Tratamientos				DMS
		Agua tratada y acolchado	Agua limpia y sin acolchar	Agua tratada y sin acolchar	Agua limpia y acolchado	
1	Núm. de hojas	12.44a*	10.957b	11.187b	9.943c	0.5681
	Diámetro de planta (cm)	33.358a	31.093ab	31.392ab	29.503b	2.4087
	Sanidad	4.856a	4.801a	4.794a	4.703a	0.1783
2	Núm. de hojas	17.165a	15.180b	14.702b	12.778c	0.8276
	Diámetro de planta (cm)	39.342a	37.552b	34.168c	33.142c	1.2708
	Sanidad	4.788a	4.803a	4.810a	4.788a	0.1411
3	Núm. De hojas	9.332a	8.553ab	8.265ab	7.782c	1.1727
	Diámetro de planta (cm)	38.192a	38.968a	34.538b	33.823b	2.2396
	Sanidad	4.246a	4.220a	4.070a	4.170a	0.2388

Medias con la misma letra dentro de hileras son estadísticamente iguales de acuerdo con Tukey ($\alpha = 0.05$)

En las dos primeras fechas (72 y 97 dds respectivamente) ya se alcanza a apreciar los beneficios de regar con agua tratada y usar el acolchado plástico para las variables número de hojas y diámetro de cabeza, debido a que el tratamiento donde se combinaron estos dos componentes se comporta de manera superior en forma estadísticamente significativa, lo que permite sugerir que es factible utilizar para este cultivo aguas tratadas.

Por tanto, se dice que en estas fechas, en el tratamiento donde se regó con agua tratada y se acolcho el suelo, se presentó un beneficio en las plantas debido a la presencia de nutrimentos que aportan este tipo de agua, dando como resultado un mayor crecimiento en comparación con el obtenido si fueran

regados con agua “blanca” o limpia, los resultados obtenidos concuerdan con lo presentado por Rodríguez (1987), quien también recomienda el uso de aguas tratadas en la agricultura por el aporte de nutrimentos.

También es notorio los beneficios que se obtienen por el uso del acolchado plástico, para el caso de aguas tratadas, no así para agua limpia, lo cual posiblemente sea debido a los microorganismos termófilos que se encuentran en las aguas tratadas que hacen más accesibles los nutrimentos a las plantas; sin embargo, este efecto parece más bien asociado al caso donde se acolcha y se riega con agua tratada, que es el tratamiento donde mejor comportamiento se presenta ya que donde se emplea la combinación agua limpia más acolchado resulta con valores significativamente menores. La explicación de este comportamiento puede deberse al incremento de temperatura que provocan los plásticos en el suelo y que en combinación con la humedad permanente facilitan la descomposición de la materia orgánica del suelo, que se supone es más alta al regarse con aguas tratadas.

La Figura 8 muestra el comportamiento de número de hojas de los tratamientos durante todos los muestreos, pudiéndose observar que la diferencia fue muy pequeña, pero sí se presentó. En esta se observa que no hay diferencia entre los tratamientos que estaban sin acolchado, pero sí entre aquellos que tuvieron acolchado con plástico negro.

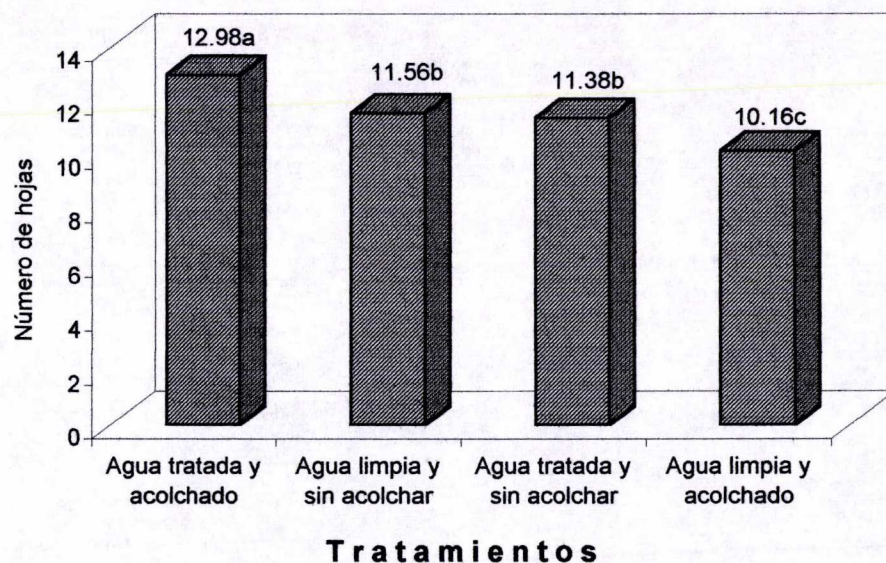


Figura 8. Prueba de comparación de medias del número de hojas en los cuatro tratamientos durante todos los muestreos.

La variable diámetro de planta en todos los tratamientos presentó diferente comportamiento, esto se muestra en la Figura 9.

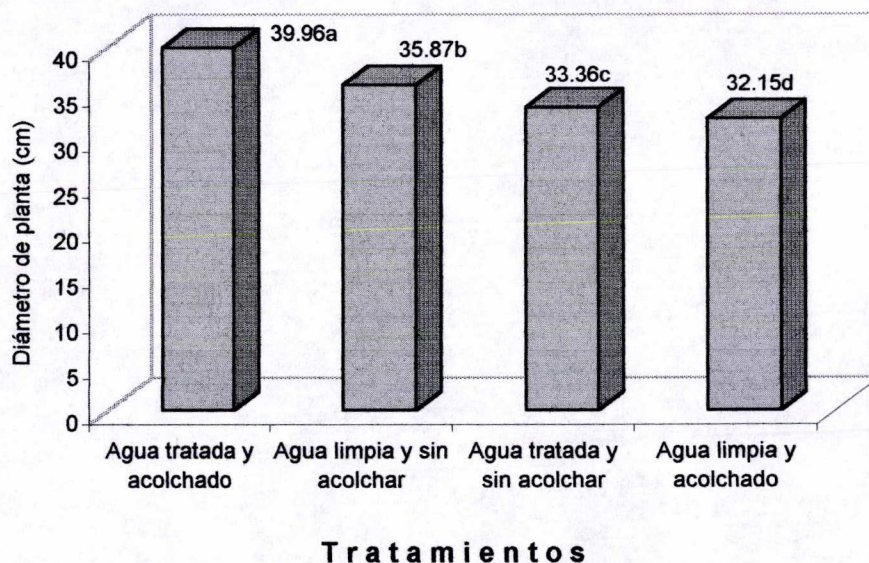


Figura 9. Prueba de comparación de medias del diámetro de planta en los cuatro tratamientos durante todos los muestreos.

En esta Figura se observa que no todos los tratamientos presentaron diferencias entre sus medias, es decir, ningún tratamiento fue igual a otro.

Para la cuarta evaluación se realizó el primer corte de lechuga, desaparecen dos variables: número de hojas y diámetro de planta, porque como ya se formó la cabeza y las hojas que la rodean ya se han marchitado, por tanto ya no es confiable seguir considerando dichas variables. Sin embargo, dado que se inició la cosecha de aquellas plantas que alcanzaron el tamaño comercial, se generan las variables perímetro de cabeza, peso fresco y peso seco.

El análisis de varianza para esta fecha (Cuadro 8) muestra que hay diferencias altamente significativas entre tratamientos para todas las variables.

Cuadro 8. Análisis de varianza para variables evaluadas durante el desarrollo vegetativo en el cultivo de lechuga en la cuarta evaluación.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrados Medios			
		Perímetro de cabeza (cm)	Peso Fresco (g)	Peso Seco (g)	Sanidad
Repetición	5	2.2850	1407.005	3.1932	0.07183**
Tratamiento	3	10.3444**	37323.098**	67.2369**	0.07245**
Error	15	2.2398	884.226	2.9797	0.0036
CV		3.6282	5.966	9.2770	1.5395
R ²		55.8254	89.9723	82.9645	91.4286
Media		41.2483	498.3453	18.6071	3.8991

** Altamente significativo ($\alpha = 0.01$)

La prueba de comparación de medias (Cuadro 9) muestra que sí hay diferencia entre tratamientos para todas las variables evaluadas en la cuarta fecha.

Cuadro 9. Comparación de medias en variables vegetativas durante la cuarta fecha de muestreo.

Tratamiento	Perímetro de cabeza (cm)	Peso Fresco (g)	Peso Seco (g)	Sanidad
Agua tratada y acolchado	42.063ab	546.56a	20.878a	3.9400a*
Agua limpia y sin acolchar	42.620a	583.93a	21.640a	3.9917a
Agua tratada y sin acolchar	39.812b	425.93b	14.343c	3.7400b
Agua limpia y acolchado	40.498ab	436.96b	17.567b	3.9250a
DMS	2.4904	49.481	2.8724	0.0999

Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales de acuerdo con Tukey ($\alpha = 0.05$)

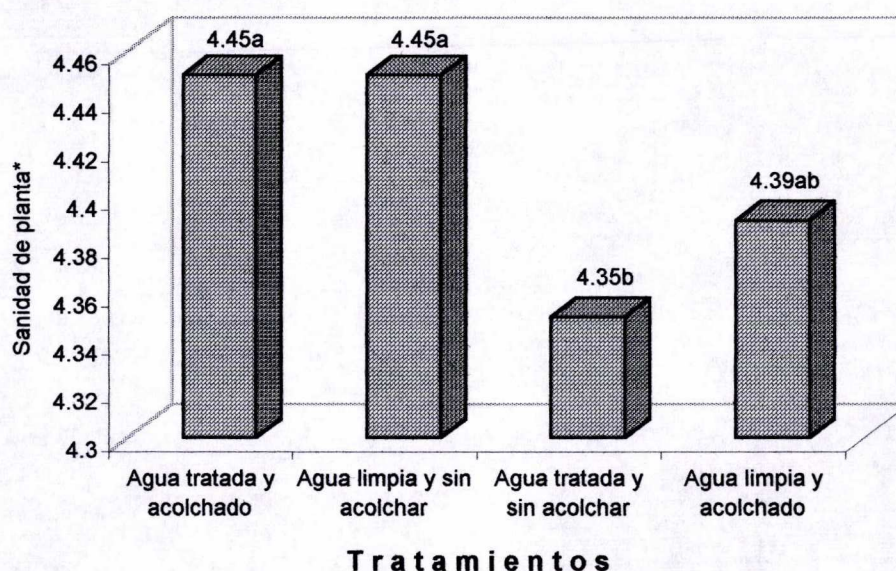
Respecto a las variables perímetro de cabeza peso fresco, que son determinantes importantes del rendimiento, la tendencia general es que el comportamiento presentado puede atribuirse a la combinación del efecto de las aguas tratadas con acolchamiento del suelo, pues el mejor efecto de los tratamientos sobre dichas variables se presenta en el tratamiento de agua limpia sin acolchar, pero resulta ser estadísticamente igual al caso de agua tratada con acolchado, lo que implica la posibilidad de que al combinar la cobertura del uso con este tipo de agua, se logren beneficios similares que con el manejo convencional ya que cada vez es más caro y complejo por la indisponibilidad y escasez de agua limpia. De cierta forma también representa la posibilidad de emplear aguas residuales previamente tratadas y así resolver en parte el problema de desalojo de las mismas de las zonas urbanas.

En esta fecha (123 dds), la variable sanidad fue estadísticamente igual en los tratamientos donde se utilizó acolchamiento del suelo, independientemente del tipo de agua con la que se regó, así como aquel donde se aplicó agua limpia y no se cubrió el suelo. Sin embargo, en el tratamiento de agua tratada y sin acolchar estuvo un poco dañado por la presencia de la bacteria *Erwinia* sp, lo que representó una disminución en el índice de sanidad visual que se estableció. Esto de cierta forma refuerza lo supuesto al principio del trabajo, donde se suponía que el plástico puede representar una barrera para que los

organismos presentes en el suelo, y en este caso por el uso de aguas tratadas, infesten el cultivo de interés.

En general, respecto a la incidencia de la bacteria fitopatógena se identificaron las especies *Erwinia chrysanthemi* y *E. carotovora* en sus dos variedades *carotovora* y *atroseptica*.

En la Figura 10 se observa el comportamiento de la variable sanidad durante todo el ciclo de cultivo.



* 1= completamente dañada y 5= completamente sana

Figura 10. Prueba de comparación de medias de sanidad para los cuatro tratamientos durante todos los muestreos.

Es conveniente mencionar que el cultivo hasta el cuarto riego que se hizo a los 97 días después de la siembra no presentaba síntomas de la presencia de esta bacteria; sin embargo, posiblemente se encontraba en los tejidos de la lechuga y cuando hubo alta humedad al aplicar el riego se presentaron las condiciones de dispersión de la bacteria; aunado a ello en los siguientes días

las condiciones ambientales presentaron un cambio en la humedad relativa y presencia de lluvia y temperatura (Apéndice 3 y 4 respectivamente) que contribuyeron a acelerar la infestación de la bacteria en el cultivo.

La presencia de temperaturas bajo cero que se presentaron desde el 26 de diciembre (Apéndice 4), hasta prácticamente la fecha de cosecha, así como la aplicación de los riegos siguientes posiblemente contribuyeron a crear un microclima que favoreció la multiplicación de las bacterias debido a que como el crecimiento de la planta era avanzado y el follaje cubría la mayor parte del suelo, la humedad de la parte inferior aumentó, por lo que las bacterias fitopatógenas se incrementaron; esto se fundamenta con lo puntualizado por Sánchez (1988), Torres Morán (1987) y Álvarez (1997), quienes afirman que esta especie es una de las principales enfermedades que ataca el cultivo de lechuga y que uno de los principales factores que permiten la iniciación de la podredumbre en los tejidos es la presencia de agua condensada sobre la superficie de las hojas, lo que aumenta la turgencia del tejido y en consecuencia, la susceptibilidad a la podredumbre por la bacteria.

En la Figura 11 se observa lechugas de cada uno de los tratamientos evaluados dañadas por la bacteria de la “pudrición blanda”.



A



B



C



D

Figura 11. Muestras de lechugas con daño por bacterias (*Erwinia* sp) provenientes de: A) tratamiento de agua tratada y acolchado, B) tratamiento agua limpia y sin acolchar, C) tratamiento de agua tratada y sin acolchar y D) tratamiento de agua limpia y acolchado.

En la última evaluación únicamente se consideraron las variables perímetro de cabeza y peso fresco para realizar el análisis de varianza (Cuadro 10) y se encontró que sí existe una diferencia altamente significativa entre tratamientos para las dos variables.

Cuadro 10. Análisis de varianza para las variables perímetro de cabeza y peso frescos durante el desarrollo vegetativo en el cultivo de lechuga en la quinta evaluación.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios	
		Perímetro de cabeza (cm)	Peso fresco (g)
Bloque	5	0.433114	1470.1451
Tratamiento	3	16.009448**	35088.7339**
Error	15	2.8587	2661.4333
CV		4.8147	12.6946
R ²		53.9284	73.8286
Media		35.11708333	406.385333

** Altamente significativo ($\alpha = 0.01$)

La prueba de comparación de medias (Cuadro 11) muestra que sí hay diferencia entre tratamientos para las dos variables consideradas.

Cuadro 11. Comparación de medias en variables perímetro de cabeza y peso fresco durante la quinta evaluación.

Tratamiento	Perímetro de cabeza (cm)	Peso fresco (g)
Agua tratada y acolchado	36.682 a	440.89a
Agua limpia y sin acolchar	36.373ab	498.00a
Agua tratada y sin acolchar	33.713 b	345.27 b
Agua limpia y acolchado	33.700 b	341.38 b
DMS	2.8135	85.845

Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales de acuerdo con Tukey ($\alpha = 0.05$)

En la quinta y última evaluación el comportamiento de las variables perímetro de cabeza y peso fresco se asocia en forma directa al tipo de agua que se utilizó y el tipo de cobertura empleada parece no tener efecto ya que al comparar los tratamientos acolchados utilizando agua tratada y limpia, para ambas variables resulta presentarse una diferencia estadísticamente significativa y lo mismo ocurre en el caso sin acolchar utilizando también agua limpia y tratada para la variable peso fresco (Cuadro 11) y existe la tendencia a diferenciarse en el caso del perímetro de cabeza.

En las Figuras 12 y 13 se muestra el comportamiento de las pruebas de comparación de medias para las variables perímetro de cabeza y peso fresco respectivamente, de cada uno de los tratamientos durante todo el tiempo que duró el ciclo vegetativo.

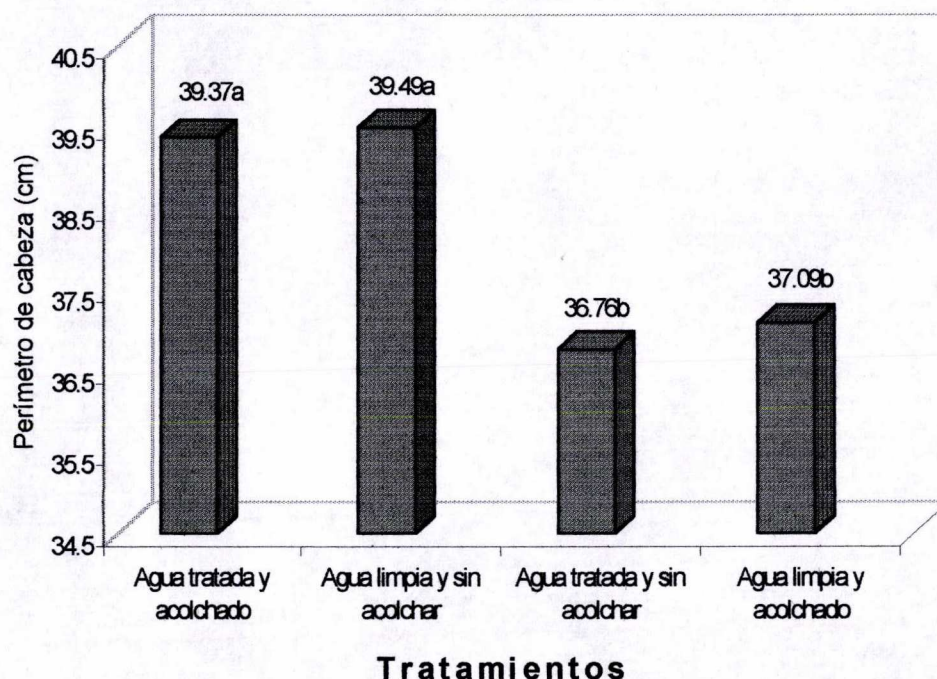


Figura 12. Prueba de comparación de medias del perímetro de cabeza entre tratamientos durante todos los muestreos.

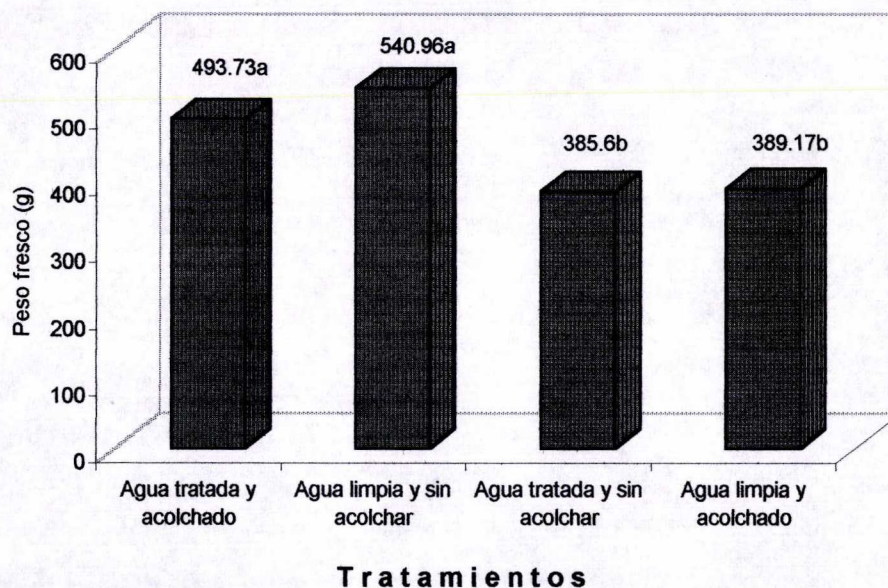


Figura 13. Prueba de comparación de medias del peso fresco entre tratamientos durante todos los muestreos.

Realmente en esta última fase del experimento es donde se ponen de manifiesto las bondades agrícolas que se obtienen al utilizar aguas residuales tratadas, ya que al analizar al final del ciclo las variables de mayor interés agronómico (asociadas al rendimiento) resultan presentarse valores estadísticamente iguales en los casos donde se utilizan aguas tratadas y “blancas”. Este comportamiento se atribuye a la acumulación a lo largo del ciclo de componentes como materia orgánica que se descompone fácilmente y a la presencia de iones fertilizantes en la misma agua, entre otros.

Los efectos del acolchamiento parecen desaparecer en la última fase (sobre todo los asociados a temperatura edáfica) en virtud de que el cultivo creció y de esa forma evita la llegada de radiación solar a la zona de la raíz de la planta. Sin embargo, su efecto puede verse reflejado al mantener los niveles de humedad más altos y facilitar la acción de los microorganismos que actúan sobre la descomposición de la materia orgánica que aporta el agua tratada.

6.3. Microorganismos enteropatógenos en el tejido de lechuga

Los resultados de los cuatro tratamientos evaluados en el presente trabajo obtenidos durante las pruebas de laboratorio para la cuantificación de bacterias mesofílicas, coliformes totales, coliformes fecales, y *Escherichia coli*, se muestran en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Colonias de bacterias presentes en el tejido de lechuga cultivada con agua tratada y bajo acolchado.

Tratamiento	Repetición	Número de colonias de bacterias mesofílicas aerobias	Coliformes totales (NMP/g)	Coliformes fecales (NMP/g)	Presencia de <i>E. coli</i>
Agua tratada y acolchado	1	1170	3	-	-
	2	49450	0	-	-
	3	63600	0	-	-
	4	57600	0	-	-
	5	59450	0	-	-
	6	20510	6.35	-	-
Media		41963	1.56	0	-
Agua limpia y sin acolchar	1	5790	15.54	6.2	-
	2	7983	9.2	-	-
	3	6450	0	-	-
	4	29000	0	-	-
	5	16933	0	-	-
	6	71767	11	-	-
Media		22987	5.93	1.03	-
Agua tratada y sin acolchar	1	16050	3	-	-
	2	5554	68	-	-
	3	18050	0	-	-
	4	18550	3.6	-	-
	5	43825	0	-	-
	6	13200	0	-	-
Media		19204	12.43	0	-
Agua limpia y acolchado	1	18500	7.2	-	-
	2	4800	0	3	-
	3	140000	3.6	-	-
	4	33595	10.33	3	-
	5	22475	0	-	-
	6	36785	10.2	-	-
Media		42693	5.22	1.0	-

- Ausencia de microorganismos

En referencia al comportamiento de los organismos mesofílicos aerobios se puede decir que es alta para los cuatro tratamientos (Figura 14); sin embargo, en este grupo se incluye una variedad de microorganismos como los bacilos, estreptococos, Gram positivos y Gram negativos, capaces de desarrollarse entre 10 y 45 °C, rango en el cual se encuentra la temperatura 37 °C, que según Amador y Rodríguez (1993), es la indicada para realizar la incubación de las placas y posteriormente realizarse este recuento, en condiciones de aerobiosis. Es importante mencionar que además de las bacterias entéricas antes mencionadas también a los 37 °C se desarrolla la bacteria fitopatógena *Erwinia* sp, misma que como ya se mencionó fue causante de daños en el cultivo de lechuga, puesto que se presentaron las condiciones ambientales que permitieron su desarrollo e infestación a las plantas.

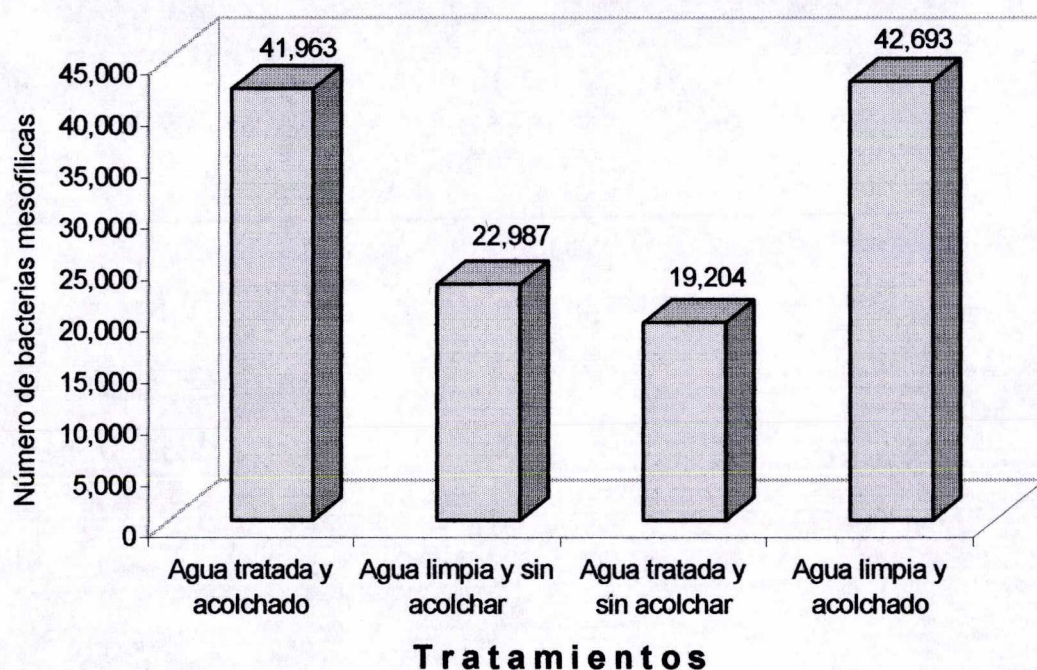


Figura 14. Medias aritméticas del número de colonias de bacterias mesofílicas contenidas en el tejido de lechuga para los cuatro tratamientos, durante todos los muestreos

En este grupo se encuentran las bacterias fitopatógenas y enteropatógenas, siendo las primeras inofensivas para el hombre, pero si se reúnen las condiciones óptimas para su crecimiento y no hay aplicación preventiva contra enfermedades, entonces se desarrollan y causan daños al cultivo afectando directamente al rendimiento del mismo y no al hombre en su salud.

Según se aprecia en la Figura 14 el comportamiento que presentan las bacterias mesofílicas era de esperarse puesto que los tratamientos con acolchado independientemente de ser regados con agua tratada y limpia presentan los valores más altos en el número de colonias mesofílicas debido a que en estos, la bacteria *Erwinia* sp causó mayores, por lo que al realizar el cultivo dicha bacteria creció más que otras que también se desarrollan a 37 °C de temperatura. El tratamiento con la asociación acolchado y agua tratada es un ambiente propicio para el crecimiento y desarrollo de todo tipo de bacterias (fitopatógenas y enteropatógenas), ya que las aguas residuales tratadas aportan gran cantidad de materia orgánica y algunas bacterias, dependiendo de sus necesidades nutricionales, la descomponen y utilizan como alimento.

En los dos tratamientos donde no se empleó acolchado los valores de colonias fueron bajos, y esto se atribuye a que no se desarrollaron las bacterias porque no se dio el ambiente adecuado para ello, es decir el suelo desnudo está sujeto al cambio brusco de temperatura, lo que dificulta que los microorganismos en este caso bacterias, puedan establecer su ciclo de vida satisfactoriamente.

En la Figura 15 se puede ver como fue el crecimiento de las bacterias mesofílicas en las tres diferentes diluciones que se proponen en la metodología mencionada en el apéndice1.



Figura 15. Comportamiento del crecimiento de colonias de bacterias mesofílicas presentes en el tejido de lechuga en las tres diferentes diluciones evaluadas.

Renfai (1981), menciona que el número máximo permisible de bacterias mesofílicas aerobias que pueden contener los alimentos no debe exceder 10^6 (10,000,000) por gramo de muestra y los valores obtenidos en cualquiera de los tratamientos, caen dentro del límite establecido por este autor; sin embargo, como es muy seguro que este valor se considere demasiado alto, el resultado obtenido se comparó con el límite establecido por la Comisión Internacional en Especificaciones Microbiológicas de los alimentos (ICMSF) que menciona se pueden contener hasta 500,000 microorganismos mesofílicos por gramo de muestra, por lo que se deduce que es perfectamente factible llevar a cabo el cultivo de lechuga bajo las condiciones probadas en el trabajo; sobre todo con el mérito de utilizar agua tratada

Respecto a los coliformes totales, aunque las pruebas de cuantificación dieron algunos resultados positivos (Figura 16), de los valores exhibidos en el Cuadro 12 se puede decir que los tratamientos donde se acolchó, independientemente del tipo de agua de riego, presentaron valores menores comparados con los obtenidos en los tratamientos con suelo desnudo; por lo que se infiere que el uso de acolchado, no importando si se riega con agua tratada o “blanca”, sí ayuda a reducir la presencia de microorganismos enteropatógenos.

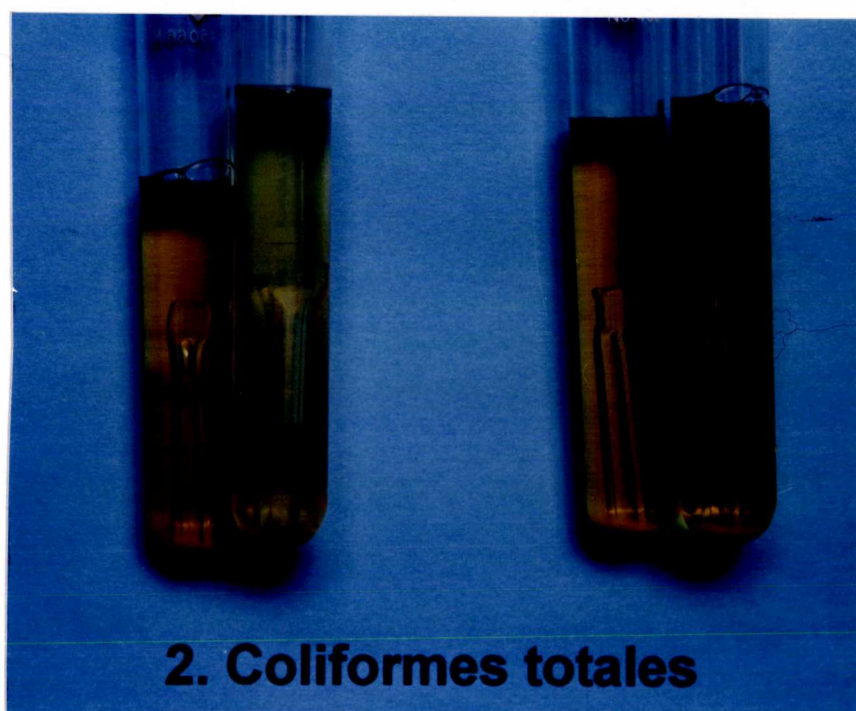


Figura 16. Pruebas positivas de la cuantificación de coliformes totales

Renfai (1981), menciona que el número de bacterias coliformes totales en un alimento no debe exceder de 10,000 por gramo de muestra, por lo que los valores obtenidos para cada uno de los diferentes tratamientos evaluados en el presente trabajo cumplen perfectamente con esta condición, ya que el número mayor de coliformes totales lo presentó el tratamiento donde se utilizó la

combinación agua tratada y sin acolchar con 12.43 y el valor menor fue de 1.56 del tratamiento que consistió en agua tratada aplicada en suelo acolchado. En la Figura 17 se observa el comportamiento del número de coliformes totales.

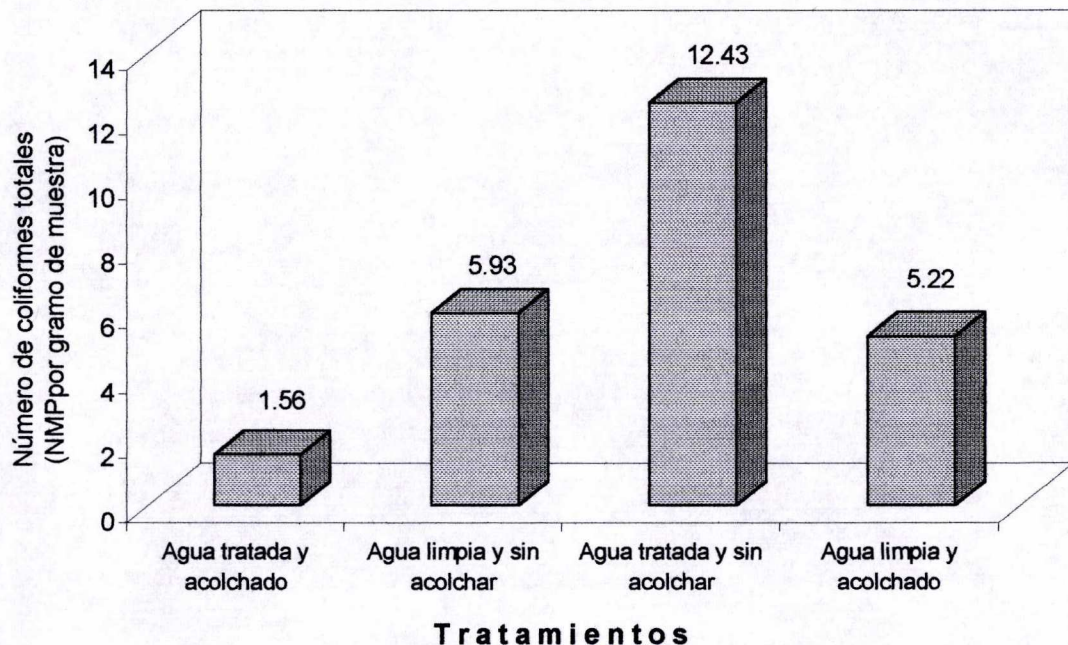


Figura 17. Comportamiento de las medias aritméticas del número de coliformes totales presentes en hojas de lechuga para los cuatro tratamientos.

De los resultados obtenidos para esta variable se infiere que aunque se use agua tratada, el empleo del acolchado en el suelo disminuyó la presencia de coliformes totales en la planta porque existió un menor contacto de la misma con el suelo debido a que se produce una barrera entre el producto en cultivo y el agua de riego por medio de la película plástica, lo que repercute en la calidad del producto. Esto confirma lo planteado en un principio en el trabajo.

A pesar del bajo número de coliformes totales en los cuatro tratamientos; los resultados de la cuantificación de coliformes fecales en el producto hortícola

final, no revelan este tipo de organismos aunque fueran regadas con agua tratada; esto puede deberse a que aunque se encontraron coliformes totales, que tienen como hábitat primordial los intestinos del hombre, Amador y Rodríguez (1993) afirman que dentro de este grupo se incluyen bacterias de origen no intestinal como son: *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter cloacae*, *Klebsiella pneumoniae* y *Citrobacter* que no necesariamente guardan una relación directa con la contaminación de origen fecal, por lo que no pueden considerarse organismos patógenos entéricos. En cambio autores como Sedlák, Sakazaki y Orskov (1974) afirman que las bacterias antes mencionadas sí se encuentran en los intestinos del hombre y algunos animales así como en las heces fecales.

Los tratamientos regados con agua “blanca” tienen 1.03 coliformes fecales en donde el suelo no fue acolchado y 1.0 en aquel donde se acolchó, lo que puede atribuirse posiblemente a que este tipo de bacterias se presentaron porque se encontraban presentes en el suelo y no porque fueran introducidas en el agua de riego. Esto también puede ser producto de la mera casualidad dado que la escala es muy pequeña. El comportamiento de los coliformes fecales se presenta en la Figura 18.

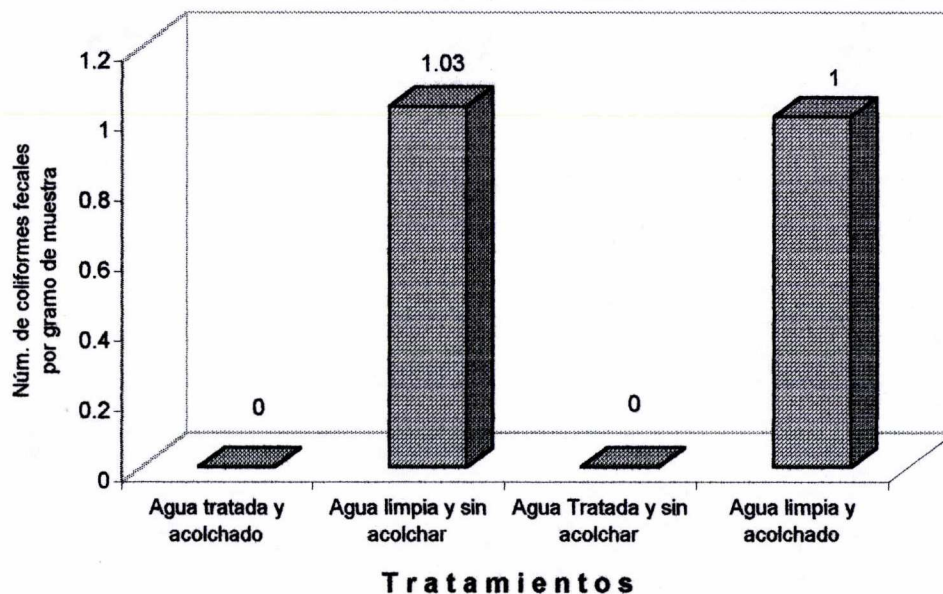


Figura 18. Comportamiento de las medias aritméticas del número de coliformes fecales presentes en el tejido de lechuga.

En la Figura 19 se observan muestras que dieron positiva la cuantificación de coliformes fecales.

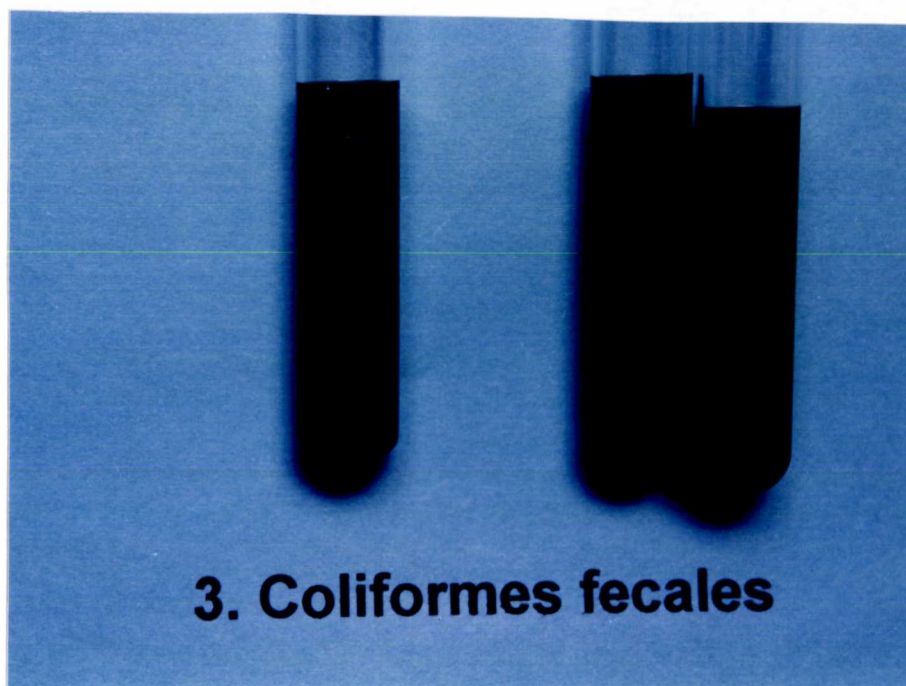


Figura 19. Prueba positiva de coliformes fecales.

En cuanto a la cuantificación de *Escherichia coli* los resultados obtenidos en laboratorio permitieron conocer que no hubo presencia de este organismo en ninguna de las muestras evaluadas. A pesar que para este trabajo no se encontraron indicios de *E. coli* en las muestras de lechuga, los criterios de calidad de alimentos señalados por la Comisión Internacional en Especificaciones Microbiológicas para Alimentos tienen establecido tres niveles de calidad por cada 5 muestras evaluadas: i) aceptabilidad total cuando las cinco unidades de muestra analizadas presentan menos de 10 *E. coli* y ausencia total de *Salmonella*; ii) aceptabilidad provisional cuando de las cinco unidades de muestra analizadas, tres de ellas cumplen con el requisito anterior y dos presentan valores entre 10 y 1000 *E. coli* y ausencia de *Salmonella*; y, iii) rechazable cuando existen más de 1000 *E. coli* por gramo de muestra o se verifica la presencia de *Salmonella*.

Por lo anterior, se puede mencionar que aunque se *E. coli*, estos no debieron superar el valor de 10 para que el producto obtenido fuera aceptable totalmente, según lo establecido por ICMSF.

Los bajos niveles de organismos enteropatógenos es posible que se deba a la aspersión de agrimicín® para el control de la bacteria causante de la pudrición blanda; sin embargo, si esto fuera cierto puede ser conveniente realizar una aplicación de este producto y así disminuir la cantidad de dichos organismos.

La proliferación de las bacterias productoras de alteraciones depende directamente del contenido de agua que tenga la hortaliza y Jay (1973) afirma que la lechuga contiene 94.8 % de agua, por lo que en dicha verdura es muy fácil que se desarrollen bacterias, no importando el tipo de agua con el cual se rieguen.

Al realizar un análisis global de los resultados obtenidos en las diferentes variables respuesta evaluadas en el desarrollo de la lechuga en campo, así como los referentes a la presencia y abundancia de organismos enteropatógenos en las hojas del producto final (estructura de importancia en el caso de la lechuga), se puede decir que es perfectamente posible utilizar aguas residuales de origen doméstico, previamente tratadas, para el riego de hortalizas que se consumen en fresco, teniendo cuidado de acolchar el suelo.

VII. CONCLUSIONES

Bajo las situaciones en las que se desarrollo el presente experimento y para el cultivo analizado, se llegó a las siguientes conclusiones:

- El crecimiento en número de hojas (12.98) y diámetro de planta (39.96 cm) se incrementó con el uso de acolchado plástico en combinación con la irrigación de aguas residuales tratadas empleados en el cultivo de lechuga. Los valores de perímetro de cabeza (39.37 cm) y peso fresco (493.73 g) de la combinación acolchado y riego con aguas residuales tratadas no fueron los más altos; sin embargo estadísticamente es igual al tratamiento agua limpia y sin acolchar. En cuanto a sanidad de planta (4.45) el empleo de acolchado y riego con agua residual tratada es igual estadísticamente a aquel donde se utilizó agua limpia y sin acolchar.
- Es posible reducir o eliminar los microorganismos enteropatógenos (que representan un peligro a la salud del consumidor) mediante el empleo de acolchado del suelo, porque se produce un aislamiento entre el suelo regado con agua tratada y el producto final.
- Es posible emplear las aguas residuales de origen doméstico previamente tratadas, para regar cultivos de hortaliza como la lechuga, sin correr el riesgo de que se encuentren contaminados con organismos enteropatógenos que afecten la salud de los consumidores, puesto que solo se encontraron 1.56 coliformes totales, número que se encuentra dentro de los límites establecidos por la Norma Oficial.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Si el tratamiento de acolchado y riego con agua tratada presenta el mejor rendimiento, sería conveniente realizar un estudio económico para conocer si es factible utilizar esta combinación sin afectar los costos de producción.
2. Es conveniente realizar un estudio de las características físicas y químicas del suelo antes y después de establecer el experimento, con la finalidad de saber si dichas características son alteradas por el uso de agua residual tratada en el riego.

IX. LITERATURA CITADA

- Aguilar Noh, A. 1997. Atentado contra la salud en nuestra Universidad. Revista Tzapingo. 148: 4-5.
- Aguilar Santis, H.; J. C. Gutiérrez E.; E. Montiel L.; J. G. Negrete B. y R. Osorio M. 1997. Reporte de proyecto "Uso de las aguas tratadas como alternativa de riego para el cultivo de cebada como forraje. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. Mimeo. 26 p.
- Aguilera Contreras, M. y R. Martínez E. 1996. Relaciones agua-suelo-planta atmósfera. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 256 p.
- Álvarez Alfaro, J. J. 1997. Comportamiento de la pudrición suave de la lechuga, inducida por *Erwinia carotovora* var. *Atroseptica* con la aplicación de la cepa antagónica CAE-01, en Chapingo, México. Tesis Profesional. Departamento de Parasitología. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 62 p.
- Amador López, R.; E. Fernández R. y R. Rodríguez M. 1993. Manual de Laboratorio de Microbiología Sanitaria. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. México, D. F. 306 p.
- Amador López, R. y R. Rodríguez M. 1993. Recuento de organismos mesofílicos aerobios. In: Amador L., R.; E. Fernández y R. Rodríguez M. (Editores). Manual de Laboratorio de Microbiología Sanitaria. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. México, D. F. pp 43-49.

- Amador López, R. y R. Rodríguez M. 1993. Recuento de organismos coliformes. *In: Amador L., R.; E. Fernández y R. Rodríguez M. (Editores). Manual de Laboratorio de Microbiología Sanitaria. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. México, D. F. pp 50-61.*
- Anónimo. 1997. El agua fluído vital del planeta. La crisis del agua. Problema mundial. Revista ¡Despertad!. 22 de agosto de 1997. pp 3.
- Avilés Ruiz, D. y M. G. Eusebio H. 1993. Investigación de *Salmonella* en alimentos. *In: Amador L., R.; E. Fernández y R. Rodríguez M. (Editores). Manual de Laboratorio de Microbiología Sanitaria. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. México, D. F. pp 139-153.*
- Avilés Ruiz, D. y M. G. Eusebio H. 1993. Investigación de *Shigella* en alimentos. *In: Amador L., R.; E. Fernández y R. Rodríguez M. (Editores). Manual de Laboratorio de Microbiología Sanitaria. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. México, D. F. pp 154-158.*
- Ayers, R. S. y D. W. Wescot. 1987. La Calidad del Agua en la Agricultura. Estudio FAO: Riego y Drenaje. No. 29 rev. 1. Roma. Italia. 174 p.
- Becerra Uribe, P.; J. Jiménez G. y C. E. Martínez M. 1996. Lo verde y lo negro en el valle del Mezquital. Aspectos generales de la contaminación con aguas residuales. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. Mimeo. 40 p.
- Bole, J. B.; J. A. Carson and W. D. Gould. 1985. Yields of forage irrigated with wasterwater and fate of added nitrogen-15 labeled fertilizer nitrogen. *Agronomy Journal* 77(5): 715-719.

- Bower, H. and R. L. Chaney. 1974. Land treatment of wastewater. *Advances in Agronomy*. 26: 133-176.
- Bureau, R. G. 1987. Reclaimed water for irrigation of vegetables eaten raw. *Calif. Agric.* 41(7-8): 4-7.
- Cachón A., L.; H. Neri G. y H. Cuanalo de la Cerda. 1976. Los suelos del área de influencia de Chapingo. Colegio de Postgraduados. Montecillos. México D. F.
- Cajuste, L. J.; R. Carrillo G.; E. Cota G. y R. J. Laird. 1991. The distribution of metals from wastewater in the Mexican Valley of Mezquital. *Water, Air and Soil Pollution*. 57-58: 673-771.
- Calderón J., L. 1992. Reuso de agua residual en la agricultura. *Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. No. 5.
- Cámara Durán, O. A. 1991. El agua residual y su aprovechamiento en el riego agrícola en el Valle del Yaqui, Sonora. *ITSON-DIEP*. 1(1): 41-51.
- Cámara Durán, O. A. 1994. Impacto de la agricultura bajo riego sobre la calidad del agua: caso del Valle del Yaqui, Sonora. *Ingeniería hidráulica en México* 9(3): 57-71.
- Carrillo G., R.; J. Cajuste L. y L. Hernández H. 1992. Acumulación de metales pesados en un suelo regado con aguas residuales. *Soc. Mexicana de la Ciencia del Suelo. Terra* 10(2): 166-173.
- Campos Carranco, M. A. y J. M. Razo M. 1992. Efectos del acolchamiento con paja de maíz (*Zea mays* L.) y cebada (*Hordeum vulgare* L.) e inoculación,

- en la producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Chapingo, Méx. Tesis Profesional. Departamento de fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 152 p.
- Cázares López, C. 1997. Las regiones más afectadas. La crisis del agua. Problema mundial. Revista ¡Despertad!. 22 de agosto de 1997. pp 4-10.
- Cirelli, C. 1996. Abasto de agua a las ciudades: la perspectiva de las zonas abastecedoras. El caso de San Felipe y Santiago, Alto Lerma. In: Melville R. y F. Peña (Compiladores) Apropiación y uso del agua. Nuevas líneas de investigación. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp 65-80.
- Cisneros E., X.; A. De los Santos G.; R. Gontes B.; L. Oyes y C. Rodríguez Z. 1993. Informe final del Proyecto: Uso de las Aguas Residuales en la Agricultura del Estado de Morelos. Coordinación de Tecnología de Riego y Drenaje, Subcoordinación de Uso Eficiente del Agua. I.M.T.A. Jiutepec, Morelos, México.
- Clapp C., E. 1984. Effects of municipal wastewater and cutting management on root growth of perennial forage grasses. Agronomy Journal. 76(4): 642-647.
- Collins C., H. 1969. Métodos microbiológicos. Traducido del inglés por el Dr. José Ma. Tarazona Villas. Acribia, Zaragoza, España.
- Comisión Nacional del Agua. 1990. Manual técnico para el uso, aprovechamiento y manejo de aguas residuales en riego agrícola. México D. F. 10 p.

- Comisión Nacional del Agua. 1994. Ley de Aguas Nacionales publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de diciembre de 1992. México, D. F.
- Contreras Magaña, E. 1991. Ensayo preliminar del comportamiento de calabacita (*Cucurbita pepo* L.), frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) y pepino (*Cucumis sativus* L.) en acolchados y microtúneles. Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 141 p.
- Cortés Muñoz, E. J. 1989. Informe final del proyecto microbiología del agua en la agricultura. Instituto Mexicano del Agua. SARH. México, D. F.
- Cortés Muñoz, E. J.; C. Tejeda G. y C. I. Sánchez V. 1993. Aprovechamiento de aguas residuales en la agricultura. Situación Actual en México. Comisión Nacional del Agua. México, D. F. 13 p.
- Cruz Briano, R. 1989. Las aguas residuales, tratamiento y uso agropecuario. Tesis Profesional. Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Cuenca Adame, E. 1995. Efecto del agua residual en los cultivos de cebolla (*Allium cepa* L.) y tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*, Brot.), Epidemiología y control de microorganismos perjudiciales al hombre. Proyecto de Investigación. División de Estudios de Posgrado, Depto. De Biología, Facultad de Ciencias, UNAM, México, D. F. 54 p.
- Day, A. D. and T.C. Tucker. 1960. High production of small grains utilizing city sewage effluent. *Agronomy Journal*. 52(4): 238-239.

De la Parra, C. A. y A. L. Rodríguez. 1991. El Proyecto SIDETRAN: dejando atrás el concepto "aprovechamiento de aguas negras". Ponencia presentada en el Seminario Internacional sobre Uso Eficiente del Agua, 21-25 de octubre. Ciudad de México, D. F. 8 p.

Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York. 1993. Manual de Tratamiento de Aguas Negras. Trad. César Falcón. Ed. Limusa. México, D. F. 303 p.

Diario Oficial de la Federación. 1988. Ley General del equilibrio Ecológico y la Protección al ambiente. Reglamentos. Publicada el 28 de enero.

Diario Oficial de la Federación. 1993. Segunda Sección. Lunes 18 de Octubre. Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-032-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola. pp 120-124.

Diario Oficial de la Federación. 1993. Segunda Sección. Lunes 18 de octubre. NOM-CCA-033-ECOL/1993. Que establece las condiciones bacteriológicas para el uso de aguas residuales de origen urbano o municipal o de la mezcla de estos con la de los cuerpos de agua, en el riego de hortalizas y productos hortofrutícolas. pp 124-128.

Diario Oficial de la Federación. 1994. Primera Sección. Norma Oficial Mexicana NOM-112-SSA1-1994. Lunes 15 de agosto. Bienes y servicios. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable. pp 18-37.

Diario Oficial de la Federación. 1994. Primera Sección. Norma Oficial Mexicana NOM-113-SSA1-1994. 15 de agosto. Bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa. pp 37-42.

Diario Oficial de la Federación. 1994. Primera sección. Lunes 15 de agosto. Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-114-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la determinación de *Salmonella* en alimentos. pp 43-63.

Diario Oficial de la Federación. 1997. Primera Sección. Lunes 6 de enero. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. pp 68-86.

Durán Celote, R. y R. Hernández G. 1992. Efecto de las aguas residuales en la agricultura (con énfasis en la horticultura). Tesis Profesional. Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 173 p.

Eslava, C.; J. M. Villaseca y A. Cravioto. 1993. Cepas de *Escherichia coli* relacionadas con la diarrea. *In*: Diagnóstico de Laboratorio de infecciones Gastrointestinales. INDRE. México, D. F. pp 251-265.

Flores D., L.; G. Hernández S.; M. Mejía B.; R. Alcalá M. y S. Sánchez B. 1990. Algunos metales pesados en suelos regados con aguas residuales. *In*: I Simposio Nacional de Degradación del Suelo. Instituto de Geología. UNAM, México, D. F.

- Flores Soto, C. A. 1984. Aguas negras en la agricultura. Tesis Profesional. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, Nuevo León, México. 29 p.
- Frazier, W. C. y D. C. Westhoff. 1993. Microbiología de los alimentos. Ed. Acirbia. Zaragoza, España. 681 p.
- Fundación Universo 21. 1990. Desarrollo y Medio Ambiente en México, Diagnóstico. Editorial Friedrich Ebert Stiftung. México, D. F. pp 81-85.
- García Zuñiga, A. M.; J. Cajuste L. y J. Cruz D. 1988. Estudio del grado de contaminación por plomo, cadmio y cromo, en suelos y tejidos vegetales por el uso de aguas residuales en los Municipios de Tlaxcoapan, Tlathuelilpan y Atitalaquía, Hgo. *In*: Santelises, A. A. y J. Baus P. Memorias del XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Ciudad Juárez, Chihuahua. México. pp 78.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koopen. 2ª. Edición. Instituto de Geografía. U.N.A.M. México, D. F.
- Gómez Villareal, R. 1987. Acolchado con paja de cebada (*Hordeaum vulgare* L.) y aplicación de efluentes en maíz (*Zea mays* L.). Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 105 p.
- González Bonilla, C. 1993. *Shigella*. *In*: Diagnóstico de Laboratorio de infecciones Gastrointestinales. INDRE. México, D. F. pp 243-250.

- Granados Sánchez, D. y L. Pérez C. 1995. Destrucción del planeta y Educación Ambiental. Dirección de Difusión Cultural. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 200 p.
- Gutiérrez Cogco, L. 1993. *Salmonella*. In: Diagnóstico de Laboratorio de infecciones Gastrointestinales. México, D. F. pp 219-234.
- Gutiérrez Rangel, R. 1985. El acolchamiento del suelo en horticultura. Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 310 p
- Hobbs, C. B. y R. J. Gilbert. 1986. Higiene y toxicología de los alimentos. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España. 441 p
- Huitrón, J. 1984. Disposición de aguas residuales en tierras. In: Memoria del IV Congreso de Ingeniería Sanitaria y ambiental. Morelia, Michoacán, México.
- Ibarra Jiménez, L. y A. Rodríguez P. 1984. Manual de Agroplásticos 1: acolchamientos de cultivos agrícolas. Centro de Investigaciones en Química Aplicada (CIQA). Saltillo, Coahuila, México. 20 p.
- Ibarra Jiménez, L. y A. Rodríguez P. 1991. Acolchado de Suelos con Películas Plásticas. Serie: Manuales Agropecuarios Limusa. Ed. Limusa. México, D. F. 132 p.

Janetti Dávila, J. 1970. Uso agrícola de las aguas negras. Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México. SARH. México. 117 p.

Juárez Camacho, M. 1971. Efectos de los componentes de las aguas negras (Boro y ABS) en el desarrollo de la lechuga y del frijol bajo condiciones de invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio De Postgraduados. Chapingo. Chapingo, México. 85 p.

Lama G., M. 1985. Opciones para el reuso del agua en México. Ciencia y Desarrollo. México, D. F. 79(2): 41-50.

Mascareño C., F. 1974. Estudio preliminar sobre contaminación de los suelos y de la producción agrícola en el Distrito de Riego 003, por el uso de aguas negras de la Ciudad de México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados, Chapingo. Chapingo, México.

Mejía B., M.; S. Sánchez; G. Hernández S.; L. Flores D.; G. Villareal L. y R. Guajardo V. 1990. Metales pesados en maíz (*Zea mays* L.) y alfalfa (*Medicago sativa* L.) y su correlación con los extractables en suelos del DDR 063, Hgo. In: Simposio Nacional de Degradación del Suelo. Instituto de Geología. UNAM, México, D. F.

Méndez García, T. 1982. Estudio sobre contaminación de suelos agrícolas del Valle del Mezquital, Hidalgo pos ABS, Boro y metales pesados por el uso de aguas negras de la ciudad de México. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, U.N.A.M. México, D. F.

- Méndez García, T. y R. Guajardo V. 1985. Contaminación de las aguas negras de la Ciudad de México por boro, ABS y metales pesados. Soc. Mexicana de la Ciencia del Suelo. Terra 3(1): 3-6.
- Mendoza Márquez, H. 1980. Tratamiento por aplicación al suelo. Una solución viable al manejo de las aguas residuales del área metropolitana del Valle de México. Simposio Internacional sobre Renovación de Aguas Residuales Municipales para reuso en Sistemas Agrícolas e Industriales. Hacienda Cocoyoc. Morelos, México.
- Mendoza S., A.; F. Rodríguez O. y C. Rodríguez Z.. 1992. Efecto del uso del agua residual sobre algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Proyecto de Investigación II. Proyecto de Agua Residual. Centro de Investigación Región Centro. I.N.I.F.A.P.-C.I.R.C.E. Chapingo, México.
- Mora Mora, C. 1980. Aspectos administrativos de la renovación y reuso de las aguas residuales. Simposio Internacional sobre Renovación de Aguas Residuales Municipales para reuso en Sistemas Agrícolas e Industriales. Hacienda Cocoyoc. Morelos, México.
- Mora, T.; S. Reyes Luján; H. M. Choko y M. A. Ramírez. 1998. Muy cara la tecnología anticontaminante. Revista Universitaria. U.N.A.M. p 2.
- Moscoso Cavallini, J. 1993. Reuso de aguas residuales en Perú. Conferencia presentada en el Taller Regional para América sobre Aspectos de Salud, Agricultura y Ambiente, vinculados al uso de Aguas Residuales. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos. México.

- Muller, G. 1981. *Microbiología de los alimentos vegetales*. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 291 p.
- Murrieta B., F. y B. J. Uvalle X. 1991. Uso agrícola de las aguas residuales en el Valle del Yaqui, Sonora. *ITSON-DIEP*. 1(2): 21-22.
- Nickerson, T. J. y A. J. Sinskey. 1978. *Microbiología de los alimentos y sus procesos de elaboración*. Ed. Acribia. Zaragoza, España, 278 p.
- Noy, W. J. y A. Feinmesser. 1977. The use of wastewater for agricultural irrigation. *In: Shuval, H. I. (EDIT). Water Renovation and reuse* The Hebrew University. 73-91 p.
- Orta M., T. 1984. Criterios para el aprovechamiento de aguas residuales en riego agrícola en México. *In: Memoria del IV Congreso de Ingeniería Sanitaria y ambiental*. Morelia, Michoacán, México.
- Ortega Escobar, M. y E. L. Díaz F. (s.a.). Las aguas negras de la red hidrográfica de los estados de México e Hidalgo. *In: Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines*. Centro de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. De México. pp 151-158.
- Ortíz Olguín, M. 1997. La calidad de las aguas de riego. Departamento de Publicaciones. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 53 p.
- Pérez Miravete, A. 1975. Técnicas para el muestreo y análisis microbiológicos de alimentos. Dirección General de Investigación en Salud Pública. Secretaría de Salubridad y Asistencia. México, D. F. 86 p

- Peña de Paz, F. J. 1997. Los límites del riego agrícola con aguas negras en el Valle del Mezquital. Tesis de Maestría en Ciencias en Antropología Social. Universidad Iberoamericana. México, D. F. 241 p.
- Pescod, M. B. 1992. Wasterwater Treatment and Use in Agriculture. Paper FAO: Irrigation and drainage No. 47 Roma, Italia. 125 p.
- Ramos, C.1998. El uso de aguas residuales en riegos localizados y en cultivos hidropónicos. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. INTERNET.
- Refai K., M. 1981. Manuales para el control de calidad de los alimentos. 4.Análisis microbiológico. Estudio FAO: Alimentación y Nutrición. 14/4 Roma, Italia.
- Reyes M., D. 1983. Logros y aportaciones de la investigación agrícola en el uso y manejo del agua. México. SARH-INIA. 39 p.
- Reyna Michel, A. 1987. Evaluación de cinco cultivares de lechuga en tres densidades de siembra al agente causal de la pudrición blanda (*Erwinia carotovora*) en el Campo Experimental de la FAUANL en Marín, N. L. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León. 69 p.
- Rodier, J. 1981. Análisis de las Aguas: aguas naturales, aguas residuales y aguas de mar. Traducido por Santiago Balagué Dolz. Ed. Omega. Barcelona, España.

Rodríguez Zavaleta, C. (s.a.). Prevención de la contaminación en los mantos acuíferos usados para la irrigación. Ponencia Presentada en el Seminario Taller sobre Conservación del Agua y la Energía. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec Morelos. 12 p.

Rodríguez Zavaleta, C. 1987. Investigación Agrícola con aguas residuales. *In*: Memorias del 20 Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Zacatecas, Zac. pp 64.

Rodríguez Zavaleta, C. 1994. Evaluación de los efectos del agua residual en el cultivo de la Cebolla. Comisión Nacional del Agua. Jiutepec Morelos.

Rodríguez Zavaleta, C.; P. Vargas; E. Peña P. y A. De los Santos G. (s.a.). Evaluación de la cantidad de un poliabsorbente en diferente tipo de suelo y en el cultivo de cebolla. Ponencia Presentada en el Seminario Taller sobre Conservación del Agua y la Energía. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec Morelos. 8 p.

Romero, F. 1987. Uso de las películas de plástico como arropado de suelo para la producción agrícola. INIFAP-PRONAPA. México. C.P., ENA-UACH.

Romero A., H. 1993. Estudio de Caso de México. *In*: (Edit.) Memoria del taller regional para las américas sobre aspectos de salud, agricultura y ambiente vinculados al uso de las aguas residuales. Jiutepec, Morelos, México. del 8 al 12 de noviembre de 1993.

Sáenz Forero, R. 1998. Introducción y uso de aguas residuales tratadas en agricultura y acuicultura.

- Sánchez L., R. 1976. Uso de aguas residuales para irrigación en el Distrito 03 y 88 y su impacto en la salud humana. Tesis de Maestría en Salud Pública. Escuela de Salud Pública de México, México, D. F.
- Sánchez P, E. 1988. Evaluación de cuatro productos químicos para el control de *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* (Jones) Berg. en dos cultivares de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el campo experimental de la FAUANL en Marín, N.L. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, Nuevo León, México. 79 p.
- Sánchez Vélez, A. y N. Medina N. 1990. La problemática del Agua en Chapingo. Nuestro Entorno Ubiversitario. Universidad Autónoma Chapingo. 22 p.
- Sánchez Vélez, A.; A. Barrera Guzmán y C. Avalos Tello. 1990. El agua, un recurso forestal de origen. División de Ciencias Forestales. Dirección de Difusión Cultural. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 24 p.
- Sancho, J. 1992. Programa Agua Limpia. Estrategia Nacional. Ingeniería Sanitaria y Ambiental No. 5.
- Santos Hernández, A. L. 1994. El uso de plásticos en la agricultura. Tesis Profesional. Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 173 p.
- Sedlák, J.; Sakazaki y I. Orskov. 1974. Bergey's Manual of determinative bacteriology. 8ª. Edición. The Williams & Wilkins Company. Baltimore, E. U. A. pp 296, 322-325.

- Seoáñez Calvo, M. 1977. La contaminación agraria. Instituto Nacional de Investigaciones agrarias, Madrid, España.
- Shuval, H.I. 1977. Health considerations in water renovation and reuse. In: Water renovation and reuse. Shuval H. I. (Edit.). The Hebrew University. Jerusalem, Israel. pp 33-69.
- Stanier, Y. R.; E. A. Adelberg and J. L. Ingraham. 1986. The microbial world. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, USA. 836 p.
- Tiller, K.G. 1989. Heavy metals in soils and their enviromental significance. Adv. Soil Sci. 9: 113-141.
- Torres M., J. M. 1992. Evaluación del impacto de los metales pesados del agua residual proveniente de la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca (CIVAC), en el Recurso Suelo y en Cultivos en los Municipios de Jiutepec, Emiliano Zapata y Xochitepec, Edo. De Morelos. Tesis Profesional.
- Torres Morán, A. M. 1987. Incidencia de problemas fitopatológicos en tres densidades de siembra y cinco niveles de fertilización en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el campo experimental de la FAUANL en Marín, N. L. Facultad de Agronomía. Marín, Nuevo León, México. 47p.
- Turk, A.; J. Turk y T.J. Wittes. 1988. Ecología, Contaminación Medioambiente. Traducido por Carlos Gerhard Ottenwaelder. Ed. Interamericana México, D.F.

Vega J., D. 1984. Resúmenes de investigación en uso y manejo del agua. I.T.E.S.M. Monterrey, Nuevo León. 120 p.

Villareal García, L. A. 1985. Supervivencia, dispersión y patogenicidad de *Erwinia carotovora* (Jones) Berg y su relación con *Sclerotium rolfsii* Sacc. y *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib) de By. Tesis de Maestría en Ciencias, Fitopatología, Colegio de Posgraduados. Chapingo, México.

X. APÉNDICE

Apéndice 1. Metodología seguida para cuantificar bacterias patógenas en muestras de lechuga recogidas una vez concluida la fase de campo, material empleado y medios de cultivo utilizados.

1. Recuento en placa para la cuenta de bacterias mesofílicas

- a) Marcar las tapas de las cajas o placas con los datos pertinentes de la muestra o control establecido para el manejo en laboratorio.
- b) Cuando la muestra está congelada, se macera en un mortero y después se pesan 10 g que se agregan a una botella de dilución con 90 ml de agua esterilizada y se agita vigorosamente por un minuto, siendo lo anterior la primera dilución (1:10).
- c) Practicar las diluciones decimales que se estimen convenientes, hasta obtener las diluciones 1:100 y 1:1000. Se recomienda utilizar pipetas diferentes para cada dilución.
- d) Transferir 1 ml de cada una de las diluciones a 3 cajas de Petri estériles evitando todo tipo de contaminación durante la maniobra y aplicando la punta de la pipeta al fondo de la caja mientras se escurre el líquido. Mientras se afora el líquido dentro de la pipeta, la punta de ésta debe aplicarse en el interior del cuello de la botella y mantenerse en posición vertical, para lo cual ésta última deberá inclinarse lo necesario. Antes de tomar la muestra se recomienda agitar el frasco que contiene la dilución. Inocular la caja en una sola vez y retirarla.
- e) Agregar los 20 ml del Agar Plate Count fundido y mantenido a una temperatura de 45-48 °C en un baño de agua. Mezclar suavemente la muestra (con 6 movimientos de derecha a izquierda, 6 en el sentido de las manecillas del reloj, 6 en sentido contrario y 6 de atrás a adelante) sobre una superficie lisa y horizontal, cuidando de que el medio no moje la cubierta de las cajas. Dejar solidificar.

- f) El tiempo transcurrido desde el momento que la muestra se incorpora a la caja, hasta que finalmente se adiciona el agar a la caja, no debe exceder de 20 minutos.
- g) Invertir las cajas para evitar la condensación de la humedad en la superficie del agar durante la incubación
- h) Incubar las cajas en posición invertida a 35 °C durante 48 ± 3 horas.
- i) Contar el número colonias por placa a las 24 y 48 horas.
- j) Seleccionar aquellas placas donde aparezcan entre 30 a 300 colonias, pues es en ellas donde será menor el error en el recuento
- k) Contar todas las colonias desarrolladas en las placas seleccionadas, en el cuenta colonias tipo Quebec con el auxilio de la lente de aumento y de la cuadrícula del contador.
- l) Si el número de colonias excede las 300, contar en la mitad o en un cuarto representativo de ella, multiplicando por 2 o por 4 el número obtenido. El fondo de una caja Petri de 100 mm de diámetro contiene 65 cuadros grandes de la cuadrícula del contador.
- m) Multiplicar por la inversa de la dilución para obtener el número de colonias por mililitro o gramo de la muestra.
- n) Si ninguna de las placas tiene entre 30 y 300 colonias, utilícese la placa cuyo recuento se aproxime más a esta cifra. Si la placa correspondiente a la primera dilución es la única que presenta colonias y éstas son menos de 10, reportar el número de colonias contadas seguidas de la frase "en la dilución 1:10".
- o) Debe apreciarse una razonable proporcionalidad en el número de colonias que aparezcan en las placas de acuerdo con las diluciones utilizadas. Al iniciarse en el trabajo de laboratorio es recomendable inocular las cajas correspondientes de cada dilución por duplicado y computar las medias aritméticas.
- p) Si todas las placas: 1) no muestran colonias, 2) muestran excesiva difusión de las mismas, 3) están contaminadas o no son satisfactorias por cualquier

motivo anótese respectivamente: 1) sin colonias, 2) colonias difusas, 3) inconcluyente por accidente de laboratorio.

- q) Redondear la cifra obtenida en el recuento de manera que sólo aparezcan 2 dígitos significativos al inicio de esa cifra: 128 se reportará como 130, 2417 como 2400; 49 como 49, etc.
- r) Reportar: "Cuenta de bacterias mesofílicas aerobias en placas de agar peptona de caseína – glucosa - extracto de levadura incubadas X* horas a 35 ° C.

* anotar las que correspondan a cada caso particular.

2. Cuantificación de coliformes totales mediante la técnica del número más probable (NMP)

Prueba presuntiva

- a) Marcar e identificar los tubos por inocular de acuerdo con las claves que les correspondan.
- b) Utilizar las tres diluciones previamente preparadas para el recuento en placa de bacterias mesofílicas
- c) Inocular con 1 ml de cada dilución 3 tubos de ensaye previamente llenados con 10 ml de caldo lauril sulfato de sodio que contenga una campana de Durham o campana de fermentación, teniendo cuidado que no contenga burbujas de aire.
- d) Evitar todo tipo de contaminación durante la maniobra y hacer la transferencia aplicando la punta de la pipeta en la pared interna del tubo mientras se escurre el líquido.
- e) Incubar los tubos a 35 °C $\pm$ 1 °C, durante 48 $\pm$ 3 horas.
- f) Examinar los tubos a las 24 $\pm$ 2 horas y observar si hay formación de gas.

- g) Después de la primera lectura proseguir la incubación de los tubos 24 horas más. La presencia de gas, después de las 48 horas de incubación, hace positiva la prueba.

Prueba confirmatoria

- h) Agitar suavemente los tubos que salieron positivos en la prueba presuntiva y transferir una o dos asadas de cada tubo al caldo lactosa bilis verde brillante al 2 %. Al efectuar la reinoculación sostener el tupo primario en un ángulo tal que se pueda tomar la asada evitando la película que existiera en el medio. Sacar el asa del líquido en sentido perpendicular a su superficie de manera que se forme un menisco bien definido.
- i) Incubar el caldo LBVB (2 %) por 48 ± 2 horas a 35 °C y hacer la lectura correspondiente sobre la formación de gas.
- j) Conociendo el número de tubos positivos y negativos de cada dilución, determinar el número más probable de organismos presentes en la muestra tomando en cuenta que el empleo de las tres diluciones a partir de la dilución 1:10 (3 tubos con 1 ml de la primera dilución, 3 tubos con 1 ml de la segunda dilución y 3 tubos de la tercera dilución) permite obtener a través de los valores de la tabla de NMP, directamente el número de microorganismos por gramo de muestra.
- k) Reportar el número más probable (NMP) de microorganismos por gramo, mililitro o 100 ml de alimento.

3. Cuantificación de coliformes fecales. Mediante la técnica del NMP

- a) Marcar e identificar los tubos por inocular de acuerdo con las claves que les correspondan.
- b) Utilizar las tres diluciones previamente preparadas para el recuento en placa de bacterias mesofílicas

- c) Inocular con 1 ml de cada dilución 3 tubos de ensaye previamente llenados con 10 ml de caldo lauril sulfato triptosa que contenga una campana de Durham o campana de fermentación.
- d) Incubar los tubos a 35 ± 1 °C, durante 48 ± 2 horas. Examinar los tubos a las 24 ± 2 horas y observar si hay formación de gas. Reincubar 24 horas más. La presencia de gas en cualquier cantidad, dentro de las 48 horas de incubación hace la prueba positiva.
- e) Agitar suavemente los tubos de caldo lauril sulfato triptosa que resultaron positivos y transferir 2 a 3 asadas de cada tubo a tubos con caldo E.C.
- f) Incubar los tubos a $44.5 \text{ C} \pm 0.2$ °C y observar si hay formación de gas a las 24 horas.
- g) Los tubos que presentan gas al cabo de 48 horas son positivos.
- h) Determinar el número más probable de organismos coliformes fecales por gramo o ml de muestra.

4. Presencia de *E. coli*. de los tubos positivos de la etapa anterior.

- a) Transferir 2 a 3 asadas de cada tubo positivo de la etapa anterior, previamente agitado suavemente a tubos con 10 ml de caldo lactosa verde brillante bilis al 2 %.
- b) Incubar los tubos a una temperatura de $44.5 \text{ C} \pm 0.2$ °C a baño maría con termostato y termómetro y observar si hay producción de gas a las 24 o 48 horas.
- c) La presencia de gas en cualquier cantidad dentro de las 48 horas de incubación, hace positiva la prueba.
- d) Los tubos que resultaron positivos se consideraron con presencia de organismos *E. coli*.

MATERIAL EMPLEADO

- Estufa de incubación con error máximo de $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Cuenta colonias tipo Quebec
- Autoclave de 18 l con nanómetro probado con termómetro de máximas
- Balanza granataria digital con sensibilidad de 0.1 g
- Balanza analítica
- Estufas eléctricas
- Incubadora para coliformes con termostato y termómetro
- Morteros
- Mechero Bunsen
- Gradillas
- Botellas de dilución de 160 ml
- Matraces Erlenmeyer de 1000 ml
- Matraces Erlenmeyer de 250 ml
- Tubos de ensaye de con tapa de rosca de 150x10 mm
- Tubos de ensaye de con tapa de rosca de 150x20 mm
- Cajas de Petri de vidrio de 100x15
- Pipetas bacteriológicas de cristal de 10, 5 y 1 ml (graduadas en 0.1 y 0.01 ml respectivamente)
- Utensilios como: cuchillos, pinzas, tijeras, cucharas y espátulas
- Medios de cultivo

Todo el material es previamente esterilizado a $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ por un tiempo de 20 minutos.

MEDIOS DE CULTIVO EMPLEADOS

Para la preparación de los medios se puede seguir las indicaciones mencionadas en el Manual de Laboratorio de Microbiología Sanitaria de Microbiología Sanitaria de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional (1993), o bien comprar los medios de cultivo deshidratados y prepararlos según las instrucciones anexas en el frasco.

Agar Plate Count

(agar peptona de caseína-glucosa-extracto de levadura)

Fórmula en gramos por litro

Peptona de caseína	5.0
Extracto de levadura	2.5
D(+) glucosa	1.0
Agar-agar	14.0

El medio listo para usarse debe tener un pH final de 7.0 $\pm$ 0.1

Método de preparación del medio deshidratado.

Disolver 22.5 g del agar en un litro de agua recién destilada o completamente desmineralizada, dejar remojar 15 minutos y calentar a vapor fluente hasta la completa disolución. Si se desea se puede adicionar 1 g por litro de leche descremada en polvo antes de esterilizar. La esterilización se realiza en el autoclave durante 15 minutos a 121 °C

Caldo lauril sulfato de sodio

Fórmula en gramos por litro

Lauril sulfato de sodio	0.10
Peptona de caseína	20.0
Lactosa	5.0
Fosfato dipotásico	2.75
Fosfato monopotásico	2.75
Cloruro de sodio	5.0

El medio listo para usarse debe tener un pH final de 6.8 ± 0.2

Disolver los ingredientes en un litro de agua destilada. Distribuir en tubos de ensaye con campanas de Durham en porciones de 10 ml. Esterilizar a 121 °C a una presión de 15 libras durante 15 minutos.

Método de preparación del medio deshidratado.

Para muestras de 10 ml disolver 71.2 g del polvo en un litro de agua destilada y distribuir 10 ml en tubos ensaye con campanas de Durham. Esterilizar en autoclave a 121 °C durante 12 minutos, pero no exceda de 15 minutos. La concentración es variable de acuerdo al tamaño de la muestra. Determinar la funcionalidad del medio de cultivo con microorganismos típicos.

Caldo lauril sulfato triptosa

Fórmula en gramos por litro

Triptosa	30
Lactosa	7.5
Fosfato dipotásico	4.125
Fosfato monopotásico	4.125
Cloruro de sodio	7.5
Lauril sulfato de sodio	0.15

El medio listo para usarse debe tener un pH final de 6.8 ± 0.2

Disolver los ingredientes en un litro de agua destilada. Distribuir en tubos de ensaye con campanas de Durham en porciones de 10 ml. Esterilizar a 121°C a una presión de 15 libras durante 15 minutos.

Caldo E.C.

Fórmula en gramos por litro

Digerido pancreático de caseína, triptona o caseína	20.0
Lactosa	5.0
Sales biliares No. 3	1.5
Fosfato dipotásico	4.0
Fosfato monopotásico	1.5
Cloruro de sodio	5.0

El medio listo para usarse debe tener un pH final de 6.9 ± 0.2

Disolver los ingredientes en un litro de agua destilada. De ser necesario ajustar el pH de manera que después de la esterilización el valor sea 6.9 ± 0.2
Distribuir en tubos de ensaye con campanas de Durham en porciones de 5 ml.
Esterilizar a 121 °C a una presión de 15 libras durante 15 minutos.

Caldo lactosa bilis verde brillante al 2 %

Fórmula en gramos por litro

Peptona o bactopectona	10
Lactosa o bactolactosa	10
Sales biliares o bacto-oxgall	20
Verde brillante	0.0133

El medio listo para usarse debe tener un pH final de 6.8 ± 0.2

Disolver los ingredientes en un litro de agua destilada. Distribuir en tubos de ensaye con campanas de Durham en porciones de 10 ml. Esterilizar a 121 °C a una presión de 15 libras durante 15 minutos.

Método de preparación del medio deshidratado.

Suspender 40 g en un litro de agua destilada y entibiar lentamente hasta disolver completamente. Vierta en tubos de ensaye con campanas de Durham. Y esterilice a 121 – 124 °C por 15 minutos. El pH final debe ser de 7.2 ± 0.2 a 25 °C.

Apendice 2. Evolución de la Normatividad Sanitaria en México de las aguas residuales que son utilizadas para riego agrícola.

Dado que la utilización de aguas residuales urbanas en la agricultura, acarrea problemas principalmente de tipo sanitario, el Gobierno de México publicó una serie de Normas que regulan la utilización de los efluentes urbanos, las cuales han sido publicadas de lo general a lo particular, dado los problemas que han surgido por el uso de este tipo de agua.

La primera ocasión que fue abordado el tema de las aguas residuales por el Gobierno de México es en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en su artículo 119 fracción III que cita. "A la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos le corresponde resolver sobre las solicitudes de concesión, permiso o autorización que se formulen para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas residuales, considerando los criterios y lineamientos para la preservación del equilibrio ecológico"; sin embargo, este tipo de aguas de origen urbano e industrial, se siguieron utilizando sin control en muchas áreas agrícolas, por lo que se vio la necesidad de normar la calidad de los afluentes que eran depositados en las aguas nacionales y entonces en 1993, en el Diario Oficial de la Federación se publica la Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-032-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola y considera ... "Que las aguas residuales de origen urbano o municipal sin tratamiento o mezcladas, son utilizadas en gran proporción para el riego agrícola, por lo que para prevenir el deterioro ecológico y asegurar una calidad de agua satisfactoria para el bienestar de la población, es necesario fijar los parámetros físicos, químicos y en su caso bacteriológicos de los mismos..." (Cuadro A-1). Sin embargo, en esta Norma, no se hizo énfasis en la producción de hortalizas regadas con aguas residuales, por lo que en la Norma Oficial Mexicana NOM-

CCA-033-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal o de la mezcla de estas con la de los cuerpos de agua, en el riego de hortalizas y productos hortofrutícolas (Cuadro A-2). En ella se menciona “Considerando que las aguas residuales urbanas o municipales o de la mezcla de éstas con las de los cuerpos de agua son utilizadas para riego de cultivos hortícolas y otros productos que se consuman en crudo,... es necesario determinar las condiciones bacteriológicas para su uso y asegurar una calidad de agua satisfactoria para el bienestar de la población”.

Cuadro A-1. Límites permisibles que deben cumplir las descargas de aguas residuales de origen urbano o municipal que se dispongan para riego agrícola.	
PARÁMETROS (mg·l ⁻¹ , excepto cuando se especifique)	Límites máximos permisibles)
PH	6.5 a 8.5
Conductividad (µmhos/cm)	2000
Demanda Bioquímica de Oxígeno ₅	120
Sólidos Suspendidos Totales	120
Aluminio	5.0
Arsénico	0.1
Boro	1.5
Cadmio	0.01
Cianuros	0.02
Cobre	0.2
Cromo	0.1
Fierro	5.0
Fluoruros	3.0
Manganeso	0.2
Níquel	0.2
Plomo	5.0
Selenio	0.02
Zinc	2.0

Fuente: Diario Oficial de la Federación, Lunes 18 de octubre de 1993.

Cuadro A-2. Cultivos permisibles con riego de aguas residuales de origen urbano o municipal o de la mezcla de estas con la de los cuerpos de agua, en el riego de hortalizas (#) y productos hortofrutícolas (&).

Tipo de riego	Tipo de agua*	Cultivos no permitidos	Intervalo de tiempo mínimo entre último riego y la cosecha (días)
Inundación	1	Las hortalizas (#) excepto: ajo, frijol ejotero, pepinillo pickle, pepino, jícama, melón y sandía.	20
	2	Las hortalizas (#) excepto: Melón y sandía	20
	3	Las hortalizas (#)	20
	4	Los hortofrutícolas (&)	20
Surco	1	Las hortalizas (#) excepto: ajo, frijol ejotero, pepinillo pickle, pepino, tomate verde o de cáscara, jícama, melón y sandía.	15
		Libre cultivo	20
	2	Las hortalizas (#) excepto: ajo, pepino, tomate verde o de cáscara, jícama, melón y sandía	20
	3	Las hortalizas (#) excepto: melón y sandía.	20
Aspersión	4	Los hortofrutícolas (&)	20
	1	Las hortalizas (#) excepto: ajo, pepino, pepinillo pickle, jícama, melón y sandía.	20
	2	Los hortofrutícolas (&)	20
	3		
	4		

Fuente: Diario Oficial de la Federación, Lunes 18 de octubre de 1993.

***Tipo de agua:**

1. La que contenga menos de 1,000 coliformes totales por cada 100 ml y menos de 1 huevo de helminto viable por litro de agua.
2. La que contiene de 1 a 1,000 coliformes fecales por cada 100 ml y cuando más 1 huevo de helminto viable por litro de agua.
3. La que contiene de 1,001 a 100,000 coliformes fecales por cada 100 ml.
4. La que contiene más de 100, 000 coliformes fecales por cada 100 ml.

(#) **Hortalizas:** Acelga, ajo, apio, berro, betabel, brócoli, cebolla, cilantro, col, coliflor, epazote, espinaca, frijol ejotero, hierbabuena, hongo, lechuga, pápalo, perejil, quelite, quintonil, rábano, zanahoria, pepinillo pickle, pepino, calabacita, jitomate, tomatillo y tomate verde o de cáscara, con excepción de las cinco últimas cuando se siembren con espaldera. Se equiparan a las hortalizas los siguientes frutos: fresa, jícama, melón, sandía y zarzamora.

(&) **Hortofrutícolas.** Todos los mencionados en hortalizas además de hortalizas y frutos en general.

y entonces es publicada el 6 de enero de 1997, la Norma Oficial Mexicana NOM-001-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, en la cual menciona parámetros básicos como temperatura, grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), y metales pesados y cianuros (Cuadro A-3).

Cuadro A-3. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos, metales pesados y cianuros.

PARÁMETROS (mg·l ⁻¹), excepto cuando se especifique)	Ríos		Suelo	
	Uso en riego agrícola			
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C(1)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Grasas y aceites (2)	15	25	15	
Materia Flotante (3)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos Sedimentables (ml·l ⁻¹)	1	2	N.A.	N.A.
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	N.A.	N.A.
Demanda Bioquímica de Oxígeno ₅	150	200	N.A.	N.A.
Nitrógeno total	40	60	N.A.	N.A.
Fósforo total	20	30	N.A.	N.A.
Arsénico*	0.2	0.4	0.2	0.4
Cadmio*	0.2	0.4	0.05	0.1
Cianuro*	2.0	3.0	2.0	3.0
Cobre*	4.0	6.0	4	6.0
Cromo*	1	1.5	0.5	1.0
Mercurio*	0.01	0.02	0.005	0.01
Níquel*	2	4	2	4
Plomo*	0.5	1	5	10
Zinc*	10	20	10	20

(1) Instantáneo

(2) Muestra Simple Promedio Ponderado

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

(*) Medidos de manera total

P.D. = Promedio diario

P.M. = Promedio mensual

N.A. = No es aplicable

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.

Además, en dicha Norma se mencionan las fechas límites de cumplimiento para que los municipios, dependiendo de su rango poblacional, establezcan una planta de tratamiento para que sus descargas se encuentren dentro de los rangos establecidos por las Normas Oficiales (Cuadro A-4).

Cuadro A-4. Fechas límites para el establecimiento de plantas de tratamiento, dependiendo de la población de la ciudad.

Fecha de cumplimiento a partir de:	Rango de Población.
1 de enero de 2000	Mayor de 50,000 habitantes
1 de enero de 2005	De 20,001 a 50,000 habitantes
1 de enero de 2010	De 2,501 a 20,000 habitantes

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.

No obstante todas las normas anteriores, para controlar la calidad de los productos cultivados con aguas residuales, la Secretaría de Salud y Asistencia también establece una serie de normas para evaluar la presencia y cantidad de bacterias entéricas en los alimentos, siendo estas 1) Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-112-SSA1-1994. Bienes y servicios. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable 2) Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-113-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa y 3) Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-114-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la determinación de *Salmonella* en alimentos

Apéndice 3. Factores meteorológicos para los cuatro meses que permanecieron las plantas en campo.

DIA	NOVIEMBRE 1997				DICIEMBRE 1997				ENERO 1998				FEBRERO 1998			
	Lluvia	Media H.R. (%)	Mín. H.R. (%)	Máx. H.R. (%)	Lluvia	Media H.R. (%)	Mín. H.R. (%)	Máx. H.R. (%)	Lluvia	Media H.R. (%)	Mín. H.R. (%)	Máx. H.R. (%)	Lluvia	Media H.R. (%)	Mín. H.R. (%)	Máx. H.R. (%)
1	0	40	20	100	0	41	15	100	0	68	36	100	0	31	13	85
2	0	50	34	70	0	38	19	89	0	68	32	100	0	55	34	88
3	1.0	69	34	100	0	43	15	91	0	56	21	100	0	33	14	90
4	0	55	13	100	0	45	16	100	0	54	30	100	0	30	11	68
5	0	35	12	100	0	47	8	100	0	52	34	100	0	27	14	54
6	0	30	8	97	0	47	18	100	0	51	31	100	-	-	-	-
7	0	41	12	100	0	48	16	100	0	46	21	86	-	-	-	-
8	0	61	35	97	0	39	9	100	0	35	18	56	-	-	-	-
9	0	57	36	98	0	33	11	85	0	46	23	92	-	-	-	-
10	0	59	31	97	0	33	14	89	0	51	27	100	-	-	-	-
11	0.2	68	47	99	0	29	21	43	0	53	26	100	-	-	-	-
12	0	60	38	93	0	48	31	70	0	52	28	100	-	-	-	-
13	0	39	12	84	0	54	30	94	0	49	28	95	-	-	-	-
14	0	39	8	83	0	36	16	97	0	47	25	100	-	-	-	-
15	0	41	11	89	0	27	12	75	0	59	29	100	-	-	-	-
16	0	54	29	100	0	51	33	87	0	51	22	100	-	-	-	-
17	0	53	28	100	3.5	65	39	98	0	44	33	81	-	-	-	-
18	0	48	25	100	0.9	66	88	100	5.9	85	54	100	-	-	-	-
19	0	51	25	100	0	74	45	100	3.4	76	44	100	-	-	-	-
20	0	49	21	100	0	73	54	100	0	47	23	100	-	-	-	-
21	0.2	46	21	93	0	63	31	99	0	44	17	100	-	-	-	-
22	0	49	21	100	6.6	90	59	100	0	39	19	94	-	-	-	-
23	0	51	29	71	0	72	57	91	0	41	16	98	-	-	-	-
24	0	49	19	100	0	75	55	100	0	67	51	97	-	-	-	-
25	0	51	22	100	0	56	21	100	0	44	18	100	-	-	-	-
26	1.3	62	24	100	0	52	18	100	0	45	13	94	-	-	-	-
27	0	44	17	100	0	61	30	100	0	50	27	100	-	-	-	-
28	0	28	16	94	0	43	19	100	0	45	27	97	-	-	-	-
29	0	37	13	100	0	44	16	100	0	36	24	84	-	-	-	-
30	0	46	19	100	0	53	27	100	0	21	17	100	-	-	-	-
31					0	60	21	100	0	45	16	98	-	-	-	-
Prom.	2.7	49	23	96	11.0	52	28	94	9.3	51	27	96	0	35.2	17.2	77.0

Fuente: Estación Meteorológica de Chapingo, México.

Apéndice 4. Temperaturas en °C para los meses de noviembre y diciembre de 1997 y enero y febrero de 1998.

	NOVIEMBRE 1997				DICIEMBRE 1997				ENERO 1998				FEBRERO 1998			
DIA	Med.	Máx.	Min.	Min. Inte*	Med.	Máx.	Min.	Min. Inte*	Med.	Máx.	Min.	Min. Inte*	Med.	Máx.	Min.	Min. Inte*
1	21.2	26.8	9.8	4.1	17.1	25.0	3.0	-3.4	12.3	20.4	1.6	-2.6	15.7	22.6	0.5	-8.5
2	16.7	21.5	10.7	5.4	18.1	23.6	6.0	-0.3	12.8	21.1	1.1	-4.1	10.8	15.6	2.8	-5.5
3	16.5	22	7.9	8.5	17.9	25.7	2.6	-2.2	14.8	23.5	0.0	-5.8	12.5	21.3	-4.8	-13.5
4	17.6	24.1	6	4.0	18.4	26.0	4.7	-1.0	15.8	22.4	-0.1	-6.4	13.2	24.9	-4.3	-12.2
5	18.8	24.9	2.2	0.2	18.0	25.6	4.2	-1.6	16.1	23.2	0.8	-4.7	16.7	22.0	4.7	-5.4
6	17.2	25	3	-4.0	18.4	26.3	4.8	-1.0	16.2	21.5	5.0	-1.0	10.4	22.1	-0.5	-
7	17.4	20.8	8	-2.5	18.7	25.8	5.4	-0.2	14.2	20.4	2.6	-7.5	-	-	-	-
8	16.8	22.5	10.4	2.6	18.0	26.0	4.6	-1.6	15.4	23.0	1.6	-8.0	-	-	-	-
9	17.7	23.9	9.9	6.8	19.4	27.4	3.0	-3.6	15.1	23.0	-0.6	-8.4	-	-	-	-
10	18.3	21.5	12.1	4.5	17.6	25.9	2.5	-4.0	15.9	24.7	-0.6	-7.0	-	-	-	-
11	16.8	21.5	11.9	8.5	17.8	23.0	11.2	5.9	16.8	26.3	0.0	-6.5	-	-	-	-
12	17.5	24.3	3.4	8.5	14.7	18.2	9.5	7.0	16.5	24.4	0.6	-5.7	-	-	-	-
13	17.9	26.9	-3.2	-2.1	11.8	18.5	9.2	8.4	16.6	24.0	-0.5	-7.6	-	-	-	-
14	18.3	27	2.5	-5.9	10.2	18.7	-2.8	-10.2	16.0	23.7	-0.6	-7.8	-	-	-	-
15	18.4	23.2	4.6	-4.0	11.5	20.6	-5.1	-12.6	14.0	21.8	-0.6	-8.2	-	-	-	-
16	16.4	22.4	6.2	-1.6	14.0	21.4	-2.2	-9.0	13.6	21.6	-0.4	-6.4	-	-	-	-
17	16.6	23.9	7.6	0.2	14.6	22.0	1.4	-4.7	14.0	18.2	5.3	1.5	-	-	-	-
18	17.1	23.1	5.3	0.0	10.7	14.1	8.7	7.4	12.7	16.8	10.0	8.6	-	-	-	-
19	16.9	24.2	3.9	-0.6	15.3	21.5	4.6	-0.0	11.2	16.3	8.9	8.0	-	-	-	-
20	17.6	23.5	8.2	-1.5	16.9	21.0	9.8	3.9	14.7	21.5	1.4	-3.2	-	-	-	-
21	18.4	23.4	5.7	2.0	17.5	24.5	7.6	2.2	15.7	23.2	1.1	-4.7	-	-	-	-
22	16.8	21.2	6.8	0.8	15.3	22.7	8.5	4.0	16.5	23.2	3.7	-3.2	-	-	-	-
23	15.5	21.2	6.8	-2.6	18.0	21.2	12.1	10.5	15.5	23.3	-0.4	-7.0	-	-	-	-
24	16.0	23.0	2.4	-2.6	16.6	21.1	8.6	3.8	12.8	19.1	4.5	0.5	-	-	-	-
25	16.6	23.8	7.1	2.2	19.3	25.8	10.1	6.0	14.0	22.0	-1.5	-7.0	-	-	-	-
26	15.4	22.3	4.4	-1.4	16.9	26.3	6.4	-6.5	14.2	22.1	-1.1	-6.0	-	-	-	-
27	16.8	24.3	3.5	-1.4	17.8	25.5	2.2	-3.2	12.9	21.1	-1.0	-4.6	-	-	-	-
28	17.4	23.8	3.6	-2.4	19.2	26.7	4.6	-1.6	15.0	20.6	1.4	-3.6	-	-	-	-
29	17.2	23.7	3.4	-3.1	14.6	23.2	-0.4	-7.8	16.5	22.2	3.7	-3.5	-	-	-	-
30	16.2	23.3	3.2	-2.6	13.9	23.3	-2.8	-9.5	16.5	24.8	1.1	-5.3	-	-	-	-
31					13.5	22.9	0.3	-6.0	16.2	24.6	0.2	-7.0	-	-	-	-
MEDIA	17.2	23.5	6.18	-0.7	16.2	23.2	4.4	-1.0	14.9	22.1	1.5	-4.3	13.2	21.4	-0.26	-8.98

Fuente: Estación meteorológica de Chapingo, México.