

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**DIVISION DE AGRONOMIA**  
**DEPARTAMENTO DE BOTANICA**



Rendimiento del Rábano (*Raphanus sativus* L., var. Champion) Regado con Diferentes Efluentes en Condiciones de Invernadero.

Por:

**BEATRIZ ADRIANA CRUZ GOMEZ**

**Tesis**

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN AGROBIOLOGIA**

Saltillo, Coahuila, México  
Mayo de 2012

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISION DE AGRONOMIA  
DEPARTAMENTO DE BOTANICA**

Rendimiento del Rábano (*Raphanus sativus* L., var. Champion) Regado con  
Diferentes Efluentes en Condiciones de Invernadero.

**Tesis**

Por:

**BEATRIZ ADRIANA CRUZ GOMEZ**

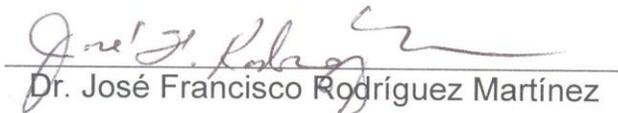
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN AGROBIOLOGIA**

Aprobada



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



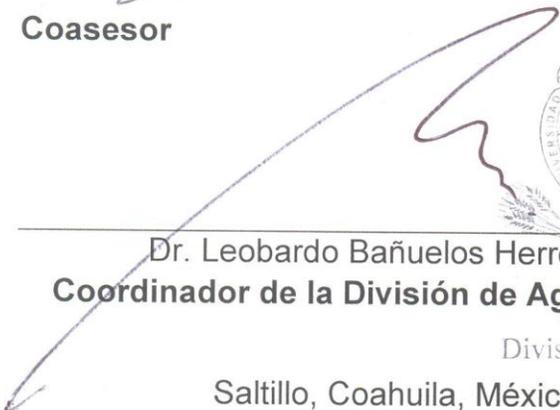
\_\_\_\_\_  
Dr. José Francisco Rodríguez Martínez

**Coasesor**



\_\_\_\_\_  
M.C. Felipa Morales Luna

**Coasesor**



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

  
Coordinación  
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Mayo de 2012

## **AGRADECIMIENTOS**

### ***A Dios***

*Por permitirme vivir, y porque siempre está conmigo guiándome y cuidándome.*

### ***A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.***

*Por abrirme las puertas y brindarme las facilidades de formarme profesionalmente, porque me llevo todas las cosas buenas que me dejaron una enseñanza tanto personal como profesionalmente.*

### ***A mis Asesores***

*Dra. Sílvia Yudith Martínez Amador. Por su incondicional apoyo y enseñanza durante la tesis y formación académica. Por estar presente en lo académico. Pero sobre todo por su amistad tan sincera.*

*Dr. José Francisco Rodríguez Martínez. Por compartir sus conocimientos durante mi formación académica, por la revisión y contribución en esta investigación.*

*M.C. Felipa Morales Luna. Por revisar la investigación y facilitar el espacio de trabajo.*

*M.C. Fidel Maximiano Peña Ramos. Por apoyarme en la realización del análisis estadístico y por su tiempo.*

*A mis Amigos*

*A todos mis compañeros de generación que siempre me brindaron su amistad durante la carrera, en especial a Juanita, Maudiel, Juan, José, Fidel, Alicia, Emilia, Anahí y Carlos, quienes me brindaron su apoyo en momentos difíciles.*

*A mi Amiga de toda la vida y a mi tía Lupita.*

*A tí amiga, por brindarme tu apoyo, consejos y cariño. Por aceptarme no sólo como una amiga sino como también como una hermana.*

*Tía lupita, porque gracias a su apoyo y comprensión supere una etapa, y por su cariño de mamá que siempre me brindó.*

## DEDICATORIA

### *A mis Padres*

*Horacio Cruz Nucamendi y Martha Gómez López. Con mucho cariño y amor para ustedes, por enseñarme que las cosas cuestan esfuerzo y trabajo, por el amor y apoyo que me brindaron.*

### *A mi Hermano.*

*Mario Cruz Gómez. Gracias al apoyo que me brindaste desde pequeña, he logrado conseguir mi meta. Con mucho cariño y agradecimiento para tí.*

### *A mi Esposo*

*Jorge Obet Velasco Torres. Con mucho amor, por el apoyo que me brindaste desde el inicio hasta el final de mi carrera. Por tu amor, consejos y enseñanzas. Te amo, Gracias!*

### *A mi Hija*

*Alexia Shirley Velasco Cruz. A tí mi amor que siempre fuiste y serás el motivo de lograr mi objetivo, por brindarme tu amor inocente e incondicional, porque dejé de jugar contigo por estar en la escuela. Pero especialmente para tí es este logro. Te amo.*

### *A mi Abuelita Carmen Nucamendi Sarabia (+)*

### *A mis Cuñadas y Sobrinas*

*Normí, Viki, Lupita, Kristel, Cindy y Divaní. Porque todas me brindaron amor, cariño y apoyo durante mi carrera. Las quiero.*

## RESUMEN

En la actualidad el agua es un recurso natural que cada vez es más escaso. México presenta la necesidad de reusar las aguas residuales mediante tratamientos físico-químicos y/o biológicos que recuperen su calidad, esto con el fin de ser aprovechadas en el sector agropecuario, que consume importantes cantidades de agua (65% del total disponible).

La reutilización de las aguas residuales en el riego de cultivos puede ser una alternativa de bajo costo para disponer adecuadamente de las aguas, evitando que lleguen a los cuerpos de agua y causen problema de contaminación, por lo anterior, se planteó la necesidad de realizar un estudio sobre el reuso del agua residual en la agricultura de invernadero, evaluando el efecto de diferentes efluentes sobre el rendimiento del rábano (*Raphanus sativus* L., Var. Champion).

El experimento se estableció en un invernadero tipo túnel de 160 m<sup>2</sup> con un sistema de enfriamiento por ventilación forzada en el cual se estableció un diseño experimental completamente al azar, con cuatro tratamientos y veinte repeticiones. Las plantas fueron regadas usando cuatro tipos de efluentes: agua potable (testigo), agua residual doméstica, agua residual doméstica tratada anaeróbicamente y agua residual doméstica tratada aeróbicamente.

De acuerdo a las variables evaluadas, los mejores resultados promedio en cuanto a peso de raíz y área foliar se obtuvieron con las plantas regadas con agua residual doméstica tratada aeróbicamente en comparación con los otros tratamientos.

**Palabras clave:** *agua residual, anaerobio, aerobio, rendimiento.*

## INDICE DE CONTENIDO

	<b>Página</b>
AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA .....	iv
RESUMEN.....	v
INDICE DE CUADROS.....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1. Agua potable .....	4
3.1.1. Características físicas .....	5
3.1.2. Características químicas .....	5
3.1.3. Características biológicas.....	6
3.2. Agua residual.....	7
3.2.1. Clasificación de las aguas residuales.....	7
3.2.2. Ventajas y desventajas de utilizar agua residual.....	8
3.2.3. Reúso de agua residual en la agricultura .....	10
3.2.4. Aguas residuales aplicadas en cultivos agrícolas a nivel mundial....	11
3.2.5. Área agrícola regada con aguas residuales en América Latina .....	14
3.2.6. Aguas residuales aplicadas a cultivos agrícolas en México .....	16
3.2.7. Uso de agua residual y medio ambiente .....	17
3.2.8. Métodos de tratamientos de aguas residuales. ....	18
3.3. Agua residual tratada.....	20
3.4. Normas Oficiales Mexicanas sobre calidad del agua .....	20
3.5. Características del cultivo.....	21
3.5.1. Usos comestibles y medicinales.....	21
3.5.2. Tipos y cultivares.....	21
3.5.3. Siembra .....	22

3.5.4. Suelo .....	22
3.5.5. Requerimientos nutricionales .....	23
3.5.6. Riego .....	23
3.5.7. Enfermedades .....	23
3.5.8. Insectos que atacan al cultivo .....	24
3.6. Parámetro de cuantificación del rendimiento .....	24
3.6.1. Área foliar (AF) y rendimiento.....	24
IV. MATERIALES Y METODOS .....	26
4.1. Descripción del sitio.....	26
4.2. Procedimiento.....	27
4.3. Variables evaluadas .....	27
4.4. Diseño experimental y tratamientos.....	28
4.5. Análisis estadístico .....	29
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
5.1. Peso fresco de raíz.....	30
5.2. Área foliar .....	32
5.3. Área foliar vs Peso fresco de la raíz .....	33
VI. CONCLUSIÓN .....	35
VII. RECOMENDACIONES .....	36
VIII. LITERATURA CITADA.....	37
IX. APÉNDICES .....	43
Apéndice 9.1. Resultados medidos de las variables evaluadas. ....	44
Apéndice 9.2. Diferencias entre medias de tratamientos mediante la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). ....	46

## INDICE DE CUADROS

	<b>Página</b>
Cuadro 3 1. Reuso de agua residual en el mundo.....	13
Cuadro 3.2. Cultivos regados con agua residual en el Perú.....	15
Cuadro 3.3. Sitios en México en donde se reutilizan aguas residuales para la producción agrícola.....	17
Cuadro 4.1. Tratamientos evaluados.....	28
Cuadro 5.1. Análisis de varianza para la variable peso de raíz ( $P \leq 0.05$ ).....	30
Cuadro 5.2. Análisis de varianza para la variable área foliar.....	32

## INDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 4.1. Invernadero tipo túnel donde se estableció el experimento. ....	26
Figura 5.1. Efecto de tratamientos con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) en el peso de raíz del rábano por tipo de efluente aplicado. ....	31
Figura 5.2. Efecto de tratamientos con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) en área foliar del rábano por tipo de efluente aplicado. ....	33
Figura 5.3. Diagrama de dispersión entre área foliar vs peso fresco de la raíz del rábano.....	34

## I. INTRODUCCIÓN

El incremento poblacional en México (más de 105 millones de habitantes) y mundial (más de 6.5 mil millones de habitantes), ha demandado altas cantidades de agua potable para consumo humano. Como consecuencia se han generado importantes volúmenes de aguas residuales, que han representado un foco de infección y toxicidad a la salud humana y ambiental (Jiménez, 2001).

El agua es un recurso indispensable para las actividades humanas, para el desarrollo económico y el bienestar social. En promedio se necesitan 3.0 L de agua por persona para generar los productos necesarios para la alimentación diaria. Aunque la irrigación para fines agrícolas representa apenas 10% del agua usada, ésta es la actividad de mayor consumo de agua dulce del planeta (Silva *et al.*, 2008).

En México, la demanda de agua limpia se distribuye de la siguiente manera: el sector agropecuario consume el 65%, el sector industrial consume el 25% y el abastecimiento público sólo consume el 10%, llegando de ésta forma casi al límite de la sobreexplotación del recurso hídrico (Cisneros *et al.*, 2001).

La contaminación de las aguas superficiales en el país es un problema que ha sido objeto de estudio en los últimos años. Las fuentes de contaminación son descargas de drenaje doméstico, industrial y actividad agropecuaria (Rivera *et al.*, 2007).

El creciente incremento de aguas residuales, aunado a la alta tasa de generación de residuos y a la necesidad de satisfacer la demanda de alimentos sanos y nutritivos, hacen imperante la necesidad de aplicar métodos que en conjunto ayuden a plantear alternativas prácticas para satisfacer una de las

necesidades básicas de México y del mundo como es la alimentación (Orta *et al.*, 2006).

En la actualidad la irrigación de cultivos agrícolas con aguas residuales es una práctica común, especialmente en regiones áridas como el norte de México, donde su uso se ha generalizado debido a la escasez de agua de buena calidad (Rivas *et al.*, 2003).

Los efluentes tratados o sin tratar, son utilizados como fuente de riego y también como fuente de macro y micronutrientes, y como acondicionador de suelos (Tozzi *et al.*, 2004).

Debe entenderse que la reutilización de los efluentes es una alternativa válida toda vez que se comprenda que constituyen “un recurso” y no “un desperdicio”. Su implementación es considerada segura y aceptable produciendo importantes incrementos de rendimientos en cantidad y calidad (Crespi *et al.*, 2005).

Como anteriormente se mencionó la agricultura requiere de grandes cantidades de agua y esta demanda se ha vuelto insostenible para el planeta.

El presente trabajo evaluó el efecto sobre el rendimiento de un cultivo de rábano en condiciones de invernadero regado con diferentes efluentes.

## **II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

### **Objetivo general**

Evaluar el rendimiento de un cultivo de rábano (var. Champion) regado con diferentes efluentes en condiciones de invernadero.

### **Hipótesis**

Ho: No existe diferencia en el rendimiento del rábano (var. Champion) entre tratamientos.

Ha: Al menos en uno de los tratamientos, el rendimiento del rábano (var. Champion), difiere de los demás.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1. Agua potable

La norma oficial mexicana NOM 127-SSA1-1994 define al agua potable como aquella que no contiene contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos y que no causa efectos nocivos para el ser humano.

El agua contiene diversas sustancias químicas y biológicas disueltas o suspendidas en ella. Desde el momento que se condensa en forma de lluvia, el agua disuelve los componentes químicos de sus alrededores, corre sobre la superficie del suelo y se filtra a través del mismo. Además el agua contiene organismos vivos que reaccionan con sus elementos físicos y químicos. Por estas razones suele ser necesario tratarla para hacerla adecuada para su uso como provisión a la población (Orellana, 2005).

El agua que contiene ciertas sustancias químicas u organismos microscópicos puede ser perjudicial para ciertos procesos industriales, y al mismo tiempo perfectamente idóneo para otros. Los microorganismos causantes de enfermedades que se transmiten por el agua la hacen peligrosa para el consumo humano. Las aguas subterráneas de áreas con piedra caliza pueden tener un alto contenido de bicarbonatos de calcio (dureza) y requieren procesos de ablandamiento previo a su uso (Orellana, 2005).

El mismo autor define las características físicas, químicas y biológicas del agua potable como sigue:

### **3.1.1. Características físicas**

En la provisión de agua se debe tener especial cuidado con los sabores, olores, colores y turbidez del agua que se brinda, en parte porque dan mal sabor, pero también a causa de su uso en la elaboración de bebidas, preparación de alimentos y fabricación de textiles.

Los sabores y olores se deben a la presencia de sustancias químicas volátiles y a la materia orgánica en descomposición. Las mediciones de los mismos se hacen con base en la dilución necesaria para reducirlos a un nivel apenas detectable por observación humana. El color del agua se debe a la presencia de minerales como hierro y manganeso, materia orgánica y residuos coloridos de las industrias. El color en el agua doméstica puede manchar los accesorios sanitarios y opacar la ropa. Las pruebas se llevan a cabo por comparación con un conjunto estándar de concentraciones de una sustancia química que produce un color similar al que presenta el agua.

La turbidez además de que es objetable desde el punto de vista estético, puede contener agentes patógenos adheridos a las partículas en suspensión. El agua con suficientes partículas de arcilla en suspensión (10 unidades de turbidez), se aprecia a simple vista. Las fuentes de agua superficial varían desde 10 hasta 1000 unidades de turbidez, y los ríos muy opacos pueden llegar a 10000 unidades. Las mediciones de turbidez se basan en las propiedades ópticas de la suspensión que causan que la luz se disperse o se absorba. Los resultados se comparan luego con los que se obtienen de una suspensión estándar.

### **3.1.2. Características químicas**

Los múltiples compuestos químicos disueltos en el agua pueden ser de origen natural o industrial y serán benéficos o dañinos de acuerdo a su composición y concentración. Por ejemplo el hierro y el manganeso en pequeñas cantidades

no solo causan color, también se oxidan para formar depósitos de hidróxido férrico y óxido de manganeso dentro de las tuberías de agua.

Las aguas duras son aquellas que requieren cantidades considerables de jabón para producir espuma y también forma incrustaciones en tuberías de agua caliente y calderas. La dureza del agua se expresa en miligramos equivalentes de carbonato de calcio por litro.

El agua químicamente pura es la combinación de oxígeno e hidrógeno y puede obtenerse en laboratorios por el fenómeno de electrólisis y en la naturaleza durante las tormentas eléctricas.

### **3.1.3. Características biológicas**

Las aguas poseen en su constitución una gran variedad de elementos biológicos desde los microorganismos hasta los peces. El origen de los microorganismos puede ser natural, es decir constituyen su hábitat natural, pero también provenir de contaminación por vertidos cloacales y/o industriales, como también por arrastre de los existentes en el suelo por acción de la lluvia.

La calidad y cantidad de microorganismos va acompañando las características físicas y químicas del agua, ya que cuando el agua tiene temperaturas templadas y materia orgánica disponible, la población crece y se diversifica. De la misma manera los crustáceos se incrementan y por lo tanto los peces de idéntica manera.

La biodiversidad de un agua natural indica la poca probabilidad de que la misma se encuentre contaminada. Sin embargo para que el agua se destine a la provisión de agua potable, debe ser tratada para eliminar los elementos biológicos que contiene.

## **3.2. Agua residual**

El agua después de su aprovechamiento en diferentes actividades humanas es descargada formando un efluente llamado agua residual que de acuerdo a su procedencia será de origen municipal o industrial (Jaramillo, 2003.)

La NOM-003-ECOL-1997, las define como las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Las aguas residuales, principalmente las domésticas se pueden subdividir en aguas negras (procedentes de los inodoros, con materia fecal) y aguas grises (procedentes de lavados en general como: cocinas, lavamanos, duchas, conteniendo detergentes, restos de alimentos, materia orgánica y otros contaminantes) (Kestler, 2004).

En el caso de los residuos de origen domestico la carga contaminante está representada por altos porcentajes de materia orgánica y microorganismos de origen fecal (Arcos *et al.*, 2005).

### **3.2.1. Clasificación de las aguas residuales**

Mara y Cairncross (1989), muestran una clasificación de las aguas residuales de la siguiente manera:

**Domésticas:** Son aquellas utilizadas con fines higiénicos (baños, cocinas, lavanderías, etc.). Consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas de la edificación también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares.

**Industriales:** Son líquidos generados en los procesos industriales. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria.

**Infiltración y caudal adicionales:** Las aguas de infiltración penetran en el sistema de alcantarillado a través de los empalmes de las tuberías, paredes de las tuberías defectuosas, tuberías de inspección y limpieza, etc. Hay también aguas pluviales, que son descargadas por medio de varias fuentes, como canales, drenajes y colectores de aguas de lluvias.

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

### **3.2.2. Ventajas y desventajas de utilizar agua residual**

El uso de las aguas residuales para riego de cultivos agrícolas es una importante fuente de abastecimiento que puede compensar en parte la limitación de recursos naturales en zonas áridas o semiáridas, como es el caso del norte de México, con objeto de aprovechar su valor como fertilizante y evitar la contaminación de ríos. En el siglo pasado la reutilización de las aguas residuales para riego de cultivos adquirieron una gran importancia como sistema alternativo de depuración (Segura *et al.*, 2006).

De acuerdo a Moscoso (1995), el riego con aguas residuales se viene incrementando notablemente en los últimos años, debido que otorga a la agricultura las siguientes ventajas:

- Disponibilidad permanente de agua
- Aporte de gran cantidad de nutrimentos
- Incremento del rendimiento de los cultivos
- Mejora de la calidad de los suelos (textura)
- Ampliación de la frontera agrícola

Las áreas agrícolas cercanas a la ciudad, no solo cumplen la función de abastecer alimentos, sino también contribuyen a recargar el acuífero, oxigenar el ambiente urbano y mantener un nivel de precipitación estable.

Veliz *et al.* (2008), mencionaron que en los últimos años, debido a la creciente escasez de agua fresca, la necesidad de proteger el medio ambiente y aprovechar económicamente las aguas residuales se ha promovido internacionalmente el reúso controlado de efluentes, lo que representa:

1. Reducir considerablemente la carga contaminante que se dispone en los cuerpos receptores superficiales, subterráneos y zonas costeras mediante vías simples, efectivas y de menor costo.
2. Incrementar el potencial aprovechable de los recursos hídricos, así como su mejor manejo al liberar grandes cantidades de agua fresca de mejor calidad para otros usos.
3. Mejorar importantes áreas agrícolas aportándole materia orgánica y nutrientes.
4. Fertilizar embalses acuícolas.

El uso de las aguas residuales se presenta como una de las fuentes alternativas para el riego en la agricultura urbana. Esto entraña un conjunto de interrogantes en cuanto a su manejo y a las posibles afectaciones que ellas pueden ocasionar a los frutos cosechados, al suelo y al medio ambiente (Méndez *et al.*, 2006).

Las descargas de aguas de efluentes domésticos e industriales en los embalses, ríos, mantos acuíferos, Zonas de cultivo, etc., generan graves problemas de contaminación del agua, las cuales pueden llegar a ocasionar alteraciones en los ecosistemas, a los sistemas, agrícolas, acuícolas, así como serias afecciones a la salud (Salazar, 2009).

### **3.2.3. Reúso de agua residual en la agricultura**

La demanda de agua, un recurso cada vez más escaso en el mundo, está creciendo rápidamente, lo que pone en peligro la disponibilidad de agua para la producción alimentaria y genera un riesgo para la seguridad alimentaria global. La agricultura, de la que depende el sustento de una población cada vez más grande, compite por este escaso suministro de agua con los usos industriales, domésticos y ambientales. A medida que aumenta la demanda de agua de todos los usuarios, se va agotando el agua subterránea, se contaminan y degradan otros ecosistemas acuáticos, y resulta cada vez más costoso desarrollar nuevas fuentes de agua (Rosegrant *et al.*, 2002).

El agua dulce es un recurso vital, pero cada día más escaso. Esta escasez es originada por el crecimiento demográfico, la urbanización y la industrialización asociada a nuevas demandas potenciales sobre los recursos hídricos existentes, a lo que se suman los conflictos asociados al cambio climático, de ahí que el reuso creciente de aguas residuales para la agricultura, la acuicultura, la recarga de aguas subterráneas y otros usos se planifique y se incremente paulatinamente (González y Chiroles, 2010).

Según la UNESCO (2003), cada día los ecosistemas acuáticos están siendo dañados de forma irreparable debido al crecimiento de la población, al desarrollo de infraestructuras, a la conversión del uso de la tierra, la sobreexplotación agrícola, la introducción de especies exóticas y la contaminación. Cada día, dos millones de toneladas de desechos se vierten en

los canales. Desde el año 1900 ha desaparecido el 50% de los humedales del mundo, así como una gran cantidad de especies de peces, pájaros y mamíferos.

La reutilización del agua residual: es una práctica muy extendida en numerosos países áridos o semiáridos de manera que hoy día este tipo de aguas ha entrado a formar parte del ciclo hidrológico y a ser consideradas como recursos hídricos alternativos que deben ser tenidos en cuenta en todo balance (Magaña, 2009).

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

Las aguas residuales constituyen un recurso útil para el riego en las situaciones de escasez de recursos hídricos. Los principales problemas que se pueden presentar en el uso de estas aguas en el riego o la hidroponía son su mayor contenido en: sustancias en suspensión, salinidad, iones potencialmente fitotóxicos (sodio, cloruro, boro), metales pesados, compuestos orgánicos, detergentes y nutrientes, principalmente nitrógeno (Ramos, 1997).

#### **3.2.4. Aguas residuales aplicadas en cultivos agrícolas a nivel mundial**

A nivel mundial, después de la República Popular de China, México es el segundo país que más agua residual emplea en actividades agrícolas y en América Latina, es la nación que más hectáreas irriga con aguas residuales (Cuadro 3.1) (Garza, 2000).

El uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura constituyen una de las herramientas más valiosas para controlar la contaminación y hacer frente al reto que constituye incrementar la producción agrícola cuando el recurso hídrico es limitado. Israel es el país que está a la vanguardia en el uso planificado de aguas residuales y que la política nacional contempla, para el uso agrícola, la sustitución gradual del agua potable por efluentes tratados; así en 1999, se usaba el 22%, en el 2005 el 40% y se estima para el 2020, alcanzará el 50% (Picca *et al.*, 2004).

Las aguas residuales son una importante fuente adicional para satisfacer la demanda del recurso, a causa de la disponibilidad limitada de agua potable para cubrir los requerimientos de las poblaciones, los bajos costos, los beneficios para los suelos agrícolas, el predominio del uso de aguas residuales crudas o diluidas con aguas superficiales y el bajo porcentaje de aguas residuales tratadas en Colombia y en los países de América Latina (Silva *et al.*, 2008).

Segura *et al.* (2004), determinaron el efecto de la fertirrigación con aguas procedentes de la Estación Depuradora de Agua Residual (E.D.A.R.) de Almería, sobre las propiedades químicas del suelo y absorción de nutrientes por la planta de judía se realizaron dos experiencias con judía de enrame (cv. Helda), en un invernadero tipo INCASA situado en la finca experimental de La Cañada en Almería, España.

**Cuadro 3 1. Reuso de agua residual en el mundo**

<b>Lugar</b>	<b>Superficie Irrigada (Has)</b>
Arabia Saudita, Riad	2,850
Argentina, Mendoza	3,700
Australia, Melbourne	10,000
Chile, Santiago	16,000
<b><i>China (diversas ciudades)</i></b>	<b><i>1,330,000</i></b>
Estados Unidos (diversas ciudades)	11,875
India (diversas ciudades)	85,500
Israel (diversas ciudades)	8,800
Perú, Lima	6,800
Sudáfrica, Johannesburgo	18,000
Sudán, Khartum	2,800
Túnez, Túnez	4,450
<b><i>México (diversas ciudades)</i></b>	<b><i>350,000</i></b>
Valle del Mezquital	130,000
Valle de Juárez	26,000

Fuente: Garza. 2000.

### **3.2.5. Área agrícola regada con aguas residuales en América Latina**

El 49% de la Región de América Latina y el Caribe tiene servicio de alcantarillado; diariamente se colectan 40 millones de metros cúbicos de aguas residuales que se vierten a los ríos, lagos y mares. Del volumen colectado por los sistemas de alcantarillado, menos del 10% recibe tratamiento antes de ser descargado en un cuerpo de agua superficial o antes de su uso para el riego directo de productos agrícolas. El desbalance entre el recurso hídrico y el crecimiento explosivo de las grandes ciudades, ha obligado a priorizar el uso de aguas superficiales para abastecimiento público y generación de energía eléctrica. Como lógica consecuencia, la actividad agrícola ubicada en la periferia de las ciudades se ha visto seriamente afectada y ha optado por el uso de aguas residuales como única alternativa de supervivencia. Esto se refleja en la existencia de más de 400 000 ha agrícolas irrigadas con estas aguas en forma directa, la mayoría sin tratamiento previo (Moscoso y León, 1994).

Por mencionar un ejemplo, en el Perú, la agricultura es la principal actividad desarrollada con el uso de las aguas residuales. En dicho país se utiliza un total de 3950 ha (91% del área de reuso) para algunos cultivos agrícolas como algodón, maíz para grano y forraje, entre otros (Cuadro 3.2):

Se ha estimado que las 4022 hectáreas de campos agrícolas regados con aguas residuales están produciendo más de 126000 toneladas métricas anuales de productos varios, correspondiendo el 92% a hortalizas, tales como la cebolla, espinaca, albahaca, acelga, perejil, cilantro, lechuga, col, coliflor, ají y tomate. En algunos lugares menos productivos se produce camote (Moscoso, 1993).

**Cuadro 3.2. Cultivos regados con agua residual en el Perú**

Tipo de cultivo	Productividad (kg/ha)	Área (ha)	Producción (t/año)	Tipo de agua
Algodón	3500	200	700	Tratada
Maíz grano	5000	460	2300	Ambas
Maíz forraje	100000	156	1560	Tratada
Alfalfa	20000	20	400	Tratada
Camote	24000	18	432	Tratada
Caña de azúcar	18000	260	4680	Cruda
Hortalizas	40000	2908	116320	Cruda

Fuente: Moscoso, 1993

En 1991 el Ministerio de Agricultura del Perú inició un Proyecto Nacional de Riego con Aguas Servidas Tratadas, que pretendía ampliar la frontera agrícola de la costa con 18000 hectáreas regadas con 20 m<sup>3</sup> de desagües producidos en las principales ciudades de la costa peruana. El CEPIS brindó asistencia técnica y concentró sus esfuerzos en evaluar el grado de sustitución de fertilizantes por el aporte de nutrientes de las aguas tratadas. Se evaluaron diferentes dosis de fertilización, desde un testigo con aguas residuales solamente (sin fertilizantes) hasta niveles de fertilización que normalmente se aplican en los cultivos comerciales, además del riego con aguas residuales en cantidad similar al testigo. Se ensayaron diferentes cultivos comerciales como frijol, habichuelas, brócoli, col, maíz (Moscoso y León, 1994).

Las actividades productivas se desarrollan en el 80% del área actualmente irrigada con aguas residuales en Lima, aun cuando solo representen el 41% de las experiencias existentes. Se han identificado una variedad importante de cultivos, que pueden ser agrupados en hortalizas, forrajes, plantas

ornamentales, árboles frutales y hierbas aromáticas. Además también se pueden citar otros cultivos importantes como ponciana, croto y pasto americano. Por último también se puede considerar como un producto comercial la misma agua residual tratada que es vendida para el riego de áreas verdes municipales. Un número mayor de casos (59%) están dedicados al reuso en actividades recreativas como áreas verdes, campos deportivos y parques públicos, que sólo abarcan el 20% del área total irrigada con las aguas residuales (Moscoso y Alfaro, 2008).

### **3.2.6. Aguas residuales aplicadas a cultivos agrícolas en México**

El principal uso del agua en México es el agrícola, la superficie dedicada a las labores agrícolas en México varía entre los 20 y 25 millones de hectáreas, con una superficie cosechada de entre 15 a 20 millones de hectáreas por año. La población ocupada en la agricultura oscila entre los 4 y 5 millones de personas y se estima que dependen directamente de la actividad entre 20 y 25 millones de mexicanos, en su mayoría población rural (CONAGUA, 2007; Gobierno de México, 2008) citado por Lugo (2009).

En 1992 México reportó 350 000 hectáreas agrícolas regadas directamente con aguas residuales (Moscoso y León, 1994).

Garza (2000), reporta que en México existen numerosos lugares donde utilizan el agua residual para irrigar los cultivos agrícolas sin ningún control sanitario (Cuadro 3.3).

**Cuadro 3.3. Sitios en México en donde se reutilizan aguas residuales para la producción agrícola**

<b>SITIOS EN MÉXICO</b>	
Aguascalientes	Guadalajara
Chihuahua	La Laguna
Cd. Juárez	Monterrey
Durango	Morelia
Obregón	Querétaro
Puebla	Valle de Mezquital

Fuente: Garza (2000).

El aumento poblacional en el caso de México ha tenido repercusiones negativas muy serias debido a la disponibilidad del agua para uso doméstico y para el desarrollo de actividades productivas, entre ellas, la agricultura (Lugo, 2009).

El uso de las aguas residuales para riego en el Valle del Mezquital data de fines del siglo pasado, como consecuencia de las obras de drenaje del Valle de México. Estas aguas constituyen un recurso valioso que debe seguir utilizándose en las zonas áridas y semiáridas cada vez con mayor eficiencia y seguridad para la salud humana y para la protección del medio ambiente (Moscoso, 1993).

### **3.2.7. Uso de agua residual y medio ambiente**

La reutilización de aguas residuales puede contribuir a la disminución de la contaminación del medio ambiente ya que no se sigue agotando la poca cantidad de agua potable disponible (González *et al.*, 2001).

El agua residual tratada la cual se mira como un residuo, se ha convertido en un recurso valioso, ya que es un agua que se puede reciclar para uso agrícola y otros. Este tipo de agua como se mencionó anteriormente contiene nutrimentos

que contribuyen al rendimiento de los cultivos o plantaciones. Este reciclaje de agua contribuye notoriamente al desarrollo sostenible que en la actualidad se hace referencia. Al reutilizar el agua que estamos logrando cerrar un ciclo y no desperdiciamos este recurso tan valioso para la vida. Las aguas residuales que siempre han sido un problema se están convirtiendo en un recurso con rentabilidad asociada y reconocida socialmente, el reuso de este tipo de aguas consiste en dar un nuevo uso a las aguas que ya han sido utilizadas tanto a nivel urbano como industrial (Magaña, 2009).

### **3.2.8. Métodos de tratamientos de aguas residuales.**

El tratamiento de aguas residuales es necesario para la prevención de la contaminación ambiental y del agua, al igual que para la protección de la salud pública. Mientras que cada región tiene sus propias necesidades correspondientes a métodos de tratamiento particulares, cierto número de opciones tradicionales y modernas de tratamiento se encuentran disponibles al diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales. Es necesario hacer una evaluación del nivel óptimo de tratamiento requerido, al igual que una evaluación práctica de cuáles métodos de tratamiento está dentro del presupuesto. En aquellas áreas donde no es factible construir plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales, podrían emplearse muchas otras opciones naturales de tratamiento. El manejo efectivo de aguas residuales debe dar como resultado un efluente ya sea reciclado o reusable, o uno que pueda ser descargado de manera segura en el medio ambiente. La meta del tratamiento de aguas residuales nunca ha sido producir un producto estéril, sin especies microbianas, sino reducir el nivel de microorganismos dañinos a niveles más seguros de exposición, donde el agua es comúnmente reciclada para el riego o usos industriales (Reynolds, 2002).

Los pasos básicos para el tratamiento de aguas residuales incluyen:

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

Una alternativa desarrollada para pequeños productores es la combinación de métodos como la separación de sólidos, la sedimentación y la filtración. Esta combinación permite tratar el agua para cumplir con las normas ambientales respectivas. La incorporación de los sistemas de filtración ayuda a reducir los niveles de DBO, DBQ, sólidos totales, sólidos sedimentables y la turbidez del agua, y abre la posibilidad de reciclar el agua a bajo costo (Bravo *et al.*, 2008).

### **Sistemas de tratamiento de aguas residuales**

Ozores y Méndez (2010), mencionan que los sistemas de tratamientos de aguas residuales pueden ser digestión anaeróbica y digestión aeróbica.

- a. Digestión Anaeróbica.** Involucra el uso de un contenedor cerrado, libre de oxígeno (digestor) y bacterias anaeróbicas. Las bacterias fermentan el desperdicio en el digestor produciendo biogás rico en metano, fibra y aguas residuales ricas en nutrientes las cuales pueden ser usadas como un fertilizante líquido.
- b. Digestión Aeróbica.** Es similar a la digestión anaeróbica pero en un ambiente rico en oxígeno como un tanque o una laguna. El tanque o laguna puede ser aireado natural o mecánicamente.

### **3.3. Agua residual tratada**

La norma oficial mexicana NOM-003-ECOL-1997 define a las aguas residuales tratadas como aquellas que mediante procesos individuales o combinados de tipos físicos, químicos, biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reuso en servicios al público.

### **3.4. Normas Oficiales Mexicanas sobre calidad del agua**

- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PREMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES.
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REUSEN EN SERVICIOS AL PÚBLICO.
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-SEMARNAT-1996, LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO URBANO O MUNICIPAL.
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-SEMARNAT-2002, ESPECIFICACIONES Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA EL APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS Y BIOSÓLIDOS.
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, LÍMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA POTABILIZACIÓN, CONSUMO Y USO HUMANO.

### **3.5. Características del cultivo.**

El rábano (*Raphanus sativus* L.) es una planta herbácea de la familia de las crucíferas, de tallo ramoso y velludo, hojas ásperas y flores blancas, amarillas o purpurinos. Es una planta hortícola mejorada genéticamente y mediante el cultivo. La parte comestible es la raíz, carnosa, casi redonda, fusiforme y de sabor ligeramente picante. Se la considera originaria de Europa y Asia y se cultiva en las huertas (Álvarez, 1988).

Es una planta anual, piel de color rojo, rosado, blanco u oscuro, según la variedad; posee hojas basales, pecioladas, lámina lobulada con uno a tres pares de segmentos laterales con bordes dentados. El rábano se desarrolla bien en climas templados, aunque las altas temperaturas pueden originar sabores picantes en sus raíces. Su ciclo productivo es corto y puede variar entre 20 y 70 d<sup>-1</sup>, según la variedad, con una temperatura óptima de 18 a 22 °C; se adapta a cualquier tipo de suelo pero los suelos profundos, arcillosos y de reacción neutra son los ideales (Montero *et al.*, 2006).

#### **3.5.1. Usos comestibles y medicinales.**

Se emplea en numerosas ensaladas en fresco y otras recetas elaboradas, en medicina popular como diurético, sobre todo la raíz, de a que se aconseja tomar el jugo en enfermedades que requieran de expeler toxinas por la orina. (Álvarez, 1988).

#### **3.5.2. Tipos y cultivares**

Entre los cultivares precoces de rábano de 23 a 30 días las formas redondeadas están representadas por los cultivares del grupo tipificado por Early Scarlet Globe y otras similares incluyendo a Comet, Cherry Belle, Sparkler, junto con Skarlet Knight que es rojo escarlats de punta blanca,

resistente al Fusarium y tolerante a las altas temperaturas. Los rábanos alargados están representados por los cultivares FrenchBreakfast (4 a 5 cm) escarlata y punta blanca, y por Icicle totalmente blanco. En países con veranos calurosos y días largos, se siembran algunos cultivares de rábanos largos que tardan entre 30 a 48 días en cosecharse. Los tipos tardíos pueden ser blancos, como White Chinese, o casi negros como Round Black Spanish que tardan 55 días y que se pueden guardar después de cosechados (Casares, 1981).

### **3.5.3. Siembra**

El rábano es de siembra directa. Los cultivares tienen follaje corto, lo que permite espaciamiento más cercano, usualmente desde 15 hasta 30 cm entre hileras para cultivares precoces, los cultivares tardíos tienen más porte por lo que el espaciamiento entre plantas, después del raleo, es entre 1 a 2 cm. (Casares, 1981).

### **3.5.4. Suelo**

El suelo para la siembra de rábano deberá ser, de preferencia arenosos, pero que contengan un alto contenido de materia orgánica y deberá ser capaz de retener abundante humedad, el rábano requiere terrenos fértiles, bien labrados y abonados, sueltos y francos que favorezcan el rápido desarrollo del cultivo, el pH del suelo deberá encontrarse entre 5.5 y 6.8. Los suelos parejos que permitan la siembra a profundidades uniformes permiten un buen desarrollo del cultivo resultando en una mayor proporción de rabanitos y rábanos con raíz bien formada (Casares, 1981).

### **3.5.5. Requerimientos nutricionales**

La fertilización del cultivo debe hacerse en base a los resultados del análisis de suelo. Los requerimientos nutricionales del cultivo de rábano y rabanito en kilogramos  $ha^{-1}$  son: N:P:K (80:120:80) debido a que el ciclo del cultivo es bastante corto, estos cultivos necesitan de elementos nutritivos fácilmente asimilables desde la siembra en las camas, por lo que resulta práctico aplicar los fertilizantes en las últimas labores de preparación de las camas de siembra. Son muy sensibles a la falta de N-P-K y de boro (Rosales, 2004).

### **3.5.6. Riego**

Por ser cultivos precoces, necesitan una buena cantidad de agua, distribuida uniformemente y con lapsos de riego bien ajustados. La humedad del suelo deberá encontrarse entre un 60 a 65% de la capacidad de campo durante el ciclo vegetativo. La falta de agua ocasiona que la raíz se vuelva más dura y si ésta es acompañada por altas temperaturas se estimula la floración anticipada. Por otro lado, cuando hay oscilaciones extremas de humedad en el suelo, las raíces se agrietan, perdiendo su calidad comercial. Se recomienda regar regularmente cada 3 a 5 días en caso de ausencia de lluvias (Rosales, 2004).

### **3.5.7. Enfermedades**

Por el ciclo corto del cultivo y las áreas de extensión pequeñas, las enfermedades e insectos no constituyen limitantes de peso en el desarrollo del cultivo. Algunas de las enfermedades que afectan al cultivo se encuentran la podredumbre blanda ocasionada por *Erwinia sp.*, esta bacteria destruye el tejido foliar, tomando una apariencia acuosa y viscosa, además de oler a podrido. Al realizar un corte del tallo de la planta se observa una mucosidad blanca. El control se debe realizar al inicio tratando con productos químicos las semillas,

eliminar las plantas que presenten síntomas de la enfermedad, rotación de cultivos y sembrando cultivares tolerantes al ataque. Por otro lado, este cultivo es susceptible al ataque del nemátodo agallador *Meloidogyne sp.*, ya que puede ocasionar malformación de las raíces. Por lo que es conveniente asegurarse de que el suelo donde se sembrará dicho cultivo esté libre de nemátodos o realizar aplicaciones de nematicidas cuando se esté realizando la preparación del suelo o el levantamiento de la cama de siembra (Rosales, 2004).

### **3.5.8. Insectos que atacan al cultivo**

Los más importantes son los insectos cortadores, *Spodoptera sp.* y *Agriotis sp.*, ya que pueden cortar las plántulas de rábano o rabanito en los primeros estados de desarrollo y cortar las hojas; para su control se recomienda el uso de insecticidas piretroides y cebos. Dentro de las plagas del follaje cuyas larvas atacan las hojas de las plantas más jóvenes se encuentran: los áfidos, las tortuguillas (*Diabrotica sp.*, *Cerotoma sp.*, *Epitrix sp.*). Los insecticidas de corta residualidad y baja toxicidad que se deben usar son: Acetamiprid (Rescate), Imidacloprid (Confidor), Amitraz (Mitac 20 EC) (Juscafresa, 1968; Rosales, 2004).

## **3.6. Parámetro de cuantificación del rendimiento**

### **3.6.1. Área foliar (AF) y rendimiento**

El área foliar es un parámetro ampliamente usado en estudios de ecofisiología de cultivo, además de ser utilizado para determinar el potencial fotosintético de la planta (Coombs y Hall, 1982). Watson (1947), citado por Kumar *et al.* (2002), aplicó el concepto del área foliar para medir el potencial productivo de los cultivos en el campo.

El incremento en el área foliar tiene una gran importancia fisiológica para el vegetal, debido a la mayor superficie fotosintéticamente activa de la planta, lo cual favorece la producción de carbohidratos, el cual unido al agua y los elementos minerales absorbidos influyen directamente en la síntesis de proteínas u otros compuestos orgánicos que tienen relación directa con el aumento de la producción de biomasa de las plantas (Utria *et al.*, 2008).

Se han utilizado varios métodos para su determinación, que pueden clasificarse en destructivos y no destructivos, tanto indirectos como directos. Entre los indirectos se destacan los que utilizan correlaciones alométricas entre magnitudes de las hojas y el área foliar, mediciones del grado de cobertura de suelo, o de la relación entre la penetración de la radiación y la estructura de la cubierta. Los métodos directos son los que utilizan medidores de área foliar, que son instrumentos diseñados con este propósito y que tienen una resolución del orden de  $\text{mm}^2$  (Astegiano *et al.*, 2001).

El rendimiento de los cultivos se relaciona con el área foliar de estos, ya que el mayor crecimiento del dosel vegetal proporciona una mayor intercepción de luz, lo cual incrementa la fotosíntesis y producción de biomasa como resultado de un mayor aprovechamiento de los recursos hídricos y nutrimentales (Aguilar *et al.*, 2005). Los datos de rendimiento se expresan en peso de raíces por unidad de área (Criollo y García, 2009).

## IV. MATERIALES Y METODOS

### 4.1. Descripción del sitio

El estudio se realizó en el invernadero número 6 de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, localizada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, con coordenadas 25° 23' latitud Norte, 101° 03' longitud Oeste y una altitud de 1743 msnm.

El cultivo fue rábano (*Raphanus sativus* L., var. Champion) establecido en un invernadero tipo túnel de 160 m<sup>2</sup>, orientado de norte a sur. La estructura es metálica, las paredes están cubiertas por láminas de policarbonato y doble capa de plástico en el techo (Figura 4.1).

El sistema de enfriamiento del invernadero es por ventilación forzada por medio de extractores de aire, los cuales mantienen la temperatura a una máxima de entre 25 a 30°C durante el día y 20°C en la noche. La humedad relativa máxima es de 45%.



**Figura 4.1. Invernadero tipo túnel donde se estableció el experimento.**

## **4.2. Procedimiento**

Para el establecimiento del cultivo se usó un suelo adquirido en un vivero local, el cual se colocó en bolsas de polietileno color negro de dimensiones de 0.30 m de ancho por 0.20 m de largo. El peso promedio de las macetas fue de 1.268 kilogramos de suelo.

El acomodo de las bolsas (maceta) se llevó a cabo mediante una técnica de sorteo, para cada tratamiento y repeticiones respectivas, para así lograr el establecimiento completamente al azar. Posterior a este proceso se dio un primer riego antes de la siembra.

Con la finalidad de asegurar la germinación y emergencia, por lo menos de una planta por unidad experimental, se sembró 3 semillas en cada una de las macetas, a una profundidad de un centímetro. Los riegos se aplicaron de forma manual cada tercer día, durante todo el ciclo del cultivo, aplicándose 270 ml de agua a cada una de ellas.

El raleo de plantas fue realizado siete días después de la germinación con el propósito de dejar una planta por maceta. Las malezas fueron removidas a mano cada que se tuvieron presencia de éstas. No se registró incidencias de insectos y/o enfermedades durante el desarrollo del cultivo.

La cosecha se realizó a los treinta días después de la siembra cuando el cultivo alcanzó su madurez fisiológica, la cual se realizó cuidadosamente para extraer la planta total. Las plantas se lavaron para quitar el exceso de tierra, se secaron con papel absorbente y por último se midieron las variables que determinaron el rendimiento del cultivo de rábano.

## **4.3. Variables evaluadas**

Para medir cada una de las variables se usó un método destructivo que consistió en separar cada una de las partes que componen a la planta.

Las variables consideradas para evaluar el rendimiento fueron: peso fresco de raíz y área foliar.

**a. Determinación del peso fresco de raíz.**

El peso fresco de la raíz (producto comercial), expresado en gramos, se midió utilizando una balanza analítica modelo AND GR 120.

**b. Determinación del área foliar.**

Se midió el área foliar mediante un lector óptico marca LI-COR, modelo LI-300. Se determinó usando las hojas verdes, expresando el valor de la variable en cm<sup>2</sup>.

**4.4. Diseño experimental y tratamientos**

El experimento se estableció bajo un Diseño Completamente al Azar, con cuatro tratamientos y veinte repeticiones por tratamiento. Cada maceta se consideró una unidad experimental (u.e.), haciendo un total de 80 u.e. Los tratamientos evaluados en este estudio se muestran en el cuadro 4.1.

**Cuadro 4.1. Tratamientos evaluados**

<b>Tratamientos</b>	<b>Tipo de efluente</b>
T1	Agua Potable ( Testigo)
T2	Residual doméstica tratamiento anaerobio UAAAN (ARDTANA)
T3	Residual doméstica UAAAN (ARD)
T4	Residual doméstica tratamiento aerobio UAdeC (ARDTAE)

#### **4.5. Análisis estadístico**

El análisis de varianza tuvo la finalidad de comparar los efectos de los cuatro tratamientos, para esto y demás procedimientos estadísticos se utilizó el programa estadístico R (Ihaka y Gentleman, 1996; R Development Core Team, 2007). Después de encontrar significancia entre las medias de los tratamientos de las variables peso fresco de la raíz y área foliar, se realizó la comparación de medias, mediante la prueba Tukey a un nivel de significancia de 0.05, para determinar cuál de los tratamientos presentó mejores resultados.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El apéndice 9.1 muestra los datos de los resultados medidos para cada una de las variables evaluadas. El análisis estadístico para los datos de peso de raíz y área foliar se muestra a continuación.

### 5.1. Peso fresco de raíz

El análisis de varianza realizado con la variable peso de la raíz (Cuadro 5.1), indicó que los resultados de este trabajo muestran diferencia altamente significativa ( $P \leq 0.001$ ), en la comparación entre tratamientos, con un coeficiente de variación de 16.99%. Esto significa que los tipos de efluentes aplicados a las plantas de rábano ocasionaron efectos diferentes sobre el peso de la raíz y que existe un 83.01% de confiabilidad de los datos experimentales.

**Cuadro 5.1. Análisis de varianza para la variable peso de raíz ( $P \leq 0.05$ ).**

	GL	SUMA CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	VALOR DE F	Pr (>F)
Tratamientos	3	62.271	20.7569	7.9632	0.00011***
Residuales	76	198.103	2.6066		

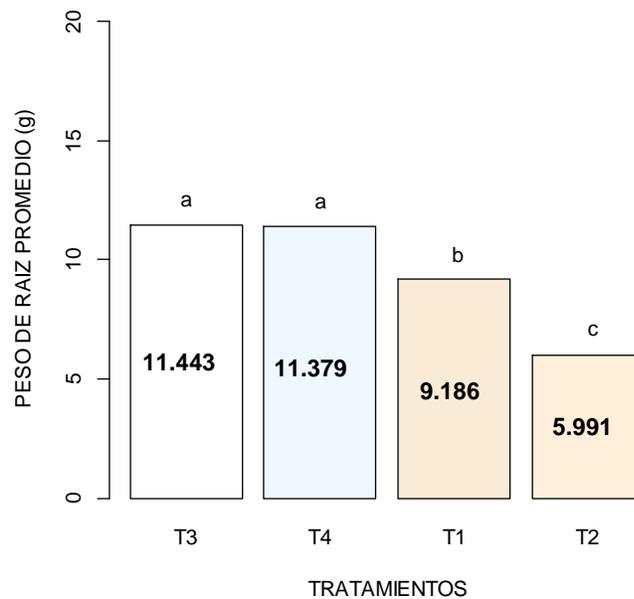
Coeficiente de Variación (C.V)= 16.99 %

\*\*\* Altamente significativo ( $P \leq 0.001$ )

Al realizar el análisis de comparación de medias con la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ) (Figura 5.1), se observa que las plantas regadas con el tratamiento de agua residual doméstica presentó el promedio más alto de peso de raíz (11.443 g) y estadísticamente fueron iguales a las regadas con el tratamiento de agua residual doméstica tratada aeróbicamente (11.379 g), aunque se observó una

diferencia numérica de 0.012 gramos entre éstos (Apéndice 9.2). Estos resultados refuerzan la investigación realizada por Cisneros y González (2001), quienes evaluaron el efecto de diferentes tipos de agua sobre el rendimiento de acelga, lechuga y rábano y encontraron que las aguas residuales tratadas con aireación intermitente incrementan el rendimiento de estos cultivos en comparación a los regados con agua potable. Siguiendo en orden de importancia, el tratamiento testigo superó al tratamiento de agua residual doméstica tratada anaeróbicamente, los cuales registraron promedios de peso de raíz de 9.186 y 5.991 gramos, respectivamente.

Otros estudios previos como el de García (2004), reportó que el rendimiento promedio en peso del cultivo de brócoli regado con agua residual doméstica (525.038 g) fue mayor que el regado con agua potable (468.073 g), atribuyendo estos resultados al alto contenido de materia orgánica y aportación de algunos nutrimentos por parte de las aguas residuales.



**Figura 5.1. Efecto de tratamientos con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) en el peso de raíz del rábano por tipo de efluente aplicado. (T1=Testigo, T2=ARDTANA, T3=ARD, T4=ARDTAE)**

## 5.2. Área foliar

En el Cuadro 5.2 se presenta la significancia estadística emanada del análisis de varianza para área foliar, el cual indicó una diferencia altamente significativa ( $P \leq 0.001$ ) en la comparación entre tratamientos con un coeficiente de variación de 5.59%, lo que indica que los tratamientos produjeron efectos diferentes sobre el área foliar de las plantas de rábano y que existió buen manejo de las unidades experimentales con una tasa de confiabilidad de los datos muy alta, siendo ésta de 94.41%.

**Cuadro 5.2. Análisis de varianza para la variable área foliar**

	GL	SUMA CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	VALOR DE F	Pr (>F)
Tratamientos	3	3169.5	1056.51	27.896	$2.869e^{-12}$ ***
Residuales	76	2878.3	37.87		

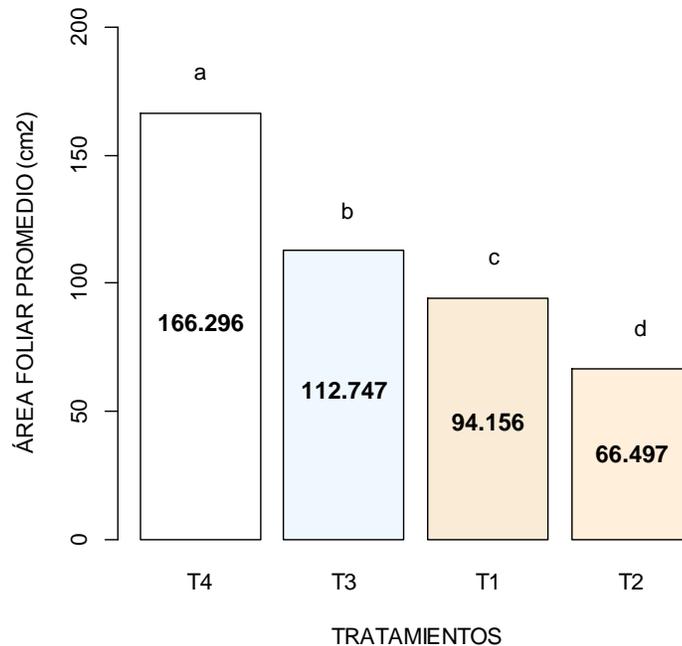
Coeficiente de Variación (C.V)=5.59 %

\*\*\*Altamente significativo ( $P \leq 0.001$ )

De acuerdo al análisis de comparación de medias con la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ) (Figura 5.2), se observa que el área foliar de las plantas regadas con el tratamiento de agua residual doméstica tratada aeróbicamente obtuvo el valor promedio más alto ( $166.296 \text{ cm}^2$ ). En el orden de mejores resultados, siguieron las plantas regadas con el tratamiento agua residual doméstica, quienes presentaron un área foliar promedio de  $112.747 \text{ cm}^2$ , seguido por el tratamiento testigo (agua potable) ( $94.156 \text{ cm}^2$ ). El menor valor promedio fue registrado por el tratamiento agua residual doméstica tratada anaeróbicamente con  $66.497 \text{ cm}^2$  de área foliar.

Resultado similar se encontró en un cultivo de leguminosa forrajera (*Acacia mangium* W.), donde los mayores resultados para área foliar fueron obtenidos con el tratamiento regado con agua 100% residual, superando al testigo.

Aunque el agua utilizada no fue sometida a un sistema de tratamiento previo, demostró que ésta propició el incremento de área foliar para el cultivo bajo estudio (Rodríguez *et al.*, 2005).

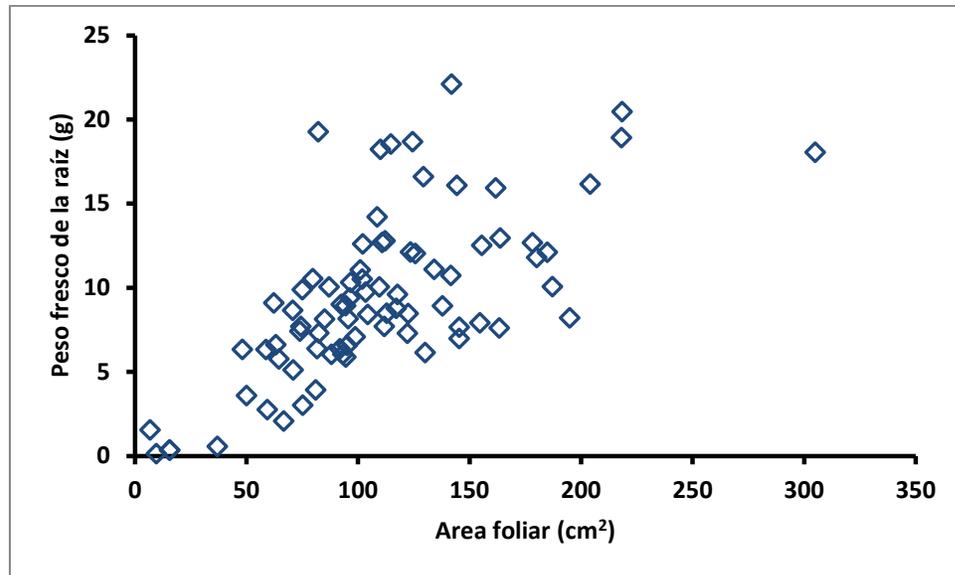


**Figura 5.2. Efecto de tratamientos con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) en área foliar del rábano por tipo de efluente aplicado. (T1=Testigo, T2=ARDTANA, T3=ARD, T4=ARDTAE).**

### 5.3. Área foliar vs Peso fresco de la raíz

El diagrama de dispersión entre los valores medidos de área foliar y peso fresco de la raíz, se muestra en la figura 5.3, el cual muestra una tendencia ascendente e indica que el aparato fotosintético (hojas) establece una relación positiva con el rendimiento (parte comercial). El estudio mostró un coeficiente de correlación  $r = 0.6704$  y un coeficiente de determinación  $r^2 = 0.4495$ , lo que indica una relación, entre variables, aceptable y que el 44.95% de la variabilidad del rendimiento se explica por el área foliar. Por lo tanto se deduce que existen

otras variables que modifican y explican la variabilidad del rendimiento del rábano que no fueron evaluadas en este estudio. Estudios previos reportan que a mayor área foliar se incrementa la producción de biomasa y el rendimiento de los cultivos (Olalde *et al.*, 2000; Vilorio *et al.*, 1998; Cebula, 1995).



**Figura 5.3. Diagrama de dispersión entre área foliar vs peso fresco de la raíz del rábano.**

## VI. CONCLUSIÓN

Se concluye que al menos uno de los tratamientos (efluentes) aplicados en este estudio al cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L.) var. Champion, fue diferente de los demás. Los tratamientos producen efectos distintos en el rendimiento y la diferencia entre las medias de los tratamientos es altamente significativa para las variables evaluadas.

Las plantas regadas con agua residual sin tratamiento y con tratamiento aerobio obtuvieron valores promedio de peso de raíz mayores a los otros tratamientos, incluyendo al testigo.

La mayor área foliar promedio se encontró en las plantas regadas con el tratamiento agua residual doméstica tratada aeróbicamente, en comparación con los otros tratamientos.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Además de las variables evaluadas en este estudio, se sugiere obtener datos del peso seco, diámetro y longitud de la parte comercial, para hacer una mejor evaluación del rendimiento del cultivo.

## VIII. LITERATURA CITADA

- Aguilar, L.; J. Escalante; L. Fucikovsky; L. Tijerina y E. Mark. 2005. Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. *Terra Latinoamericana*, 23(3): 303-310.
- Álvarez, H. 1998. Diccionario de Herbolaria. Plantas curativas de la A a la Z. Biblioteca Natura:Posada.
- Arcos, M., S. Ávila, S. Estupiñan, A. Gómez. 2005. Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Red de Revistas Científicas de América Latina*. Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Bogotá. Colombia, 3 (4): 69-79.
- Astegiano E., J. Favaro, C. Bouzo. 2001. Estimación del área foliar en distintos cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) utilizando medidas foliares lineales. *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.*, 16 (2): 249-256.
- Bravo, A., A. Mejía, G. Ramírez, M. Herradora, J. Pablos, R. Martínez. 2008. Evaluación del suministro de agua residual tratada por separación-sedimentación-filtración en la salud de cerdos destetados. *Laboratorio de Bacteriología. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM. México: 287-302.*
- Casares, E. 1981. Producción de Hortalizas. 3ra edición. San José Costa Rica.
- Cebula, S. 1995. Optimization of plant and shoot spacing in greenhouse production of sweet pepper. *Acta Hort.* 412: 321-329.
- Cisneros, O y J. González. 2001. Reuso del agua en invernadero. *Memorias del XI Congreso Nacional de Irrigación, Guanajuato, México: 55-60*
- Coombs J. and D. Hall. 1982. Whole Plant Photosynthesis and Productivity. In: *Techniques in Bioproductivity and Photosynthesis*. Pergamon Press, Oxford. Pag. 171.
- Crespi, R., O. Plevich, A. Thuar, L. Grosso, C. Rodríguez, D. Ramos, O. Barotto, M. Sartori, M. Covinich, J. Boehler. 2005. Manejo de aguas residuales urbanas. Universidad Nacional de Rio Cuarto. Córdoba. Argentina: 1-23.

- Criollo H. y J. García. 2009. Efecto de la densidad de siembra sobre el crecimiento de plantas de rábano (*Raphanus sativus* L.) bajo invernadero. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto. Colombia, 3 (2): 210-222.
- García, M. 2004. Efecto del agua residual sobre el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Italica* L.). Tesis Licenciatura UAAAN, Saltillo, Coahuila, México.
- Garza, V. 2000. Reuso agrícola de las aguas residuales de Cd. Juárez, (Chih., México). En el Valle de Juárez y su impacto en la salud pública. Revista Salud Pública y Nutrición. Centro de Estudios del Medio Ambiente. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Chihuahua. México: 1-11.
- González, J., J. Delijorge, A. Vázquez. 2001. Recuperación y reutilización de las aguas residuales en la producción agrícola y pecuaria de las zonas áridas. Memorias del XI Congreso Nacional de Irrigación, Guanajuato México.
- González, M. y S. Chiroles. 2010. Uso seguro y riesgos microbiológicos del agua residual para la agricultura. Revista Cubana de Salud Pública. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. La Habana. Cuba, 37(1): 61-73.
- Gutiérrez, J. 2003. Reúso de aguas y nutrientes. Centro de información, gestión y educación ambiental. Revista Medio Ambiente: Pag 41.
- Ihaka, R. and R. Gentleman. 1996. R: A language for data analysis and graphics. Journal of computational and graphical statistics, 5(3): 299-314.
- Jaramillo, J. 2003. Situación actual del agua residual en la ciudad de Saltillo, Coahuila. Tesis Maestría UAAAN, Saltillo, Coahuila, México.
- Jiménez, B. 2001. Contaminación del agua. En: La contaminación ambiental en México. Ed.Limusa. México: pp 33-316.
- Juscáfresa, B. 1968. Hortalizas. S. y V. Ed. Acribia. Zaragoza, España: 553 pp.
- Kestler, P. 2004. Uso, reuso y reciclaje del agua residual en una vivienda. Tesis. Universidad Rafael Landívar. Facultad de Ingeniería Civil Administrativa. Guatemala.

- Kumar, N., V. Krishnamoorthy, L. Nalina, K. Soorianathasundharam. 2002. Nuevo factor para estimar el área foliar total en banano. *INFOMUSA* 11(2): 42-43.
- Lugo, D. 2009. El uso de aguas residuales en la agricultura en México. Ensayo. *Ambiente y Desarrollo*. Bogotá. Colombia, 13(24): 9-28
- Magaña, N. 2009. Reutilización del agua residual tratada en la cervecería del valle S.A. Tesis Licenciatura Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali, Colombia.
- Mara, D. y S. Cairncross. 1989. Guidelines for the safe use of waste water and excreta in agriculture and aquaculture. World Health Organisation.
- Méndez, M., M. Ricardo, J. Pérez, G. Hernández, O. Campos. 2006. Uso de las aguas residuales para el riego de cultivos agrícolas, en la agricultura urbana. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. Universidad Agraria de La Habana. La Habana, Cuba, 15(3): 17-21.
- Montero, S.M., B.K. Singh y R. Taylor. 2006. Evaluación de seis estructuras de producción hidropónica diversificada en el trópico húmedo de Costa Rica. *Tierra Tropical* 2: 27-37.
- Moscoso, J. 1993. Estudio de caso del reuso de aguas residuales en el Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Taller Regional para las Américas sobre Aspectos de Salud, Agricultura y Ambiente vinculados al Uso de las Aguas Residuales. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos, México.
- Moscoso, J. 1995. Aspectos técnicos de la agricultura con aguas residuales. Programa de aguas residuales. Centro panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Organización Panamericana de la Salud (OPS). División de Salud y Ambiente. Lima: 1-15
- Moscoso, J. y G. León. 1994. Uso de aguas residuales. Hojas de Divulgación Técnica 59. Centro panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). San Juan Lima Perú.
- Moscoso, J. y T. Alfaro. 2008. Panorama de Experiencias de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en Lima Metropolitana y Callao. Cuadernos de Agricultura Urbana. Lima. Perú. Pag. 50.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM 127-SSA1-1994 "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO - LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION". Diario Oficial de la Federación. 03 de Febrero de 1995

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REUSEN EN SERVICIOS AL PUBLICO. Diario Oficial de la Federación. 21 de Septiembre de 1998.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PREMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES. Diario Oficial de la Federación el 24 de junio de 1996.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-002-SEMARNAT-1996, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES A LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO URBANO O MUNICIPAL. Diario Oficial de la Federación el 23 de Abril de 2003.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-SEMARNAT-2002, QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA EL APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS Y BIOSÓLIDOS. Diario Oficial de la Federación 18 de Febrero de 2002.

Olalde, V., J. Escalante, P. Sánchez, L. Tijerina, A. Mastache y E. Carreño. 2000. Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido. Terra, 18: 313-323.

Orellana, J. 2005. Características del agua potable. Ingeniería Sanitaria UTN – FRRO. Unidad Temática, 3: 1-7.

Orta, M., M. Rojas, V. Franco, A. Morales. 2006. Aprovechamiento de residuos selectivos y aguas residuales tratadas para cultivos urbanos. Memorias del XXX Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Punta del Este. Uruguay.

Ozores, M. y J. Méndez. 2010. Uso de biosólidos en producción de hortalizas. Departamento de Horticultural Sciences. Universidad de la Florida: 1-11

- Picca, D., R. Crespi, D. Introna, P. Cáceres, J. Puiatti. 2004. Producción de Colza (*Brassica napus*) en seco y bajo riego con aguas residuales. Universidad Nacional del Rio Cuarto. España.
- R Development Core Team. 2007. R: A language and environment for statistical computing, Viena, Austria. <http://www.R-project.org>.
- Ramos, C. 1997. Trabajo presentado en: Fórum Internacional de Horticultura y Tecnología (Fitech), III FITECH - La automatización de la Hidroponía y Fertirrigación, Valencia (España).
- Reynolds, A. 2002. Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica. Identificación del problema. Agua Latinoamericana. Universidad de Arizona. Departamento de Suelos Agua y Ciencias Ambientales. EE, UU.
- Rivas, B., G. Nevárez, R. Bautista, H. Pérez, R. Saucedo. 2003. Tratamiento de aguas residuales de uso agrícola en un biorreactor de lecho fijo. Colegio de Posgraduados. Texcoco, México, 37(2): 157-166.
- Rivera, R., O. Palacios, J. Chávez, M. Belmont, I. Nicolski, M. De la Isla, A. Guzmán, L. Terrazas, R. Carrillo. 2007. Contaminación por Coliformes y helmitos en los ríos Texcoco, Chapingo y San Bernardino tributarios de la parte oriental de la Cuenca del Valle de México. Rev. Internacional de Contaminación Ambiental. México, 23(2): 69-77.
- Rodríguez, A., T. Clavero, R. Razz, C. Cárdenas. 2005. Crecimiento de *Racosperma mangium* Willd en fase de vivero irrigada con aguas residuales. Revista Facultad de Agronomía, Caracas, Venezuela, 22(2): 121-129
- Rosales, N. 2004. Respuesta del Rábano (*Raphanus Sativus* L.), a densidades de siembra y aplicación de sustancias Fúlvicas (K-tionic) y húmicas (Humiplex std.). Tesis Licenciatura UAAAN, Saltillo, Coahuila, México.
- Rosegrant, M., X. Cai, S. Cline. 2002. Panaroma global del agua hasta el año 2025. Como impedir una crisis inminente. Instituto Internacional de Investigación Sobre Políticas Alimentarias. Washintong, D.C., EE.UU.
- Salazar, M. 2009. Sistemas Integrales de Tratamiento de aguas residuales, mediante el uso combinado de digestión anaerobia y microalgas. Departamento de Biotecnología. UAM. Iztapalapa. México: 16-22.
- Segura, M., E. Martín, J. Contreras. 2006. Reutilización de aguas residuales urbanas para la horticultura. Revista Horticultura: 16-19.

- Segura, M., J. De la Peña, E. Martín, M. Granado, J. Pérez, M. Lao. 2004. Fertirrigación de Judía utilizando agua residual depurada y desinfectada con ozono. Resúmenes Divulgativos de Proyectos de Investigación. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Almería. España, 17: 1-9.
- Silva, J., P. Torres, C. Madera. 2008. Reuso de aguas residuales domesticas en agricultura. Una revisión Agronomía Colombiana. Universidad Nacional Colombiana, 26(2): 347-359.
- Tozzi, F., G. Fasciolo, G. Ernesto. 2004. Desarrollo de malezas en cultivos regados con efluentes domésticos tratados. Rev. FCA UNCuyo. Mendoza. Argentina. 36(2): 31-37.
- UNESCO. 2003. Agua para todos, agua para la vida. Resumen. Informe de las Naciones Unidas para el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. París: UNESCOWWAP.
- Utria, E., J. Cabrera, I. Reynaldo, D. Morales, A. Fernández, E. Toledo. 2008. Utilización agraria de los biosólidos y su influencia en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Revista Chapingo Serie Horticultura, 14: 33-39
- Veliz, E., J. Llanes, L. Fernández, M. Bataller. 2008. Reuso de aguas residuales domesticas para riego agrícola. Valoración crítica. Reseña Analítica. Revista CENIC Ciencias Biológicas. La habana. Cuba, 40: 35-44.
- Viloria, A., L. Arteaga y H. Rodríguez. 1998. Efecto de la distancia de siembra en las estructuras de la planta de pimentón. Agronomía Tropical, 48(4): 413-423.

## **IX. APÉNDICES**

Apéndice 9.1. Resultados medidos de las variables evaluadas.

<b>Tratamientos</b>	<b>Repetición</b>	<b>Peso Fresco Raíz (g)</b>	<b>Área Foliar (cm<sup>2</sup>)</b>
T1	R1	12.783	112.174
T1	R2	2.749	59.388
T1	R3	12.030	125.764
T1	R4	10.312	96.780
T1	R5	5.108	70.980
T1	R6	6.365	91.939
T1	R7	8.154	95.652
T1	R8	12.514	155.532
T1	R9	8.771	117.192
T1	R10	18.220	110.097
T1	R11	3.010	75.256
T1	R12	9.878	75.080
T1	R13	9.392	96.324
T1	R14	12.687	110.880
T1	R15	14.206	108.620
T1	R16	9.091	62.309
T1	R17	5.762	64.582
T1	R18	6.609	63.210
T1	R19	7.078	98.801
T1	R20	9.004	92.553
T2	R1	10.508	101.954
T2	R2	19.267	82.222
T2	R3	7.907	154.693
T2	R4	7.305	82.486
T2	R5	8.653	70.772
T2	R6	10.532	79.755
T2	R7	7.696	74.418
T2	R8	6.567	95.167
T2	R9	6.322	58.805
T2	R10	3.920	81.080
T2	R11	7.413	74.013
T2	R12	2.070	66.740
T2	R13	6.039	93.290
T2	R14	6.372	81.690
T2	R15	6.327	48.198
T2	R16	0.561	36.978
T2	R17	0.349	15.545
T2	R18	0.340	15.670
T2	R19	1.543	6.824
T2	R20	0.130	9.640

Tratamientos	Repetición	Peso Fresco Raíz (g)	Área Foliar (cm <sup>2</sup> )
T3	R1	22.098	141.978
T3	R2	12.600	102.164
T3	R3	11.087	134.185
T3	R4	7.288	122.180
T3	R5	8.480	112.900
T3	R6	12.118	123.580
T3	R7	16.079	144.378
T3	R8	18.536	114.778
T3	R9	10.723	141.663
T3	R10	3.585	50.075
T3	R11	11.054	101.058
T3	R12	10.044	87.075
T3	R13	9.733	103.450
T3	R14	8.927	94.515
T3	R15	7.694	111.830
T3	R16	18.675	124.510
T3	R17	8.129	85.070
T3	R18	10.044	109.620
T3	R19	6.034	88.140
T3	R20	15.929	161.783
T4	R1	16.596	129.378
T4	R2	8.403	104.413
T4	R3	7.603	163.370
T4	R4	7.650	145.433
T4	R5	12.104	184.914
T4	R6	8.462	122.534
T4	R7	5.874	94.600
T4	R8	12.950	163.789
T4	R9	11.791	180.168
T4	R10	10.059	187.194
T4	R11	18.918	218.153
T4	R12	20.461	218.435
T4	R13	16.155	204.115
T4	R14	18.046	305.015
T4	R15	8.205	194.946
T4	R16	6.138	130.139
T4	R17	8.918	137.915
T4	R18	12.669	178.243
T4	R19	9.596	117.747
T4	R20	6.976	145.415

Apéndice 9.2. Diferencias entre medias de tratamientos mediante la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

Variable	Tratamientos	Diferencias	P-value
<b>Peso raíz</b>	T2-T1	-1.38376116	0.0405391
	T3-T1	0.78266327	0.4231298
	T4-T1	0.77028575	0.4373792
	T3-T2	2.16642443	0.0003527
	T4-T2	2.15404691	0.0003844
	T4-T3	-0.01237752	0.9999948
<b>Área foliar</b>	T2-T1	-5.753490	0.0211322
	T3-T1	3.249509	0.3466947
	T4-T1	11.650200	0.0000004
	T3-T2	9.003000	0.0000873
	T4-T2	17.403691	0.0000000
	T4-T3	8.400691	0.0002713

T1: Agua Potable (Testigo)

T2: Residual doméstica tratamiento anaerobio UAAAN (ARDTANA)

T3: Residual doméstica UAAAN (ARD)

T4: Residual doméstica tratamiento aerobio UAdeC (ARDTAE)