

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Evaluación de Soluciones Nutritivas Steiner Elaboradas con Efluentes Residuales
en el Cultivo del Rábano (*Raphanus sativus* L.)

Por:

CANDELARIO GONZÁLEZ MOCTEZUMA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Abril del 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Evaluación de Soluciones Nutritivas Steiner Elaboradas con Efluentes Residuales
en el Cultivo del Rábano (*Raphanus sativus* L.)

Por:

CANDELARIO GONZÁLEZ MOCTEZUMA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



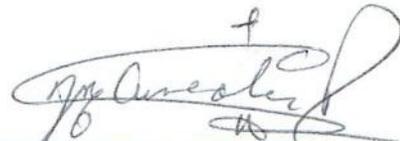
Dra. Silvia Yudith Martínez Amador

Asesor Principal



Dra. Iveth Dalila Antonio Carmona

Coasesor



Dra. Fabiola Aureoles Rodríguez

Coasesor

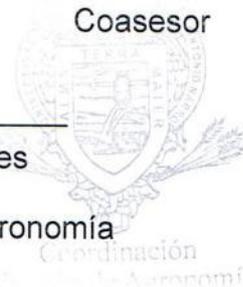


Dr. Gabriel Gallegos Morales

Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Abril del 2017



DEDICATORIAS

A dios

Por ser mi fortaleza durante toda mi vida, especialmente porque me permitió terminar mi carrera iluminando mi camino en cada paso.

A mis padres

Cirila Moctezuma Pérez y Faustino González Pérez, con mucho amor y cariño por formarme como hombre y por haberme inculcado buenos valores e instruirme durante todo mi trayecto para que lograra terminar mi carrera y sobre todo por darme la enseñanza de que con esfuerzo las cosas se pueden lograr.

A mis hermanos

María Concepción González, Jesús Abraham González, Guadalupe González y José González, por brindarme su apoyo para terminar mis estudios, por ser incondicionales conmigo y por ayudarme a cumplir mi meta.

A mis tíos

Rafael Moctezuma, Cornelio González, Ignacio Elías, que me guiaron e impulsaron para continuar con mis estudios y por todo el apoyo brindado en el trayecto de mi carrera.

A mis primos

Asarí Elías, Ismael Moctezuma y Rafael Moctezuma por sus consejos y por dedicar un poco de su tiempo para instruirme por un buen camino.

A mi novia

Claudia Mata Vera, por ser incondicional conmigo, por todo el apoyo que me brindó durante el trayecto de mi carrera, por darme siempre un empujón para lograr lo mejor. Por todo el amor y cariño que me brindaste, muchas gracias.

AGRADECIMIENTOS

A dios

Por haberme iluminado durante todo mi camino y por ser mi consuelo en los momentos difíciles.

A mis amigos

Sabas, Erik, Ángeles, Piki y Koy por compartir buenos momentos tanto dentro como fuera de la escuela y por haberme apoyado para que pudiese llegar en donde ahora estoy, gracias.

A mis asesores

Principalmente a la Dra. Silvia Yudith Martínez Amador y la Dra. Iveth Dalila Antonio Carmona por darme la oportunidad de ser parte de su trabajo de investigación, además por sus enseñanzas para que concluyera con mi trabajo de la mejor manera.

A la Dra. Fabiola Aureoles Rodríguez por brindarme su ayuda, colaboración, orientación, comentarios y por todo el tiempo invertido muchas gracias.

A los doctores

Rubén López, Leobardo Bañuelos, Marcelino Cabrera por toda la enseñanza que me dieron dentro de las aulas así como también fuera de ellas para poder crecer como persona y desenvolverme en el medio profesional.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Quien me dio cobijo durante todo este tiempo, por facilitarme todas las herramientas para trabajar y por abrirme sus puertas para que me formara profesional y personalmente dentro de ella.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
INDICE GENERAL.....	III
INDICE DE TABLAS.....	V
INDICE DE FIGURAS.....	VI
RESUMEN.....	VIII
I. INTRODUCCION.....	1
Objetivo general.....	2
Hipótesis.....	2
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1 Importancia del agua para el riego.....	3
2.1.1 situación en México.....	3
2.1.2 Reusó de agua residual en la agricultura.....	3
2.1.3 perspectiva.....	5
2.1.4 Uso de las aguas residuales en los cultivos hortícolas.....	6
2.1.5 Origen de las aguas residuales utilizadas en cultivos de hortalizas.....	7
2.1.6 Tipos de agua utilizada en el riego de hortalizas.....	7
2.2. Calidad de las hortalizas regadas con agua residual.....	8
2.3 Uso de agua residual y medio ambiente.....	8
2.4. Solución nutritiva.....	9
2.4.1 Ventajas y desventajas de la hidroponía.....	10
III. MATERIALES Y METODOS.....	11
3.1. Ubicación del experimento.....	11
3.2. Condiciones climáticas.....	11

3.3. Material vegetal.....	11
3.4. Diseño experimental.....	11
3.4.1 Análisis estadístico realizado.....	12
3.5. Análisis de agua.....	12
3.6. Fertilizantes empleados.....	13
3.7. Procedimiento.....	13
3.8. Variables evaluadas.....	15
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
4.1. Altura de planta.....	18
4.2. Diámetro del tallo.....	19
4.3. Numero de hojas.....	20
4.4. Longitud de raíz.....	20
4.5. Diámetro polar y ecuatorial.....	21
4.6. Peso de raíz.....	22
4.7. Peso fresco de planta.....	23
4.8. Peso seco de planta.....	24
4.9. Área foliar.....	25
4.10. Altura total de planta.....	26
V. CONCLUSIÓN.....	31
VI. LITERATURA CITADA.....	32
VII. APÉNDICE.....	38

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Formación de tratamientos.....	12
Tabla 2. Fertilizantes añadidos en la solución nutritiva.....	13
Tabla 3. Análisis de las tres fuentes de agua.....	17
Tabla A1. Análisis de varianza de la variable diámetro polar de bulbo obtenido en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con efluentes residuales.....	38
Tabla A2. Análisis de varianza de la variable longitud de raíz obtenido en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con efluentes residuales.....	38
Tabla A3. Análisis de varianza de la variable diámetro ecuatorial obtenido en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con efluentes residuales.....	38
Tabla A4. Análisis de varianza de la variable peso de raíz obtenido en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con efluentes residuales.....	38
Tabla A5. Análisis de varianza de la variable peso fresco de planta obtenido en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con efluentes residuales.....	39
Tabla A6. Análisis de varianza de la variable peso seco de planta obtenido en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con efluentes residuales.....	39
Tabla A7. Análisis de varianza de la variable área foliar de planta obtenido en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con efluentes residuales.....	39
Tabla A8. Análisis de varianza de la variable altura total de planta obtenido en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con efluentes residuales.....	39
Tabla A9. Análisis de varianza de la variable altura de planta obtenido en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con efluentes residuales.....	40
Tabla A10. Análisis de varianza de la variable diámetro del tallo obtenido en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con efluentes residuales.....	40
Tabla A11. Análisis de varianza de la variable número de hojas obtenido en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con efluentes residuales.....	40
Tabla 4. Significancia de los tratamientos.....	41

Figura 1. Comportamiento de la variable altura de planta en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con tres tipos de agua. SSAP=solución Steiner elaborada con agua potable, SSART= solución Steiner elaborada con agua residual tratada y SSARC=solución Steiner elaborada con agua residual cruda.....	18
Figura 2. Comportamiento de la variable diámetro de tallo en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con tres tipos de agua. SSAP=solución Steiner elaborada con agua potable, SSART= solución Steiner elaborada con agua residual tratada y SSARC=solución Steiner elaborada con agua residual cruda.....	19
Figura 3. Comportamiento de la variable número de hojas en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con tres tipos de agua. SSAP=solución Steiner elaborada con agua potable, SSART= solución Steiner elaborada con agua residual tratada y SSARC=solución Steiner elaborada con agua residual cruda.....	20
Figura 4. Efecto de la aplicación de tres soluciones Steiner en la variable longitud de raíz en el cultivo de rábano. SSAP=solución Steiner elaborada con agua potable, SSART= solución Steiner elaborada con agua residual tratada y SSARC=solución Steiner elaborada con agua residual cruda.....	21
Figura 5. Efecto de la aplicación de tres soluciones Steiner en las variables diámetro ecuatorial y polar del bulbo en el cultivo de rábano. SSAP=solución Steiner elaborada con agua potable, SSART= solución Steiner elaborada con agua residual tratada y SSARC=solución Steiner elaborada con agua residual cruda.....	22
Figura 6. Efecto de la aplicación de tres soluciones Steiner en la variable peso fresco de raíz en el cultivo de rábano. SSAP=solución Steiner elaborada con agua potable, SSART= solución Steiner elaborada con agua residual tratada y SSARC=solución Steiner elaborada con agua residual cruda.....	23
Figura 7. Efecto de la aplicación de tres soluciones Steiner en la variable peso fresco de planta en el cultivo de rábano. SSAP=solución Steiner elaborada con agua potable, SSART= solución Steiner elaborada con agua residual tratada y SSARC=solución Steiner elaborada con agua residual cruda.....	24
Figura 8. Efecto de la aplicación de tres soluciones Steiner en la variable peso seco de planta en el cultivo de rábano. SSAP=solución Steiner elaborada con agua potable, SSART= solución Steiner elaborada con agua residual tratada y SSARC=solución Steiner elaborada con agua residual cruda.....	25

Figura 9. Efecto de la aplicación de tres soluciones Steiner en la variable área foliar en el cultivo de rábano. SSAP=solución Steiner elaborada con agua potable, SSART= solución Steiner elaborada con agua residual tratada y SSARC=solución Steiner elaborada con agua residual cruda.....26

Figura 10. Efecto de la aplicación de tres soluciones Steiner en la variable altura total de planta en el cultivo de rábano. SSAP=solución Steiner elaborada con agua potable, SSART= solución Steiner elaborada con agua residual tratada y SSARC=solución Steiner elaborada con agua residual cruda.....27

RESUMEN

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 hace imperante la necesidad de aplicar métodos alternativos de producción agrícola. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el comportamiento de tres soluciones nutritivas Steiner elaboradas con tres tipos de agua (agua potable, agua residual tratada y agua residual cruda) en el cultivo de rábano. El experimento se realizó en el invernadero número uno del Departamento de Horticultura y en el laboratorio de biología del departamento de botánica de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila. Para ello se utilizó un diseño de bloques al azar con tres tratamientos y 4 repeticiones por tratamiento, donde cada tratamiento estuvo conformado por un bloque con 21 plantas. Las variables a evaluar fueron: altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, longitud de raíz, diámetro polar de bulbo, diámetro ecuatorial de bulbo, peso de raíz, peso fresco de planta, peso seco de planta, área foliar y altura total de planta. Así mismo se realizó un análisis químico-biológico del agua residual antes de ser aplicada como riego. Al finalizar el experimento y realizar los análisis de datos, se encontró que para todas las variables evaluadas la solución nutritiva Steiner elaborada con agua residual tratada presentó un comportamiento similar al obtenido con la solución nutritiva elaborada con agua potable, es decir el crecimiento y desarrollo de las plantas de rábano fue aceptable. Por el contrario, las plantas regadas con la solución Steiner elaborada con agua residual cruda presentaron los valores más bajos afectando drásticamente el crecimiento y desarrollo del cultivo. De lo anterior se concluye que el agua residual tratada utilizada en estos experimentos es una alternativa en la producción de rábano en condiciones de invernadero.

Palabras clave: rábano, agua residual tratada, crecimiento, desarrollo

INTRODUCCIÓN

De los recursos naturales existentes, el agua es el más esencial, es el recurso fundamental para todos los procesos vitales en la naturaleza. Este recurso parece abundante a primera vista; de hecho, casi el 70% de la superficie terrestre está cubierto por el líquido elemento (Marcoux, 1994).

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

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). El uso de aguas residuales crudas o parcialmente tratadas empleadas para el riego de cultivos es una práctica milenaria y común en varias regiones del mundo, proporcionando grandes beneficios al suelo y a la productividad agrícola (Silva *et al.*, 2008).

La reutilización de las aguas residuales municipales en la agricultura es una práctica común por muchas razones, no menos importante de los cuales es la escasez de agua, valor nutritivo y la protección del medio ambiente (Silva-Ochoa y Scott 2002; Zulu *et al.*, 1996).

Además de la utilización de efluentes urbanos e industriales para riego se ha vuelto importante en zonas en donde hay escasez de agua. Los efluentes tratados o no, 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).

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el efecto de las soluciones nutritivas Steiner elaboradas con efluentes residuales sobre las variables agronómicas del cultivo del rábano (*Raphanus sativus* L) y comparar su respuesta a la aplicación de los diferentes tratamientos dándole más énfasis al tratamiento de agua residual tratada que es la que nos interesa analizar, para determinar si es factible su uso en riego.

HIPOTESIS

La producción de rábano con una solución nutritiva Steiner elaborada con agua residual tratada proporcionará una respuesta favorable y viable para uso agrícola.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia del agua para riego

El desarrollo del agua es la base de la seguridad alimentaria, el sustento de los pueblos, el crecimiento industrial y la sostenibilidad ambiental en el todo el mundo.

En 1995, en el mundo se extrajeron 3,906 km³ de agua para dichos fines. Se ha proyectado que para el año 2025 la extracción de agua para diversos usos (doméstico, industrial, ganadero) habrá aumentado en al menos un 50%, esto limitará gravemente la extracción de agua para riego, que aumentará solamente un 4%, lo que restringirá a su vez la producción de alimentos (Rosegrant *et al.*, 2002).

El sector agrícola es el mayor consumidor de agua en la mayoría de los países, utiliza más del 80% de toda el agua extraída y desde 1950 el área de riego mundialmente se ha incrementado al triple, siendo esto de importancia ya que actualmente, casi la mitad del alimento a nivel mundial se produce en solo el 18% de las tierras regadas (Arreguín *et al.*, 1999).

2.1.1 Situación en México

Los recursos hídricos en México, al igual que en el resto del mundo, se encuentran bajo una creciente presión. El crecimiento demográfico, la urbanización y el incremento en el consumo de agua en los hogares, la agricultura y la industria, han aumentado significativamente el uso global del agua. Este desarrollo conduce a la escasez y perjudica gravemente el avance hacia el logro de los Objetivos del Milenio.

2.1.2 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, 2002).

La reutilización del agua residual depurada se basa, esencialmente, en aprovecharla como agua de riego y/o como agua de recarga con objeto de incrementar los recursos hídricos de un sistema acuífero. Esta reutilización puede evitar muchos de los problemas que ocasiona el vertido de estas aguas en cauces superficiales o en el mar, como son riesgos sanitarios, cambios en las características organolépticas, eutrofización, etc.

Además se puede conseguir que los recursos hídricos convencionales se dediquen a cubrir aquellas demandas que exigen una calidad más elevada del agua.

En la mayoría de estudios realizados sobre reutilización del agua residual se presta mayor atención a su uso como agua de riego (FOSTER et al. 1994; MUJERIEGO et al. 1996 y ASANO; LEVINE, 1996), ya que, en comparación con otros tipos de aplicaciones, requiere en muchos casos un nivel de calidad menos estricto lo cual implica, a su vez, que el nivel de depuración que se debe alcanzar durante el tratamiento no sea tan elevado.

Según De la Peña *et al.*, (2013) la Situación a nivel de los estados A nivel regional la situación varía ampliamente. Los estados del norte cuentan con los niveles más altos del país, donde Aguascalientes y Nuevo León presentan niveles de tratamiento del 100%, siguiendo Baja California con 93%, Nayarit con 90.7%, Tamaulipas con 85.6% y Chihuahua, Sinaloa y Guerrero con más de 75%. Por el contrario, las coberturas más bajas las presentan Yucatán y Campeche tratando sólo un 3% y 7% respectivamente, mientras que en el centro del país el Distrito Federal registra una cobertura de alrededor del 15%.

A través de diversos Programas Federales de Saneamiento se está promoviendo el reúso de las aguas residuales tratadas en actividades distintas de la agricultura y en los últimos años se han publicado dos normas oficiales mexicanas vinculadas con la infiltración de agua a los acuíferos (NOM-015-CONAGUA-2007 y NOM-014-CONAGUA-2003), a fin de contribuir con la recarga artificial de aquellos que se encuentra sobreexplotados en el país.

2.1.3 Perspectiva

Actualmente se generan 6.7 miles de millones de metros cúbicos de aguas residuales al año, y se espera que este volumen aumente a 9.2 miles de millones de metros cúbicos en 2030. En 2012 la cobertura nacional de tratamiento de aguas residuales fue de 47.5%, lo que significa el 52.5% de las aguas residuales colectadas. De acuerdo al PROMARNAT se espera que para el año 2018 la cobertura sea de 63%.

Además, la aplicación del agua depurada en el terreno supone una fase más del tratamiento de depuración del agua residual ya que al infiltrarse el agua a través de la zona no saturada se producen numerosos procesos tanto físicos, químicos como biológicos que dan lugar a la disminución de su carga contaminante (ESTELLER et al. 2001).

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 a los cambios climáticos, de ahí que el reúso 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 por ciento 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 reusó 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).

2.1.4 Uso de las aguas residuales en los cultivos hortícolas

El agua residual es considerada como un recurso importante que se puede utilizar para riego agrícola, el uso del agua tratada y su tipo de tratamiento determina la calidad de la misma y a la vez tiene un efecto sobre las propiedades biológicas del suelo demostrado en un estudio realizado en la Llanura de Coro, Venezuela (Ramón *et al.*, 2009).

En México sólo un bajo porcentaje de aguas residuales son tratadas adecuadamente y son utilizadas para riego agrícola sin un tratamiento previo, esto representa un serio peligro para la salud humana y de los animales debido al contenido de materia orgánica e inorgánica contaminante (Rivas *et al.*, 2003).

En San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez, algunos productores utilizan el agua residual provenientes de descargas domésticas e industriales para el riego de la zona agrícola periurbana en la cual incluyen los cultivos de hortalizas con una extensión aproximada de 5000 ha en total (Sarabia *et al.*, 2011).

2.1.5 Origen de las aguas residuales utilizadas en cultivos de hortalizas

Ortega y Orellana (2007), mencionan que las ciudades y los centros de cría de animales son fuentes de aguas negras, y se caracterizan por un alto poder contaminante de heces fecales. Estudios realizados en la región atlisquense del estado de Puebla señalan que el agua contaminada de ríos, manantiales y pozos es calificada como agua residual que genera problemas, en forma directa o a través de la cadena trófica, y por las fuentes de generación, se define como la combinación de líquidos procedentes de residencias, instituciones públicas, establecimientos industriales y comerciales (Silva *et al.*, 2002).

El agua de origen urbano es generada por el incremento de la población, se infiltra a los mantos acuíferos y los contamina, como es el caso del Estado de San Luis Potosí que al no tener suficiente agua limpia emplean agua de origen urbano para el riego de hortalizas de los mercados urbanos (Contreras y Galindo, 2008).

2.1.6 Tipos de agua utilizada en el riego de hortalizas

Fasciolo *et al.* (2005), hicieron referencia sobre la importancia del uso de efluentes domésticos e industriales en la agricultura ya que cobra mayor importancia día a día debido a la creciente escasez hídrica en las regiones áridas del mundo,

pero también hacen referencia a que contienen microorganismos que pueden llegar a ser patógenos, y de acuerdo con un estudio hecho en el cultivo de ajo al analizar los resultados se considera que los ajos pueden ser aceptables para consumo crudo. Silva *et al.* (2008), proponen el aprovechamiento de aguas residuales domésticas crudas, diluidas o tratadas como un recurso alternativo, hacen énfasis sobre el someter este tipo de agua a un tratamiento antes de su utilización, y tener en cuenta los requerimientos del cultivo a irrigar y el tipo de suelo.

Segura *et al.* (2006), destacan la importancia del agua en la agricultura de zonas áridas y semiáridas, como es el caso de Almería, que depende casi exclusivamente del riego, convirtiendo a las aguas residuales municipales en una importante fuente de abastecimiento que puede compensar en parte a esta limitación y utilizarla en el riego de hortalizas.

2.2. Calidad de hortalizas regadas con agua residual.

Los cultivos presentan distintos tipos de peligros a la salud tomando en cuenta el uso del cultivo, el tiempo que pasó entre la cosecha y el consumo y el proceso que sigue a la cosecha. Aquellos que son consumidos sin cocer, pelar u otro proceso poseen ser los más peligrosos. Además, las áreas de riego de paisaje a los cuales el ser humano está frecuentemente expuesto, tales como parques y césped, poseen un peligro alto de transferir patógenos a los humanos (Trooieny Hills, 2007).

Agua Residual Tratada

Las aguas residuales tratadas son aquellas que mediante procesos individuales o combinados de tipos físicos, químicos, biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reusó en servicios al público (NOM-003SEMARNAT-1997).

2.3. 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 nutrientes que contribuyen al rendimiento de los cultivos o plantaciones. Este reciclaje de agua contribuye notoriamente al desarrollo sostenible que en la actualidad es tan añorado. 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 reusó 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).

2.4. Solución nutritiva

Hidroponía es la técnica de producción o cultivo sin suelo, en la cual se abastece de agua y nutrientes a través de una solución nutritiva completa y brindándole las condiciones necesarias para un mejor crecimiento y desarrollo de la planta.

La SN consiste en agua con oxígeno y los nutrimentos esenciales en forma iónica. Algunos compuestos orgánicos como los quelatos de fierro forman parte de la SN (Steiner, 1968).

En hidroponía, las necesidades nutrimentales que tienen las plantas son satisfechas con los nutrimentos que se suministran en la SN.

En los cultivos sin suelo se puede dar o establecer cualquier relación de iones y cualquier concentración total de sales, siempre que no supere los límites de precipitación para ciertas combinaciones de iones. Así, la selección de la concentración de una solución nutritiva debe ser tal que el agua y los iones totales sean absorbidos por la planta en la misma proporción en la cual están presentes en la solución (Steiner, 1968).

2.4.1 Ventajas y desventajas de la hidroponía

Ventajas técnicas de la hidroponía:

- Balance ideal de agua, oxígeno y nutrientes.
- Control eficiente y fácil del pH y la salinidad.
- Ausencia de malezas.
- Ausencia de plagas y enfermedades en la raíz, al menos inicialmente.
- Eficiencia y facilidad de esterilización.

Ventajas económicas de la hidroponía:

- Mayor calidad en los productos cosechados.
- Mayor uniformidad en la cosecha.
- Ahorro en agua y fertilizantes por kilogramos producido.
- Se puede usar agua dura o de cierta salinidad.
- Posibilidad de varias cosechas al año.
- Altos rendimientos por unidad de superficie.
- Sin la limitante del suelo, puede producirse en cualquier sitio incluyendo los ambientes urbanos.

Desventajas de la hidroponía:

- Inversión inicial elevada.
- Desconocimiento de la técnica.
- Delicada (mucho cuidado con los detalles).
- Falta de equipo e insumos nacionales.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del experimento

La presente investigación se llevó a cabo de Junio a agosto del 2015 en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, localizada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. El trabajo se realizó en dos fases, en el invernadero número uno del Departamento de Horticultura y en el laboratorio de Biología, perteneciente al Departamento de Botánica, ubicado en la misma institución. El invernadero cuenta con una dimensión de 160 m², con una orientación Norte-Sur, estructura de Perfil Tubular Rectangular (PTR) Galvanizada de dos pulgadas, cubierta de polietileno calibre 6000 transparente.

3.2. Condiciones climáticas:

El invernadero cuenta con dos extractores al frente, pared húmeda en la parte posterior, dos calentadores tipo centinela que mantienen la temperatura a 32°C durante el día y 16 a 17°C durante la noche y una humedad relativa máxima de 45%.

3.3. Material vegetal

Para la siembra se utilizó semilla de rábano de la variedad Champion. Esta variedad se desarrolla de forma óptima a una temperatura de entre 18 a 25°C, su color de raíz es de rojo escarlata con forma redonda, cosecha a los 30 días después de la emergencia con un rendimiento promedio de 10 t·ha⁻¹.

3.4. Diseño experimental

Se llevó a cabo un diseño de bloques completamente a azar con cuatro repeticiones por tratamiento donde cada repetición consistió en una charola con 21 plantas y la unidad experimental por una planta. Los tratamientos consistieron en soluciones Steiner preparadas con tres tipos de agua: Agua potable (AP), agua residual tratada (ART) y agua residual cruda (ARC) (Steiner, 1961) (Cuadro 1).

Tabla 1. Formación de tratamientos

Tratamientos	Descripción	Nomenclatura
1	Solución Steiner elaborada con agua potable	SSAP
2	Solución Steiner elaborada con agua residual tratada	SSART
3	Solución Steiner elaborada con agua residual cruda	SSARC

Las soluciones nutritivas se prepararon en contenedores con capacidad de 4.5 L en donde se agregaron las cantidades de fertilizantes requeridas de acuerdo a los tratamientos.

3.4.1 Análisis estadístico realizado

Se llevó a cabo un análisis de varianza ($P < 0.05$) y una comparación de medias por Tukey ($P < 0.05$). El paquete estadístico utilizado para realizar los análisis fue el "R".

3.5. Análisis de agua

Los diferentes efluentes de agua fueron sometidos a un análisis. El agua residual cruda se recolectó en el bosque urbano que se encuentra ubicado en lateral fundadores, nuevo centro metropolitano de saltillo, 25022 Saltillo, Coahuila, donde llega la descarga de estas aguas. El agua residual tratada se obtuvo mediante un tratamiento biológico secuencial (anaerobio-aerobio-humedal) del agua residual municipal en el laboratorio.

El análisis de agua se realizó en el laboratorio de análisis agrícolas "Fertilab: Fertilidad de Suelos S. de R.L." ubicado en Celaya, Guanajuato.

3.6 Fertilizantes empleados:

Los fertilizantes empleados fueron: nitrato de potasio, nitrato de calcio, fosfato monopotásico, sulfato de potasio, ácido nítrico, ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, nitrato de magnesio, sulfato de magnesio, cloruro de potasio, ácido fosfórico y Ultrasol micro para adicionar los micronutrientes.

Las soluciones nutritivas se prepararon en contenedores con capacidad de 4.5 L en donde se agregaron las cantidades faltantes de fertilizantes requeridas de acuerdo a los tratamientos (Tabla 2).

Tabla 2. Fertilizantes añadidos en la solución nutritiva.

FERTILIZANTE	SSAP	SSART	SSARC
KNO ₃	0.174 g	0.303 g	0.2103 g
Ca(NO ₃) ₂	0.832 g	0.422 g	0.4885 g
KH ₂ PO ₂	0.127 g	0.088 g	
K ₂ SO ₄	0.443 g	0.273 g	0.1977 g
HNO ₃	0.085 ml	0.339 ml	0.3538 ml
H ₂ SO ₄	0.091 ml		0.2677 ml
HCl	0.034 ml		
Mg(NO ₃) ₂	0.255 g	0.125 g	0.2061 g
Mg SO ₄	0.08 g	0.097 g	
H ₃ PO ₄			0.0032 ml
KCl			0.1482 g
Ultrasol micro	0.0399 g	0.0393 g	0.0374 g

3.7. Procedimiento

En la primera fase de este experimento se prepararon 20.4 kg de sustrato total antes del llenado de las bolsas 80% peat moss con fibra de coco y 20% de perlita, se humedeció hasta alcanzar el nivel máximo de saturación y se dejó durante un día antes del llenado de las bolsas, se analizó el pH, haciendo la prueba con 50 ml del sustrato, al cual se le agregó 100 ml de agua destilada, se mezcló muy bien, se dejó reposar 30 minutos y se pasó por un colador, después de esto se

obtuvo como resultado un pH de 4.9 se hizo un ajuste, con la aplicación de 6.4g de bicarbonato de sodio, se volvió a tomar el dato y el pH final fue 5.59 con una conductividad eléctrica de 0.384 dS/m; se utilizaron un total de 28 bolsas de polietileno color negro por tratamiento con capacidad de 1kg, posteriormente se llenaron con 850 g de sustrato c/u, se colocaron 3 semillas por bolsa y se acomodaron en cajones con un diseño de bloques completamente al azar, los cuales fueron previamente acondicionados con poliestireno expandido dividiendo en tres secciones c/u y así evitar contaminación. Después del acomodo de las bolsas se aplicó un primer riego con 20 ml de agua destilada para conservar la humedad de cada bolsa.

Los diferentes tratamientos (efluentes) utilizados fueron preparados en un volumen total de 4.5 L, se aplicaron 150 ml por bolsa cada tercer día durante todo el ciclo vegetativo del cultivo de manera manual y directamente al tallo. Se analizó pH y se realizó un ajuste si era necesario.

El raleo y trasplante de plantas fue realizado tres días después de la germinación con el propósito de dejar una planta por maceta. Las malezas fueron removidas a mano cada que se tuvo presencia de éstas. Se registró presencia de mosquita blanca la cual se combatió con la aplicación de una solución con jabón y agua y aplicada con un atomizador de manera localizada.

La cosecha se realizó a los treinta días después de la siembra cuando el cultivo alcanzo su madurez fisiológica, la cual se realizó cuidadosamente para extraer la planta total para posteriormente trasladar al laboratorio se lavó la raíz con agua de la llave para quitar el exceso de tierra y el bulbo y las hojas con agua destilada, se secaron con papel absorbente y por último se midieron las variables que determinaron el rendimiento del cultivo del rábano.

3.8. Variables Evaluadas

Para medir algunas de las variables se usó un método destructivo que consistió en separar cada una de las partes que componen a la planta. La medición de las variables se llevó a cabo en dos etapas, la primera en campo y la segunda en laboratorio, las cuales fueron:

Campo

a. Determinación de altura de planta

Para obtener la altura de planta, se midió cada planta desde la base del tallo hasta el ápice de la hoja con una regla graduada de 30 cm y el resultado se expresó en centímetros. Los datos se tomaron cada tercer día hasta el día 30 cuando se hizo la cosecha.

b. Diámetro del tallo

Para obtener este dato se midió el tallo de cada una de las plantas con un vernier digital y el resultado se expresó en milímetros. Los datos se tomaron cada tercer día hasta el día 30 cuando se hizo la cosecha.

c. Número de hojas

Se realizó un conteo en cada una de las plantas la cantidad de hojas, se contaron todas aquellas que ya contaban con buen tamaño y que ya estaban desarrolladas. Los datos se tomaron cada tercer día hasta el día 30 cuando se hizo la cosecha.

Laboratorio

a. Longitud de raíz

Este dato se obtuvo midiendo con una regla graduada toda la raíz incluyendo la parte comestible. Esta variable se expresó en centímetros.

b. Diámetro polar del fruto

Se hizo la medición del diámetro polar con un vernier digital y el resultado se expresó en milímetros.

c. Diámetro ecuatorial del fruto

Se tomó la medición de diámetro ecuatorial igual al anterior, con un vernier digital y el resultado se expresó en milímetros.

d. Peso de raíz

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

e. Peso fresco de planta

Se obtuvo el peso total de la planta en fresco usando una balanza analítica modelo AND GR 120. Esta variable se expresó en gramos.

f. Peso seco de planta

El peso seco se obtuvo después de haber secado por completo las hojas en la estufa. Se obtuvo el peso seco de planta usando una balanza analítica modelo AND GR 120. La variable se expresó en gramos.

g. Área foliar

El área foliar se determinó usando las hojas verdes con un medidor de área foliar modelo LI-3100 marca LI-COR. El área foliar fue expresada en cm².

h. Altura total de planta

Para este dato la medición se hizo desde la base del tallo hasta el ápice de la planta con las hojas totalmente extendidas. Este dato se expresó en centímetros.

Se llevó a cabo un análisis de: Agua potable (AP), Agua Residual Tratada (ART) y Agua Residual Cruda (ARC), la cual arrojó la siguiente información, expresada en la tabla 3.

Tabla 3. Análisis de las tres fuentes de agua.

Tipo de agua	AP	ART	ARC
C.E ds/m	1.13	1.49	1.54
PH	7.94	7.56	7.25
Rel. Ads. Sodio	6.2	3.63	3.82
Rel. Ads. Sodio aj	7.67	5.26	5.28
Ca ppm	39	108	97.2
Mg ppm	16.3	26.8	28.7
Na ppm	18.3	163	167
K ppm	7.41	8.19	25.4
∑ Cationes Meq/l	11.5	15	15.2
SO ₄ ppm	71.6	152	94.6
SHCO ₃ ppm	437	525	683
Cl ppm	77.4	118	82.3
CO ₃ ppm	0	0	0
NO ₃ ppm	3.22	6.16	0.14
∑ Aniones Meq/l	11.1	15.6	15.5
B ppm	0.95	0.29	0.69
Fe ppm	0.0057	0.0501	0.1901
Mn ppm	0.0005	0.0502	0.0311
Cu ppm	0.0094	0.0138	0.0241
Zn ppm	0.0944	0.0697	0.1125
Fosfatos Meq/l	0.07	0.35	0.87
DQO mg/l	0.21	60	699
DBO mg/l	0	10	90
CF	0	16	1000000
Huevos Helminto/ l	0	0	arriba de lo permitido

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Altura de planta

En este experimento al realizar el análisis de varianza y comparación de medias se obtuvo diferencia significativa ($P < 0.05$) para esta variable. Se observó que las plantas de rábano cultivadas en la solución Steiner elaborada con agua potable (SSAP) se comportaron igual estadísticamente a las plantas cultivadas en la solución Steiner elaborada con agua residual tratada (SSART). La altura de planta que alcanzaron en promedio fue de 12.66 y 12.88 cm respectivamente. Las plantas cultivadas en la solución nutritiva con agua residual cruda (SSARC) presentaron en promedio 11.38 cm de altura lo que representó una reducción del 11.64%. En la Figura 1 se observa el comportamiento del cultivo de rábano en los últimos 15 días en relación a la altura de planta. Se observa que en la última semana el tratamiento con la SSART supero a los tratamientos con SSAP y SSARC.

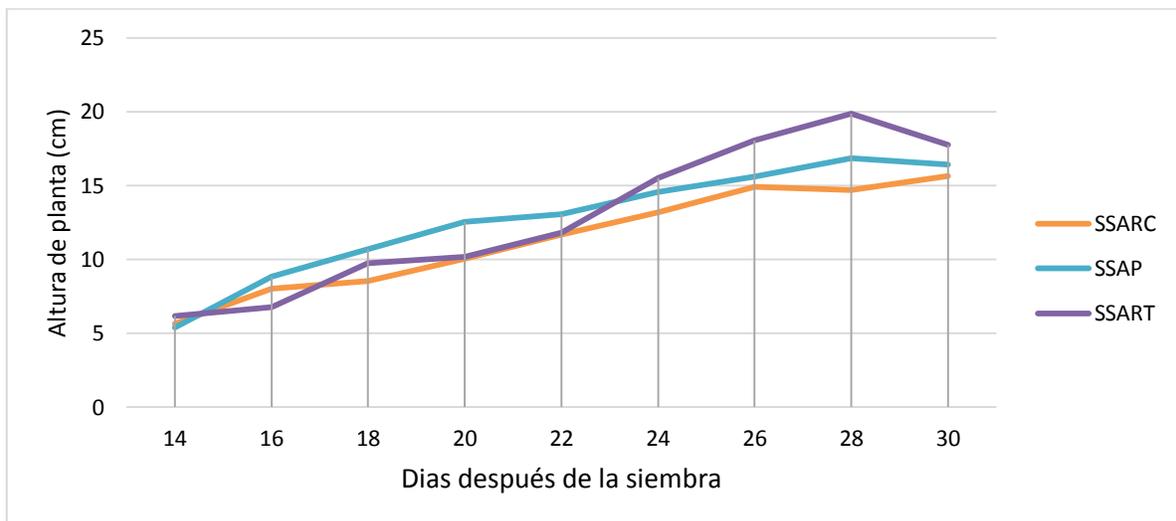


Figura 1. Comportamiento de la variable altura de planta en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con tres tipos de agua. SSAP=solución Steiner elaborada con agua potable, SSART= solución Steiner elaborada con agua residual tratada y SSARC=solución Steiner elaborada con agua residual cruda.

4.2 Diámetro del tallo

Al realizar el análisis de varianza y comparación de medias se pudo encontrar diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los tratamientos. Los tratamientos que mostraron mejor respuesta fueron los de SSAP y SSART en los cuales se pudo apreciar que el comportamiento de los datos obtenidos fue proporcional y de forma constante en relación a los días de crecimiento del cultivo, mostrando valores promedio de 6.56 y 6.54 mm. En el tratamiento de SSARC los valores fueron proporcionales a los días del ciclo, sin embargo después de la mitad de su ciclo se comportó de una forma estable en los cuales ya no se presentó incremento de tamaño y se presentó un valor promedio de 5.25 mm, representando esto una reducción del 20 % en comparación con los otros dos tratamientos (Figura 2).

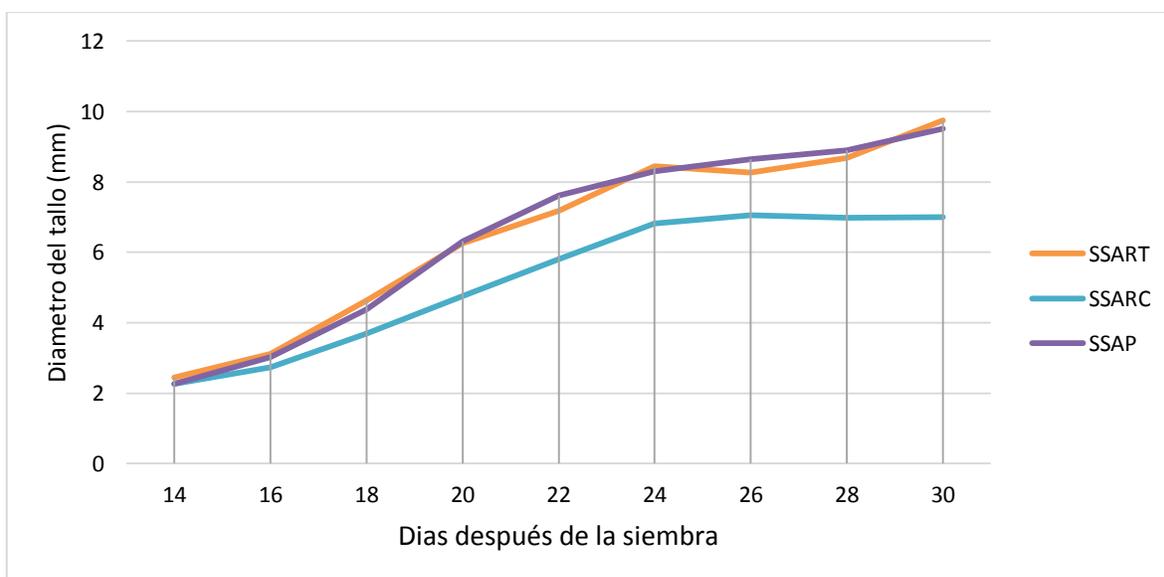


Figura 2. Comportamiento de la variable diámetro de tallo en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con tres tipos de agua. SSAP=solución Steiner elaborada con agua potable, SSART= solución Steiner elaborada con agua residual tratada y SSARC=solución Steiner elaborada con agua residual cruda.

4.3 Número de hojas

En esta variable se presentó diferencia significativa ($P < 0.05$) entre tratamientos. Todos los tratamientos tuvieron un comportamiento proporcional y constante sin embargo los mejores tratamientos fueron los que presentaron las plantas regadas con SSAP y SSART que se comportaron estadísticamente iguales con valores de 4.80 y 4.79 respectivamente. El tratamiento de SSARC también mostro un incremento proporcional y constante durante todo su ciclo, sin embargo no tuvo la misma respuesta que los demás tratamientos y sus plantas desarrollaron con menor vigor con valores promedio de 4.1 representando esto una reducción del 14.6 % en comparación con los otros dos tratamientos (Figura 3).

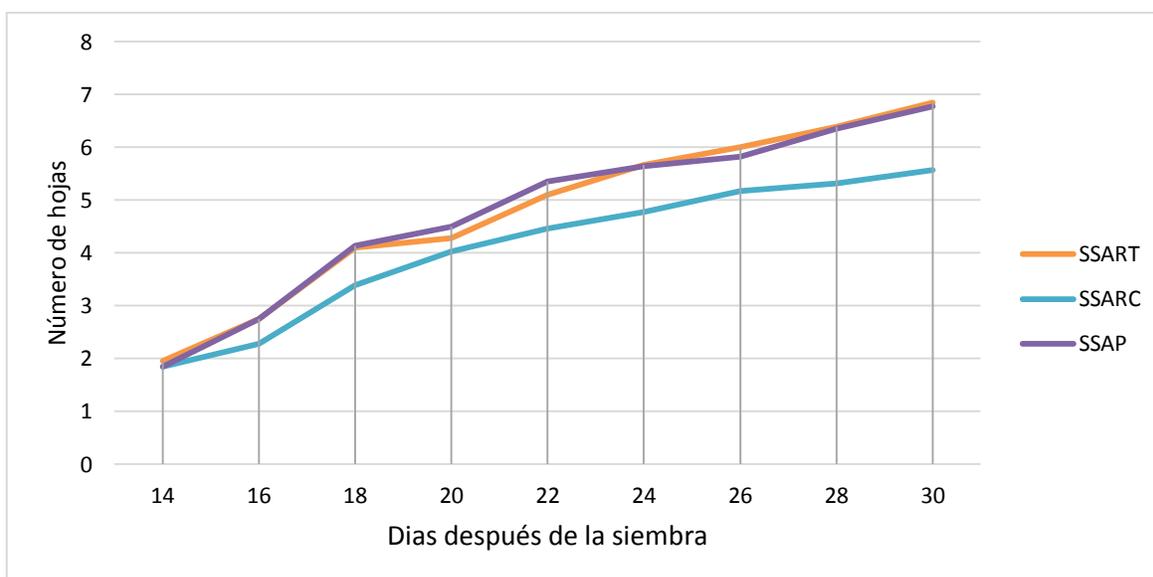


Figura 3. Comportamiento de la variable número de hojas en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con tres tipos de agua. SSAP=solución Steiner elaborada con agua potable, SSART= solución Steiner elaborada con agua residual tratada y SSARC=solución Steiner elaborada con agua residual cruda.

4.4 Longitud de raíz

En esta variable se encontró diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los tratamientos.

Los que mostraron las raíces más largas a los 30 días de haber realizado la siembra

fueron el SSAP y SSART con valores de 16.40 y 16.29 cm para ambos casos. En tanto que, el tratamiento SSARC presento la menor longitud de raíz con 13.59 cm en promedio, representando esto una reducción del 17.16 % en comparación con los otros dos tratamientos (Figura 4).

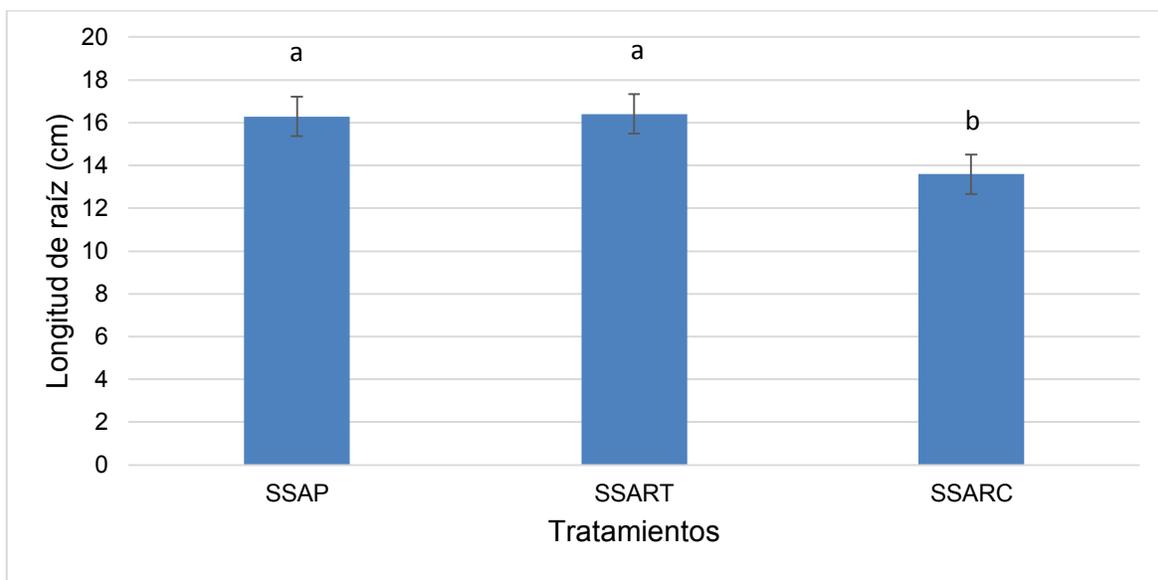


Figura 4. Efecto de la aplicación de tres soluciones Steiner en la variable longitud de raíz en el cultivo de rábano. SSAP=solución Steiner elaborada con agua potable, SSART= solución Steiner elaborada con agua residual tratada y SSARC=solución Steiner elaborada con agua residual cruda.

4.5 Diámetro polar y ecuatorial

Después de haber realizado el análisis de varianza se pudo observar que hubo diferencia significativa ($P < 0.05$). Se observó que las plantas de rábano cultivadas en la SSAP y SSART desarrollaron mayor tamaño de fruto con valores de 33.53 y 33.84 mm para el caso de diámetro polar, 31.99 y 34.06 mm para el diámetro ecuatorial con valores superiores al SSARC que mostro 24.95 y 24.57 mm para ambas variables lo que representa una reducción promedio del 27 % para ambas variables en comparación con los otros tratamientos (Figura 5).

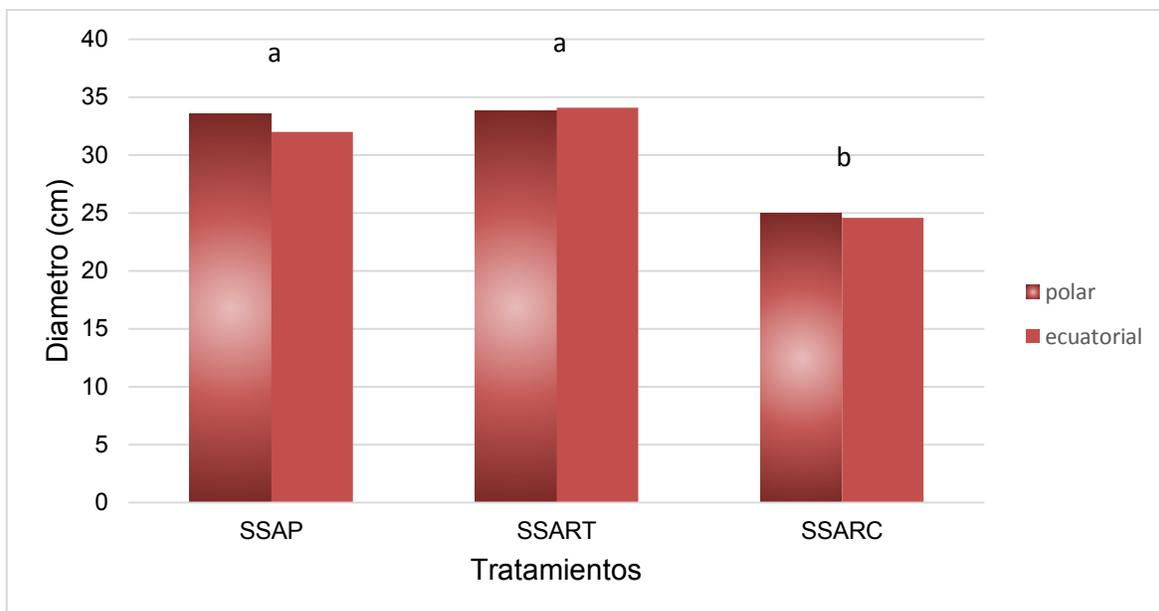


Figura 5. Efecto de la aplicación de tres soluciones Steiner en las variables diámetro ecuatorial y polar del bulbo en el cultivo de rábano. SSAP=solución Steiner elaborada con agua potable, SSART= solución Steiner elaborada con agua residual tratada y SSARC=solución Steiner elaborada con agua residual cruda.

4.6 Peso de raíz

Se pudo encontrar al realizar el análisis de varianza y comparación de medias que en esta variable se encontró diferencia significativa ($P < 0.05$) en esta variable ya que los tratamientos de SSAP y SSART se comportaron de la misma manera estadísticamente con valores de 20.09 y 22.82 g respectivamente. Las plantas con aplicación de SSARC mostro un valor promedio muy bajo de 9.91 g, representando esto una reducción del 54.58 % en comparación con los otros dos tratamientos (Figura 6).

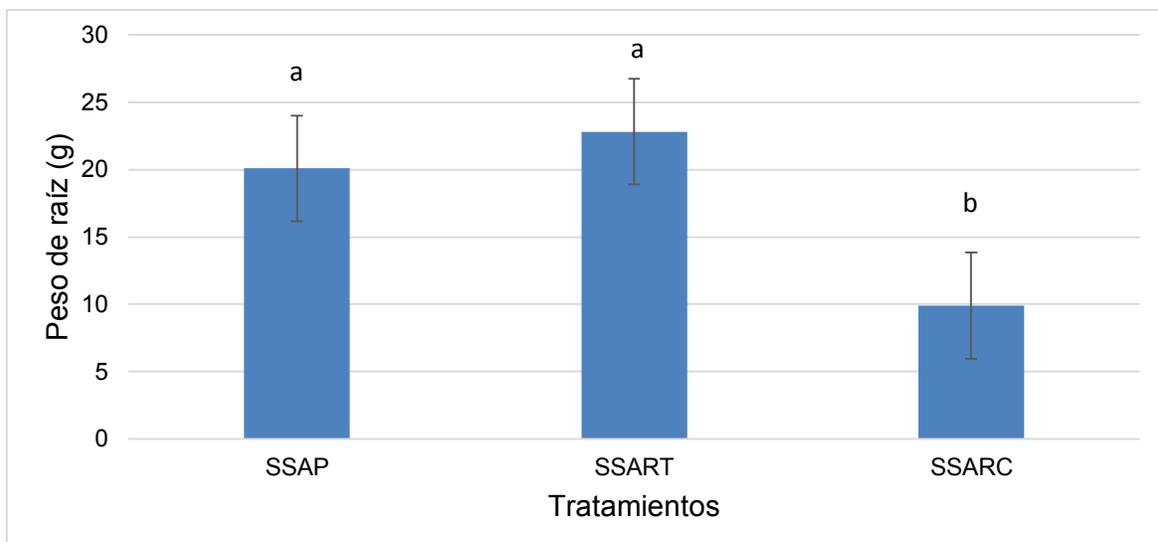


Figura 6. Efecto de la aplicación de tres soluciones Steiner en la variable peso fresco de raíz en el cultivo de rábano. SSAP=solución Steiner elaborada con agua potable, SSART= solución Steiner elaborada con agua residual tratada y SSARC=solución Steiner elaborada con agua residual cruda.

4.7 Peso fresco de planta

Esta variable demostró diferencia significativa ($P < 0.05$) en el análisis de varianza y comparación de medias. Se observó que las plantas que se desarrollaron en la SSAP y SSART alcanzaron mejor peso fresco en todo su ciclo. Se mostraron valores promedio de 20.43 y 22.44 g. Las plantas que se cultivaron en la SSARC reflejaron menor desarrollo y por consiguiente menor peso con un valor promedio de 12.81 g, representando esto una reducción del 42.9 % en comparación con los otros dos tratamientos (Figura 7).

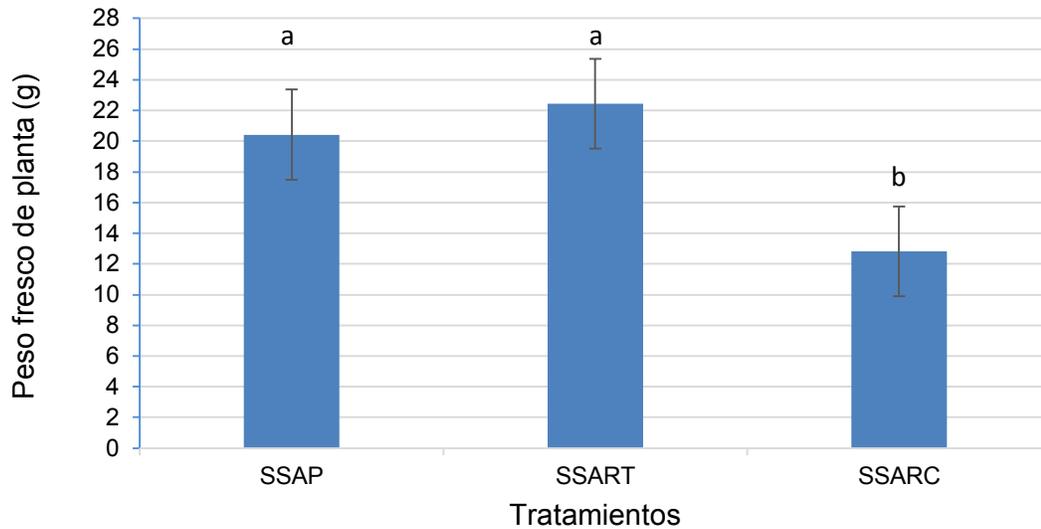


Figura 7. Efecto de la aplicación de tres soluciones Steiner en la variable peso fresco de planta en el cultivo de rábano. SSAP=solución Steiner elaborada con agua potable, SSART= solución Steiner elaborada con agua residual tratada y SSARC=solución Steiner elaborada con agua residual cruda.

4.8 Peso seco de planta

En el análisis de varianza y comparación de medias de esta variable se pudo encontrar diferencia significativa ($P < 0.05$) en los tratamientos de la SSAP y SSART. Se observó que las plantas cultivadas con estos tratamientos presentaron mayor acumulación de biomasa en todo su ciclo con valores promedio de 1.59 y 1.58 g. el tratamiento de SSARC mostro un valor promedio de 0.9978 g, representando esto una reducción del 37.4 % en comparación con los otros dos tratamientos (Figura 8).

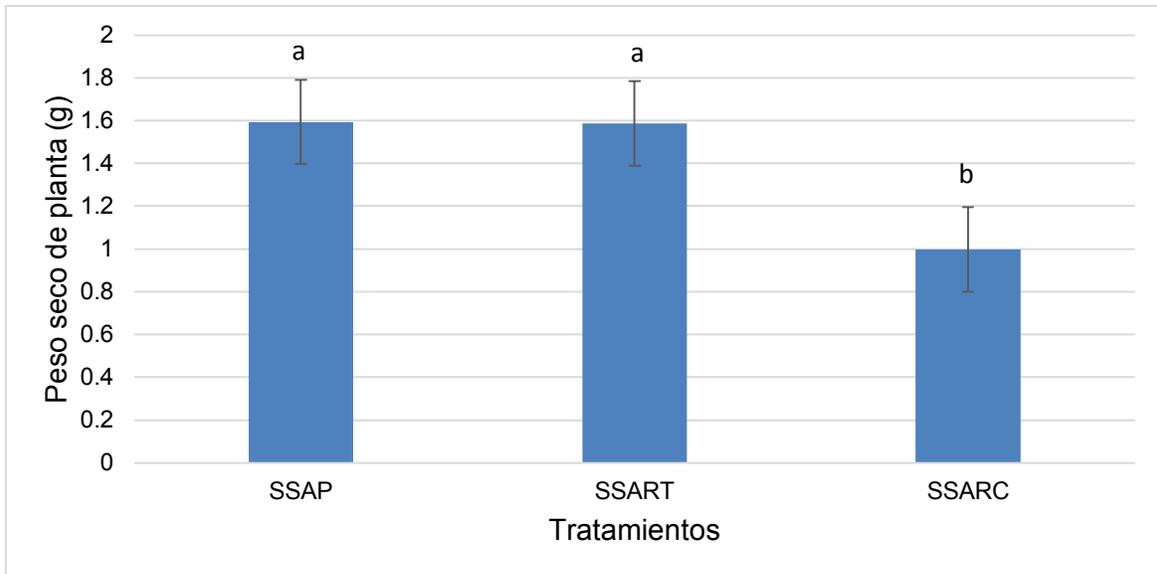


Figura 8. Efecto de la aplicación de tres soluciones Steiner en la variable peso seco de planta en el cultivo de rábano. SSAP=solución Steiner elaborada con agua potable, SSART= solución Steiner elaborada con agua residual tratada y SSARC=solución Steiner elaborada con agua residual cruda.

4.9 Área foliar

Durante el periodo de estudio, el área foliar evidencio un incremento en los tratamientos de SSAP y SSART y se encontró diferencia significativa ($P < 0.05$). En el primer tratamiento se encontró un valor promedio de 394.95 y el segundo fue de 443.71 cm^2 comportándose similar estadísticamente. El menor desarrollo de área foliar se presentó en el tratamiento de SSARC con un valor promedio de 231.41 cm^2 , representando esto una reducción del 47.84 % en comparación con los otros dos tratamientos (Figura 9).

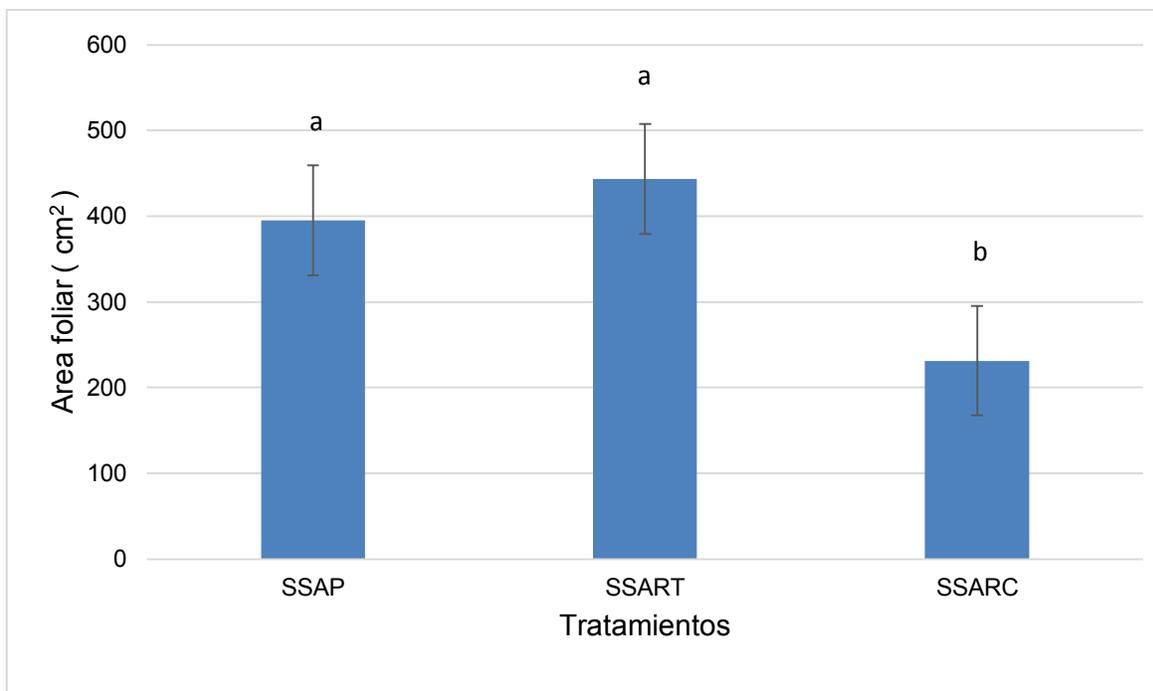


Figura 9. Efecto de la aplicación de tres soluciones Steiner en la variable área foliar en el cultivo de rábano. SSAP=solución Steiner elaborada con agua potable, SSART= solución Steiner elaborada con agua residual tratada y SSARC=solución Steiner elaborada con agua residual cruda.

4.10. Altura total de planta

Esta variable se tomó al término de su ciclo y la cual presento diferencia significativa ($P < 0.05$). Los tratamientos de SSAP y SSART se mostraron mejores evidenciando valores promedio de 23.75 y 24.38 cm, mientras que el tratamiento de SSARC mostro un valor promedio de 20.82 cm, representando esto una reducción del 14.6 % en comparación con los otros dos tratamientos (Figura 10).

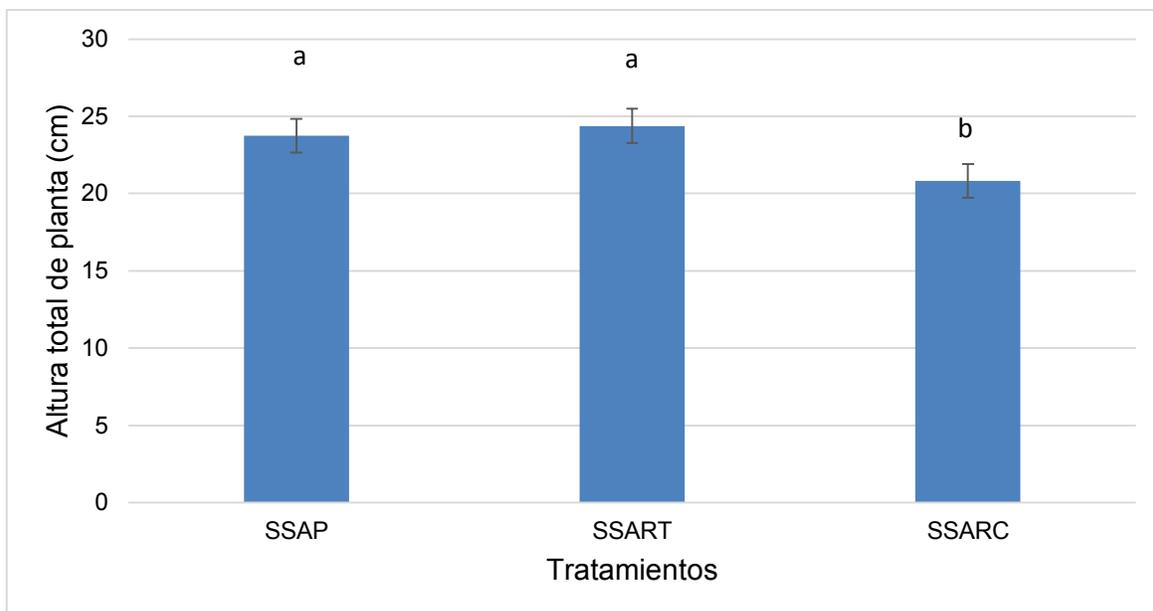


Figura 10. Efecto de la aplicación de tres soluciones Steiner en la variable altura total de planta en el cultivo de rábano. SSAP=solución Steiner elaborada con agua potable, SSART= solución Steiner elaborada con agua residual tratada y SSARC=solución Steiner elaborada con agua residual cruda.

Acosta-Zamorano *et al.* (2013) no encontraron diferencias significativas entre la aplicación de ART y el agua del acuífero.

Zavadil (2009) no obtuvo diferencias significativas en los cultivos de lechuga, rábano y zanahoria al ser cultivados con agua residual tratada y agua obtenida de acuíferos.

Así mismo Navarro-López *et al.* (2010) encontraron que las aguas residuales tratadas favorecieron el color, contenido de sólidos solubles, acidez titulable en un cultivo de tomate rojo hidropónico (hubo reducción del efecto negativo del almacenamiento a bajas temperaturas). Además, obtuvieron una reducción en el tamaño del fruto lo cual afectó los componentes del rendimiento, sin embargo, obtuvieron un mayor número de frutos.

En términos generales en este experimento se obtuvo que todas las variables evaluadas en el cultivo de rábano cultivado con una SSART en invernadero presentaron una respuesta similar a la SSAP. Es decir, el agua residual tratada es una alternativa en la producción agrícola. Esto coincide con lo reportado por Veliz *et al.* (2009) quienes mencionan que frente a la creciente escases de agua limpia, las aguas residuales domesticas o municipales representan un recurso cada vez más apreciado y constituyen una alternativa viable para riego agrícola por sus contenidos de nutrientes y materia orgánica, lo que favorece el rendimiento de las cosechas y el mejoramiento de los suelos. Así mismo, Ramón *et al.*, (2009) mencionan que el agua residual es considerada como un recurso importante que se puede utilizar para riego agrícola.

Haruvy (1997) nos menciona que el ART podría ser practicado para plantas ya que estas aguas podrían mantener la agricultura y minimizar los costos.

Stewart *et al.* (1990), citado por Rosales (1998), estudiaron la respuesta de plantaciones de *Populus robusta* y *Salix alba* al riego con aguas servidas. El riego con agua residual produjo incrementos de 16% a 139% en el volumen de madera respecto del riego con agua potable.

Otros resultados de investigaciones realizadas para evaluar el rendimiento agronómico fue con cultivos de acelga, lechuga y rábano en los cuales utilizaron diferentes tipos de agua, encontrando que los cultivos regados con aguas residuales tratadas, mostraron mayor rendimiento en comparación a los regados con agua potable. Por lo que los resultados mostrados refuerzan la propuesta de reusar las aguas residuales tratadas como fuente alterna de agua para agricultura (Cisneros y González, 2001).

Otros experimentos realizados determinan que en términos de metales pesados, los análisis han mostrado valores por debajo de los niveles definidos por la EPA (2004) para riego agrícola y, en términos de crecimiento, las unidades experimentales regadas con los efluentes han presentado mejor desempeño que las regadas con agua de pozo (Silva, 2008).

Osorio (2006) realizó una evaluación teórica de opciones de oferta de agua para riego de cultivos en distritos agroalimentarios proyectados en el Valle del Cauca, tomando como caso de estudio el distrito agroalimentario de Palmira. Los resultados reafirman la viabilidad del uso de las aguas residuales domésticas para riego agrícola, en términos de disponibilidad y control de impacto por las actividades productivas.

Escalante *et al.*, (2003) los principales beneficios del tratamiento del agua residual es el mejoramiento de la calidad de vida de las poblaciones, mejoramiento del ambiente, eliminación de las plagas, malos olores y focos de infección, permitiendo el desarrollo de la flora y la fauna.

La presencia de ciertas formas de nutrientes en las aguas residuales beneficiaría más a algunos cultivos que a otros. Para la aplicación del reusó sobre un cultivo específico, es necesario tener en cuenta aspectos como: la capacidad de asimilación de nutrientes, el consumo de agua, la presencia de iones tóxicos, la concentración relativa de Na y el contenido de sales solubles, ya que en ciertas condiciones climáticas puede salinizarse el suelo y modificarse la composición iónica, alterándole características como el desarrollo vegetativo y la productividad (Pizarro, 1990, citado por Medeiros *et al.*, 2005).

Es probable que los resultados negativos obtenidos con del agua residual cruda se debe a la presencia de algún compuesto u organismo tóxico que limitó el crecimiento y desarrollo del cultivo. De hecho, de acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de agua no es recomendable el uso de este tipo de agua por los altos contenidos de materia nociva para la salud.

VI. CONCLUSIÓN

En todas las variables de crecimiento y desarrollo evaluadas en este experimento se encontró que la solución nutritiva Steiner elaborada con agua residual tratada presentó una respuesta estadísticamente igual a la obtenida con la solución nutritiva Steiner preparada con agua potable, lo que sugiere que el agua residual tratada es una alternativa en la producción de rábano cultivada en invernadero siempre y cuando reúna las condiciones microbiológicas y químicas.

VI. LITERATURA CITADA

- Acosta-Zamorano, D., Macías-Carranza, V., Mendoza-Espinosa, L., & Cabello-Pasini, A. (2013). Efecto de las aguas residuales tratadas sobre el crecimiento, fotosíntesis y rendimiento en Vides Tempranillo (*Vitis vinifera*) en Baja California, México. *Agrociencia*, 47(8), 753-766.
- Arreguín Cortés, F. I., & Paz Soldán Córdoba, G. A. (1999). Panorama del agua en México. In *Congreso Nacional ACODAL Hacia la Calidad: Necesidad para el Próximo Milenio*, 42 (p. 33). ACODAL.
- Asano, T., & Levine, A. D. (1996). Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present, and future. *Water science and technology*, 33(10-11), 1-14.
- Cantuarias, E. A. B. (2004). Efecto del riego con aguas servidas tratadas en especies vegetales ornamentales (Doctoral dissertation, Universidad de Chile).
- Cisneros, O y J. González. 2001. Reusó del agua en invernadero. Memorias del XI Congreso Nacional de Irrigación Guanajuato. Guanajuato. México: 55-60.
- Contreras, S. y M. G. Galindo. 2008. Abasto futuro de agua potable, análisis espacial y vulnerabilidad de la ciudad de San Luis Potosí, México. Cuadernos de geografía - Revista Colombiana de Geografía. 17: 128-137.
- Crespi, R., Plevich, O., Thuar, A., Grosso, L., Rodríguez, C., Ramos, D., ... & Boehler, J. (2005). Manejo de aguas residuales urbanas. *Universidad Nacional de Rio Cuarto. Córdoba. Argentina*, 1-23.

- De la Peña, M. E., Ducci, J., & Zamora Plascencia, V. (2013). *Tratamiento de aguas residuales en México*. Inter-American Development Bank.
- Esteller, M., Morell, I., & Almeida, C. (2001). Physico-chemical processes in a vadose zone during the infiltration of treated wastewater used for irrigation: application of the NETPATH model. *Environmental Geology*, 40(7), 923-930.
- Fasciolo, G., Meca, M. I., Calderón, E., & Rebollo, M. (2005). Contaminación microbiológica en ajos y suelos regados con efluentes domésticos tratados. Mendoza (Argentina). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 37(1), 31-40.
- Foster, S. S., Gale, I., & Hespanhol, I. (1994). Impacto del uso y disposición de las aguas residuales en los acuíferos: con referencia a América Latina. In *Impacto del uso y disposición de las aguas residuales en los acuíferos: con referencia a América Latina*. Cepis.
- 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. Vol. 37 (1): 61-73.
- Gutiérrez, J. 2003. Reúso de aguas y nutrientes. Centro de información, gestión y educación ambiental. *Revista Medio Ambiente*: Pag 41.

- Haruvy, N. (1997). Agricultural reuse of wastewater: nation-wide cost-benefit analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 66(2), 113-119.
- Magaña, N. 2009. Reutilización del agua residual tratada en la cervecería del valle S.A. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali. Colombia.
- Marcoux, A. 1994. Population and water resources. Department of Economic and Social Affairs, UN Population Division, United Nations Population Information Network (POPIN), contrib. by Food and Agriculture Organization (FAO). 24 p.
- Medeiros, S. D. S., Soares, A. A., Ferreira, P. A., Neves, J. C., Matos, A. D., & Souza, J. D. (2005). Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo das alterações químicas do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9(4), 603-612.
- Mujeriego, R. (1990). Riego con agua residual municipal regenerada. *Universidad Politécnica de Catalunya*.
- Navarro-López E. R.; Nieto-Ángel R ; Corrales-García J. J. E.; García-Mateos M. del R. Ramírez-Arias A. 2010. Calidad Postcosecha de Frutos de Tomate Hidropónico Producidos con Agua Residual Y Agua de Pozo. Tesis de Doctorado UACH. Pp. 17-42
- Navarro-López E. R.; Nieto-Ángel R ; Corrales-García J. J. E.; García-Mateos M. del R. Ramírez-Arias A. 2010. Agua Residual, una Alternativa para la Producción de Tomate Hidropónico en Invernadero. Tesis de Doctorado UACH. Pp. 43-61.

Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, que Establece los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes dar a las Aguas Residuales Tratadas que se Reúsen en Servicios al Público. Diario Oficial de la Federación. 21 de Septiembre de 1998.

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.

Ortega, S.F. y R.G. Orellana. 2007. El riego con aguas de mala calidad en la agricultura urbana. Aspectos a considerar. II. Aguas residuales urbanas. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 16 (3): 25-27.

Osorio, J. (2006). Estrategia de evaluación de usos conjuntivos del agua, incluyendo reusó para contribuir con la seguridad alimentaria de distritos agroalimentarios proyectados en el Valle del Cauca, Colombia (Doctoral dissertation, Tesis de maestría. Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali).

Ramón, Z. F., N. J. G. Rodríguez, D. G. R. Torres y H. J. C. Yendis. 2009. Uso de agua residual y contenido de materia orgánica y biomasa microbiana en suelos de la llanura decoro, Venezuela. Agricultura Técnica en México. 35 (2): 212-218.

Ramos, C.1997. Trabajo presentado en: Fórum Internacional de Horticultura y Tecnología (Fitech), III FITECH - La automatización de la Hidroponía y Fertirrigación, Valencia (España).

- Rivas, B. A. L., G. V. M. Nevárez, R. G. M. Bautista, A. H. Pérez y R. T. Saucedo. 2003. Tratamiento de aguas residuales de uso agrícola en un biorreactor de lecho fijo. *Agrociencia*. 37 (2): 157-166.
- Rosegrant M.W., Cai X., Cline S.A. 2002. Panorama global del agua hasta el año 2025: Cómo impedir una crisis inminente. Una visión 2020 para la Alimentación, la Agricultura y el Medio Ambiente. Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias. Washington, D.C., EE.UU.
- Sarabia, M., R. Cisneros, J. Aceves, H. Durán y J. L. Castro. 2011. Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del Valle de San Luis Potosí, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 27 (2): 103-113.
- Segura, P. M. L., E. M. Expósito y J. I. P. Contreras. 2006. Reutilización de aguas residuales urbanas para la horticultura. *Industria Hortícola*. 196: 16-19.
- Silva, J., P. Torres, C. Madera. 2008. Reuso de aguas residuales domesticas en agricultura. Una revisión *Agronomía Colombiana*. Universidad Nacional Colombiana. Vol. 26 (2): 347-359.
- Steiner A.A (1968) Soilless culture. En Proc. 6th Colloq. Int. Potash Inst. Florence, Italy. pp. 324-341.
- Tozzi F., G. Fasciolo, G. Ernesto. 2004. Desarrollo de malezas en cultivos regados con efluentes domésticos tratados. *Rev. FCA UN cuyo*. Mendoza. Argentina. Tomo XXXVI (2): 31-37.
- Trooien T.P., Hills D.J.2007. *Microirrigation for Crop Production*. Chapter 9: Application of Biological Effluent. Elsevier B.V. U.S.A.

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.

Veliz L. E., Llanes O. J. G., Asela F. L., Betaller V. M. 2009. Reúso de aguas residuales domesticas para riego. Valoración crítica. Revista CENIC Ciencias Biológicas, 40:35-44.

Zavadil J. 2009. The effect of municipal wastewater irrigation on the yield and quality of vegetable and crops. Soil water Res. 4: 91-103.

Zulu G, Toyota M, Misawa S (1996) Characteristics of water reuse and its effects on paddy irrigation system water balance and the riceland ecosystem. Agricultural Water Management 31:269– 283.

VII. APÉNDICE

Tabla A1. Análisis de varianza de la variable diámetro polar de bulbo obtenido en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con efluentes residuales.

	DF	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	PROBABILIDAD
Bloque	2	287.7	95.9	5.558	0.00213 **
Tratamiento	3	1017.7	508.9	29.498	2.2e-09 ***
Residual	54	931.5	17.3		

Tabla A2. Análisis de varianza de la variable longitud de raíz obtenido en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con efluentes residuales.

	DF	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	PROBABILIDAD
Bloque	3	52.37	17.46	3.336	0.025977 *
Tratamiento	2	101.71	50.86	9.718	0.000248 ***
Residual	54	282.59	5.23		

Tabla A3. Análisis de varianza de la variable diámetro ecuatorial obtenido en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con efluentes residuales.

	DF	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	PROBABILIDAD
Bloque	3	131.5	43.8	2.762	0.0508
Tratamiento	2	995.4	497.7	31.365	9.13e-10 ***
Residual	54	856.9	15.9		

Tabla A4. Análisis de varianza de la variable peso de raíz obtenido en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con efluentes residuales.

	DF	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	PROBABILIDAD
Bloque	3	410.7	136.9	5.003	0.00392**
Tratamiento	2	1852.7	926.4	33.848	2.97e-10 ***
Residual	54	1477.9	27.4		

Tabla A5. Análisis de varianza de la variable peso fresco de planta obtenido en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con efluentes residuales.

	DF	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	PROBABILIDAD
Bloque	3	682.1	227.4	8.599	9.23e-05 ***
Tratamiento	2	1031.7	515.9	19.510	4.20e-07 ***
Residual	54	1427.8	26.4		

Tabla A6. Análisis de varianza de la variable peso seco de planta obtenido en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con efluentes residuales.

	DF	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	PROBABILIDAD
Bloque	3	2.227	0.7424	6.344	0.000917 ***
Tratamiento	2	4.675	2.3374	19.972	3.21e-07 ***
Residual	54	6.320	0.1170		

Tabla A7. Análisis de varianza de la variable área foliar de planta obtenido en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con efluentes residuales.

	DF	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	PROBABILIDAD
Bloque	3	256974	85658	10.79	1.17e-05 ***
Tratamiento	2	494637	247318	31.14	1.01e-09 ***
Residual	54	428834	7941		

Tabla A8. Análisis de varianza de la variable altura total de planta obtenido en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con efluentes residuales.

	DF	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	PROBABILIDAD
Bloque	3	113.3	37.77	4.785	0.00498 **
Tratamiento	2	144.4	72.18	9.145	0.00038 ***
Residual	54	426.2	7.89		

Tabla A9. Análisis de varianza de la variable altura de planta obtenido en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con efluentes residuales.

	DF	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	PROBABILIDAD
Bloque	3	573	191.0	37.483	<2e-16 ***
Tratamiento	2	331	165.3	32.435	3.41e-14 ***
Día	8	11204	1400.5	274.783	<2e-16 ***
Tratamiento: día	16	620	38.7	7.600	<2e-16 ***
Bloque: día	24	118	4.9	0.967	0.509
Bloque: tratamiento	6	185	30.8	6.044	3.52e-06 ***
Residual	696	3547	5.1		

Tabla A10. Análisis de varianza de la variable diámetro del tallo obtenido en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con efluentes residuales.

	DF	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	PROBABILIDAD
Bloque	3	184	61.3	45.673	<2e-16 ***
Tratamiento	2	285	142.4	106.113	<2e-16 ***
Día	8	3895	486.9	362.924	<2e-16 ***
Tratamiento: día	16	99	6.2	4.624	6.65e-09 ***
Bloque: día	24	36	1.5	1.127	0.3071
Bloque: tratamiento	6	21	3.5	2.607	0.0166 *
Residual	696	934	1.3		

Tabla A11. Análisis de varianza de la variable número de hojas obtenido en el cultivo de rábano cultivado en tres soluciones Steiner elaboradas con efluentes residuales.

	DF	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	F CALCULADA	PROBABILIDAD
Bloque	3	24.6	8.18	13.027	2.76e-08 ***
Tratamiento	2	82.0	40.98	65.221	<2e-16 ***
Día	8	1605.7	200.71	319.453	<2e-16 ***
Tratamiento: día	16	21.9	1.37	2.183	0.00476 **
Bloque: día	24	6.7	0.28	0.447	0.99025
Bloque: tratamiento	6	39.7	6.61	10.522	3.40e-11 ***
Residual	696	437.3	0.63		

Tabla 4. Significancia de los tratamientos.

VARIABLE	TRATAMIENTOS			CV
	SSAP	SSART	SSARC	
Altura de planta	12.6646 ^a	12.8829 ^a	11.3837 ^b	18.3391
Diámetro de tallo	6.5575 ^a	6.5366 ^a	5.2453 ^b	18.9477
Numero de hojas	4.8015 ^a	4.7936 ^a	4.0992 ^b	17.3642
Longitud de raíz	16.291 ^a	16.4025 ^a	13.5865 ^b	14.829
Diámetro polar	33.53 ^a	33.839 ^a	24.952 ^b	13.4965
Diámetro ecuatorial	31.995 ^a	34.059 ^a	24.5735 ^b	13.1863
Peso de raíz	20.091 ^a	22.8215 ^a	9.908 ^b	29.7126
Peso fresco de planta	20.4257 ^a	22.4436 ^a	12.8135 ^b	27.7031
Peso seco de planta	1.594 ^a	1.5859 ^a	0.997 ^b	24.5643
Área foliar	394.9488 ^a	443.7059 ^a	231.405 ^b	24.9839
Altura total de planta	23.75 ^a	24.38 ^a	20.82 ^b	12.2238