

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA



Efecto de Efluentes Residuales en el Crecimiento y Desarrollo de un Cultivo de Espinaca
(*Spinacia oleracea*)

Por:

JOSÉ RODOLFO SIMENTAL DE LA PAZ

TESIS

Presentada como requisito para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Saltillo, Coahuila, México

Octubre, 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA

Efecto de Efluentes Residuales en el Crecimiento y Desarrollo de un Cultivo de Espinaca
(*Spinacia oleracea*)

Por:

JOSÉ RODOLFO SIMENTAL DE LA PAZ

TESIS

Presentada como requisito para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA

Aprobada por el Comité de Asesoría:

Dra. Silvia Yudith Martínez Amador
Asesor Principal

M.C. Laura María González Méndez
Coasesor

Dr. Alonso Méndez López
Coasesor

Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Octubre, 2021


Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (**corta y pega**); **reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original** (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



José Rodolfo Simental de la Paz

DEDICATORIA

A mi madre

Sra. Imelda De la Paz Torres, por darme la vida, ser mi ejemplo a seguir, por enseñarme a luchar por mis sueños y por ser también una amiga y confidente incondicional.

A mis hermanos

Elizabeth y Víctor, por su apoyo y estar conmigo.

A mis amigos

Por ser parte importante de mi formación tanto académica como persona, por apoyarme en momentos y difíciles de manera incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Terra Mater la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por abrir sus puertas y permitir el desarrollo académico, social y emocional.

A los profesores del Departamento de Botánica que me brindaron su apoyo y conocimientos, a la vez que me hicieron creer en mis capacidades y en desarrollar nuevas que me ayudaron mi crecimiento personal y en la carrera como Ingeniero en Agrobiología.

A la Dra. Silvia Yudith Martínez Amador, por darme la oportunidad de formar parte de sus tesis, y creer en mí, por sus consejos, apoyo, y por motivarme no solo en lo académico, sino también en lo emocional, por su paciencia y tiempo para sacar adelante este proyecto.

Al comité revisor, Dra. Laura María González Méndez y al Dr. Alonso Méndez López por su dirección, asesoría, revisión y corrección del presente trabajo de investigación.

A mis amigos de carrera, en especial a Marisol Gómez Santos, David González Hernández, Nanglis López Domínguez, Sagrario Castillo y Juanita Roque y a la generación CXXVIII de Ingenieros en Agrobiología, por estar conmigo en cada momento difícil y feliz de ésta etapa, por ser la familia que escogí estos años y ayudarme a crecer como persona a su lado.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTOS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ABREVIATURAS.....	XII
RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. OBJETIVO GENERAL.....	4
3. HIPÓTESIS	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
4.1. El cultivo de espinaca	5
4.1.1 Generalidades e importancia de la espinaca	5
4.1.2 La clasificación taxonómica de la espinaca:.....	5
4.1.3 Morfología de la espinaca.....	5
4.2 Producción	6
4.3 Situación en México de los recursos hídricos.....	6
4.4 Aguas residuales	7
4.5. Sistemas de tratamiento de agua residual	7
4.6. Reúso de aguas residuales con fines agrícolas.....	8
4.6.1 Reúso de agua residual tratada en cultivos	9
5. MATERIALES Y MÉTODOS	11
5.1. Establecimiento.....	11
5.2. Diseño Experimental	11
5.3. Análisis Estadístico.....	12
5.4. Preparación del sustrato y siembra	12
5.5 Distribución de tratamientos y riego.....	12
5.6. Manejo de plagas	13
5.7. Muestreos.....	13
5.8. Parámetros evaluados	14
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
6.1. Parámetros evaluados en fresco.....	15
6.1.1. Número de hojas	15
6.1.2. Longitud de la raíz	16

6.1.3. Longitud del tallo.....	17
6.1.4. Área foliar.....	18
6.2. Variables evaluadas en peso seco.....	19
6.2.1. Peso seco de la raíz.....	19
6.2.2. Peso seco del tallo.....	20
6.2.3. Peso seco de hojas.....	20
7. CONCLUSIONES.....	22
8. REFERENCIAS.....	23

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de los lugares donde se desarrolló esta investigación.....11

Figura 2. Plagas detectadas en las plantas del tratamiento irrigado con agua residual sin tratar.
A) gusano falso medidor (*Trichoplusia ni*) y B) pulgón verde (*Aphididae spp*)16

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los tratamientos utilizados en esta investigación.....	13
Tabla 2. Resultados obtenidos mediante el software InfoStat para el análisis de varianza y comparación de medias para número de hojas.....	16
Tabla 3. Resultados obtenidos mediante el software InfoStat para el análisis de varianza y comparación de medias para longitud de raíz.....	17
Tabla 4. Resultados obtenidos mediante el software InfoStat para el análisis de varianza y comparación de medias para longitud del tallo.....	18
Tabla 5. Resultados obtenidos mediante el software InfoStat para el análisis de varianza y comparación de medias para área foliar (mm ²).....	19
Tabla 6. Resultados obtenidos mediante el software InfoStat para el análisis de varianza y comparación de medias para peso seco de la raíz (g).....	19
Tabla 7. Resultados obtenidos mediante el software InfoStat para el análisis de varianza y comparación de medias para peso seco del tallo (g).....	20
Tabla 8. Resultados obtenidos mediante el software InfoStat para el análisis de varianza y comparación de medias para peso seco de hojas (g).....	21

ABREVIATURAS

SBE: sistema bioelectroquímico.

PTARM: plantas de tratamiento de aguas residuales municipales

SS: Solución Steiner.

ARTSB: Agua residual tratada en sistema bioelectroquímico.

ARTBU: Agua residual tratada en el bosque urbano.

ARST: Agua residual sin tratamiento.

AP: Agua potable.

RESUMEN

El agua residual municipal incluye efluentes provenientes de las residencias, la industria y el comercio, de éstas aguas solo el 35.5% se lleva a tratamiento, y una pequeña porción es reutilizada, el resto se incorpora a causas o cuerpos de agua. El objetivo de esta investigación fue evaluar el crecimiento y desarrollo del cultivo de espinaca cuando es irrigado con efluentes residuales y solución nutritiva. El experimento se realizó en las instalaciones de la UAAAN en el invernadero #2 de la Subdirección de Operación de Proyectos y en el Laboratorio de Biotecnología, perteneciente al Departamento de Botánica, se utilizó el diseño de bloques completos al azar (BCA) estableciendo en total 5 tratamientos (SS, ARTSB, ARTBU, ARST y el testigo (AP)), con 9 repeticiones cada uno. Se realizaron 3 muestreos (15, 45 y 75 días) y se analizaron: peso fresco y peso seco de raíz, tallo y hojas, diámetro y longitud de tallo, longitud de raíz, número de hojas y área foliar.

Los resultados en peso fresco mostraron que no hay diferencias significativas en número de hojas y longitud de raíces, pero si existe diferencia estadística en longitud de tallo y área foliar, estas últimas dos fueron mayores en los tratamientos irrigados con ARST, SS Y AP, el ARST tuvo mayor presencia de plagas como el gusano falso medidor (*Trichoplusia ni*) y pulgón verde (*Aphididae spp*). En peso seco, el análisis estadístico arrojó que, si existe diferencia significativa entre los tratamientos, obteniendo mayores valores en las plantas irrigadas con ARST y AP.

Con lo anterior, se concluyó que la aplicación de agua residual sin tratar favorece el crecimiento y desarrollo de la espinaca, pero no se recomienda su uso por la incidencia de plagas que afectan las partes de importancia comercial. A su vez, se concluyó también que la aplicación de aguas tratadas (ARTBU y ARTSB), no aportan los suficientes nutrientes al cultivo, por lo que es necesario un ajuste nutrimental previo a su aplicación.

Palabras clave: agua residual municipal, espinaca (*Spinacia oleracea*), solución nutritiva, reúso de aguas residuales.

1. INTRODUCCIÓN

La creciente poblacional y la diversificación de las actividades económicas han generado mayor presión sobre los recursos hídricos, por lo que en muchos países alrededor del mundo se ha extraído mayor cantidad de agua de la que se puede regenerar de manera natural en los acuíferos, el agua en su mayoría se destina en actividades agropecuarias como el riego de cultivos para consumo de ganado y también para el uso de doméstico. La agricultura consume alrededor de 70% del agua que se extrae en el mundo (CONAGUA, 2011). En México, el 78% de la extracción del agua se destina a fines agrícolas, seguido por el uso público urbano con un 12% y el resto en otras actividades.

Actualmente la recuperación y reutilización de aguas residuales municipales e industriales se practica en muchos países, sin embargo, solo constituyen una pequeña fracción del volumen total generado. Además, con el fin de satisfacer la necesidad vital de abastecimiento de agua, las comunidades consideran otras fuentes no tradicionales, como son los flujos de retorno agrícola, aguas residuales tratadas, captación de agua de lluvia, agua coproducida de las industrias de energía y minería, desalinización del agua de mar y de aguas subterráneas salobres (Anda-Sánchez, 2017). Referente al reúso de aguas residuales tratadas se han establecido normas para que el efluente cumpla con cierta calidad microbiológica y química de tal forma que no tenga un impacto negativo en la salud humana y en el medio ambiente (Guadarrama-Brito y Galván-Fernández, 2015; Sagasta, 2017).

El agua residual municipal comprende los efluentes domésticos, comerciales e industriales (AQUASTAT 2021). Actualmente existen distintas formas de tratar las aguas residuales, por ejemplo, aquellos catalogados como biológicos como los sistemas bioelectroquímico y de lodos activados. Las aguas residuales han sido utilizadas en el riego de cultivos de tomate hidropónico (Navarro-López, 2010), aguas residuales tratadas de la agroindustria para producción de tomate en invernadero (Gatta *et al.*, 2015), aguas residuales municipales con tratamiento en el cultivo de uva (Acosta-Zamorano *et al.* 2013), café (Gonçalves *et al.*, 2013) lechuga (González Aguilar, 2012) y caña (Mota-Cantú, 2002).

La espinaca (*Spinacea oleracea*), se utiliza de manera común en la dieta de las personas por tener un alto valor nutricional en vitaminas y minerales, y poseer bajo contenido en carbohidratos (Nolasco *et al.* 2013). El comercio en fresco lidera el destino de la espinaca (*Spinacia oleracea*) debido a que se emplea en una gran cantidad de ensaladas y jugos en dietas para bajar de peso, un porcentaje menor se destina a procesos de carácter agroindustrial. Los principales países productores de esta hortaliza son China, Japón, Estados Unidos, Turquía y Bélgica (Tecnoagro, 2010).

Debido a la gran cantidad de recursos hídricos que se destinan a la agricultura en el país se decidió investigar el efecto de las aguas residuales tratadas en el crecimiento y desarrollo de un cultivo de espinaca para definir la factibilidad de su uso al comparar con la aplicación de solución nutritiva.

2. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el crecimiento y desarrollo de un cultivo de espinaca irrigado con efluentes residuales bajo condiciones de invernadero.

3. HIPÓTESIS

El riego de plantas con efluentes residuales promueve un mayor crecimiento y desarrollo en comparación con las plantas a las que se les suministre solución nutritiva Steiner, lo anterior debido a la presencia de materia orgánica y minerales en los efluentes.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. El cultivo de espinaca

4.1.1 Generalidades e importancia de la espinaca

4.1.2 La clasificación taxonómica de la espinaca:

Plantas (Reino Plantae)

Plantas vasculares (Filo Tracheophyta)

Plantas con flores (Subfilo Angiospermae)

Magnolias, margaritas y parientes (Dicotiledóneas) (clase Magnoliopsida)

Cactos, amarantos, claveles y parientes (Orden Caryophyllales)

Amarantos, espinacas, betabeles y parientes (Familia Amaranthaceae)

Género (*Spinacia*)

Espinaca (*Spinacia oleracea*)

(InfoAgro, 2020)

4.1.3 Morfología de la espinaca

La planta de espinaca pertenece a la familia Chenopodiaceae y la especie se denomina *Spinacea oleracea* L. En la primera fase forma una roseta de hojas que duran de acuerdo a las condiciones climáticas, y posteriormente se desarrolla el tallo. De las axilas de las hojas o directamente del cuello surgen tallitos laterales que dan lugar a ramificaciones secundarias, en las que pueden desarrollarse flores. Las flores de esta planta pueden ser masculinas, femeninas e incluso hermafroditas, y se diferencian fácilmente, las femeninas poseen mayor número de hojas basales, tardan más en desarrollar la semilla y por ello tienden a ser más productivas. Las flores masculinas están agrupadas en número de 6-12 en las espigas terminales o axilares, presentan color verde y están formadas por un periantio con 4-5 pétalos y 4 estambres. Las flores femeninas se reúnen en glomérulos axilares y están formadas por un periantio bi o tetradentado, con ovarios uniovulares, estilo único y estigma dividido en 3-5 segmentos

El sistema radicular es pivotante y poco ramificado, presenta ligero desarrollo radicular superficial, el tallo es erecto con una longitud aproximada de 30 centímetros en el que se encuentran situadas las flores.

Las hojas son caulíferas, alternas y pecioladas, las formas de las hojas pueden variar en algunas variedades, son de color verde oscuro. Presentan pecíolo cóncavo y a menudo rojo en su base, con longitud variable, que va disminuyendo poco a poco a medida que soporta las hojas de más jóvenes y va desapareciendo en las hojas situadas en la parte más alta del tallo (Jiménez *et al.*, 2010).

4.2 Producción

En México se cultiva en 13 estados de la República mexicana en tierras de riego, el estado de Puebla encabeza la lista en cuanto a superficie con 428 hectáreas cosechadas, con una producción anual de 3,768 toneladas, le sigue Baja California con 181 hectáreas de superficie cosechada, que producen 1,510 toneladas por año, el distrito federal con 125 hectáreas de superficie cosechada, que dan una producción de 1,141 toneladas anualmente, por último Coahuila con 122 hectáreas de superficie, sin embargo con la mayor producción anual de todos con 4,517 toneladas y con el mayor rendimiento de 37.025 toneladas por hectárea. (Tecnoagro, 2010).

4.3 Situación en México de los recursos hídricos

La mayor parte de agua que consume el ser humano se destina a usos de consumo, a la irrigación de tierras agrícolas, al ganado y al uso doméstico (FAO, 2002).

En México, el uso que mayor agua consume es el agrícola, que representa un 78% de la extracción total en el mundo, seguido por el uso público urbano con un 12%. A nivel nacional se presentan disparidades enormes: mientras en los grandes centros. Actualmente el porcentaje de aguas residuales municipales (ARM), que se trata en los países subdesarrollados apenas ronda 10% (Reynolds, 2001), mientras que en América Latina es 14% (Silva, 2008) debido a que la instalación de plantas tratadoras de aguas es de gran costo

(Kovaissi, 2001). En México, solamente se tratan $83.6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de los $235.8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ que se generan; es decir, sólo 35.5%, y se reutiliza solo una parte del total del volumen tratado, el resto se reincorpora a cauces o cuerpos de agua (Guzmán, 2011).

4.4 Aguas residuales

La Secretaría del medio Ambiente (SEMA, 2021) define que las aguas residuales “Son las provenientes de actividades domésticas, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarias o de cualquier otra actividad que, por el uso de que han sido objeto, contienen materia orgánica y otras sustancias químicas que alteran su calidad original” y que las aguas residuales tratadas son “aquellas que mediante procesos individuales o combinados de tipo físicos, químicos, biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reúso en servicios al público”.

La generación de aguas residuales se liga con frecuencia al crecimiento demográfico y al desarrollo de las actividades humanas que vienen como consecuencia del mismo. Estas son colectadas del sistema de alcantarillado y conducida hacia las tuberías de las plantas de tratamiento, con el fin de mejorar su calidad y posibilitar su reúso ya sea para uso agrícola o en otras actividades (Cisneros-Estrada; Saucedo-Rojas, 2016).

4.5. Sistemas de tratamiento de agua residual

En México, en las zonas rurales y aquellas que se encuentran en la periferia de las ciudades que no cuentan con drenaje, el agua residual (AR) es vertida en el suelo, en barrancas o arroyos, generando problemas de salud y de contaminación en los distintos sistemas en que tienen contacto con ella debido a la gran cantidad de sustancias que contiene (Garzón-Zúñiga *et al.*, 2015).

El inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales de la Comisión Nacional del Agua (Conagua,) registró 2477 instalaciones de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (PTARM) al cierre de 2015, con una capacidad de 177 973.6 ls-1 y un caudal tratado de 120 902.2 ls-1, lo cual permitió alcanzar una cobertura nacional en el saneamiento de las aguas residuales municipales del 52.72% al cierre de 2015.

El aumento en el número de plantas de tratamiento de las aguas residuales municipales en las zonas urbanas del país es aplaudible, así como el incremento de los sistemas de alcantarillado, particularmente de las áreas rurales (Zurita-Martínez, 2011).

Comúnmente se tienen problemas de contaminación en las aguas subterráneas y superficiales debido a la lixiviación y escorrentía (Tessaro *et al.*, 2016) lo cual representa la exposición del ser humano a situaciones de riesgo para la salud, debido a que los organismos y sustancias pueden integrarse a una cadena alimenticia a través de los vegetales en los que se emplea el riego con aguas residuales (Christou, 2017).

4.6. Reúso de aguas residuales con fines agrícolas

Reúso de agua residual sin tratamiento

El riego de hortalizas con aguas residuales se convirtió en una práctica en muchas regiones (Barker-Reid *et al.* 2010; Hamilton *et al.* 2007). Por lo que cada vez su va convirtiendo en una opción más relevante, de hecho, siempre ha existido el uso descontrolado y no planificado de aguas residuales en la agricultura.

Los agricultores en regiones en las que el agua es un recurso escaso, utilizan el agua residual para cubrir las necesidades de riego en sus cultivos agrícolas, principalmente en forrajes y hortalizas, siendo una práctica que se extiende como consecuencia del cambio climático, por la creciente oleada de sequías en distintas partes del mundo. Hay una gran cantidad de riesgos para la salud asociados al riego de cultivos con aguas residuales para consumo humano, en

especial para aquellos con las que la técnica de riego es superficial y el producto es consumible en fresco.

Entre los principales riesgos para la salud humana asociadas al riego con AR están la presencia de patógenos, virus, bacterias y protozoos, los cuales son muy comunes en aguas residuales urbanas, y pueden generar enfermedades como gastroenteritis, giardiasis, campilobacteriosis y otras enfermedades a través de su ruta por agua o por alimentos (Mok y Hamilton, 2014).

Las aguas residuales tienen ventajas y desventajas para la agricultura, diversos estudios realizados indican que la presencia de nutrientes químicos como Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, B, P y N entre otros que pueden beneficiar el crecimiento y desarrollo de las plantas, pero también algunos elementos tóxicos como Cd, Hg, Pb y As. Las aguas residuales que se destinan a los cultivos, son necesarias muchas veces para la producción debido a la poca disponibilidad de fuentes de agua limpia, sin embargo, su calidad afecta los suelos, plantas, animales e incluso a los seres humanos (Núñez-García, 2015).

Como resultado de los escasos de otras fuentes de agua, el uso indiscriminado de aguas residuales podría afectar las funciones del suelo y provocar contaminación del ambiente (Abengunrin, 2016), esto ocurre en gran medida por la alta concentración de sales que contienen algunas aguas, con lo que la saturación de sodio en el suelo modifica las propiedades físico-químicas, impidiendo el desarrollo de vegetación (da Fonseca *et al.*, 2005; Hernández-Acosta *et al.*, 2014)

4.6.1 Reúso de agua residual tratada en cultivos

El riego con efluentes sanitarios (agua servida tratada) puede ser considerado como un fertiriego debiéndose, por tanto, observar todos los cuidados respecto a tal práctica. Ya sea porque la descarga indebida de efluentes residuales puede representar un problema ambiental, y, por otro lado, si presenta características deseables, como potenciales para el abastecimiento de nutrientes a las plantas, principalmente el nitrógeno, fósforo y potasio y, sobre todo, potencialidad de uso como fuente extra de agua. Sin embargo, hay estudios que han

demostrado que hortalizas cultivadas en suelos con riego de aguas residuales revelan un exceso de acumulación de metales pesados. Es bien sabido que la planta absorbe los metales solubles a través de las raíces, naturalmente elementos esenciales y los almacena en su biomasa (Ángeles-Hernández *et al.*, 2018; Khan *et al.*, 2015; Kobaissi, 2014; Roy-Gupta, 2007).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Establecimiento

El experimento se llevó a cabo dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. La siembra, riegos y crecimiento vegetativo del experimento, fueron llevadas a cabo en el invernadero número 2 de la Subdirección de Operación de Proyectos de esta universidad, el cual es de tipo túnel, con cubierta de plástico rígido, los análisis de los parámetros agronómicos se realizaron en el Laboratorio de Biotecnología, perteneciente al Departamento de Botánica (figura 1).



Figura 1. Ubicación geográfica de los lugares donde se desarrolló esta investigación.

5.2. Diseño Experimental

El diseño que se utilizó para el experimento fue de bloques completos al azar (BCA), ya que se buscó contrastar los efectos en los tratamientos y el testigo, bajo condiciones experimentales distintas. Para esto se establecieron 4 tratamientos más el testigo, con 9 repeticiones cada uno, con un total 45 unidades experimentales.

5.3. Análisis Estadístico

A los datos obtenidos del experimento se les realizó un análisis de varianza y comparación de medias por Tukey $p \geq 0.05$, para variables estadísticas diferentes, mediante el software InfoStat 2018, creado por la Universidad Nacional de Córdoba Argentina (*Di Rienzo et al., 2018*).

5.4. Preparación del sustrato y siembra

Se preparó sustrato para las macetas utilizando tierra del Jardín Botánico Gustavo Aguirre Benavides ubicado dentro de las instalaciones de la UAAAN, perlita y peat moss en una proporción 1:1:1.

La siembra se realizó en el sustrato previamente preparado, se colocaron 2 semillas por maceta a una profundidad de 2 cm y centradas en la maceta; teniendo como total 9 macetas para cada tratamiento. Al obtener las dos plántulas por maceta, se seleccionó solo una por maceta, eligiendo a las plantas que tuvieron un tamaño uniforme.

5.5 Distribución de tratamientos y riego

En la tabla 1, se muestran los diferentes tratamientos con su descripción. El riego con estos efluentes se realizó de forma periódica, con intervalos de 2 o 3 días, dependiendo de los requerimientos de humedad del sustrato.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos utilizados en esta investigación.

Número	Abreviatura	Significado de abreviatura	Descripción
T1	SS	Solución Steiner	Solución Steiner (1961) al 25% para 20 L KCL H ₃ PO ₄ HNO ₃ H ₂ SO ₄ Micro mix®:
T2	ARTBU	Agua residual tratada en el bosque urbano	Agua colectada tras el proceso de tratamiento en la planta tratadora del Gran Bosque Urbano Ejército Mexicano de la Ciudad de Saltillo, Coahuila.
T3	ARTSBE	Agua residual tratada en sistema bioelectroquímico	Agua colectada del sistema bioelectroquímico (SBE) ubicado en el Laboratorio de Biotecnología, del Departamento de Botánica, UAAAN.
T4	ARST	Agua residual sin tratamiento	Agua colectada del módulo de recepción de la PTAR del Gran Bosque Urbano Ejército Mexicano de la Ciudad de Saltillo, Coahuila.
T5	AP	Agua potable	Agua potable

5.6. Manejo de plagas

Se aplicó Brálic® como repelente natural ecológico y biodegradable a base de extracto de ajo (*Allium spp*) 12.5%, el cual es un concentrado emulsionante contra insectos chupadores y oradores, posee acción disuasoria en los hábitos alimenticios de insectos plaga y obstruye la acción de las feromonas naturales, se emplea como control de poblaciones de chinches, minador de la hoja, mosquita blanca, picudos de algodón y chile, y trips principalmente (ADAMA, 2016). *Bacillus thuringiensis* fue administrado para eliminar larvas de insectos-plaga de los órdenes Lepidóptera, Coleóptera y Díptera, entre otros, ayudando a combatir la presencia de gusano falso medidor, gusano soldado y gusano del fruto (Portela-Dussán *et al.*, 2013).

5.7. Muestras

De cada tratamiento, se eligieron 3 macetas al azar (repeticiones) para analizar peso fresco y peso seco de raíz, tallo y hojas, diámetro y longitud de tallo, longitud de raíz, número de hojas y área foliar.

5.8. Parámetros evaluados

Se realizaron 3 muestreos destructivos de las plantas proveniente de 3 macetas tomadas al azar a los 15, 45 y 75 días. Las plantas fueron extraídas con cuidado del sustrato eliminando los restos del mismo en la raíz, se realizó el corte de hojas (con apoyo de tijeras, exacto y de forma manual) de cada planta, se contó el número de hojas y después, con ayuda de un Vernier (Digital caliper-Stainless Hardened) se midió el diámetro del tallo (mm), para medir longitud de tallo y raíz, primero se hizo un corte en la base, donde comienza el color de la raíz principal para medir por separado y se midió con ayuda de una regla o un metro (mm) de acuerdo a la extensión de la raíz. El área foliar fue determinada con un medidor de área foliar LI-3100C (mm²). Todos los datos se registraron de acuerdo al número de tratamiento y repetición al que pertenecía la maceta.

Por último, se dejaron las muestras dentro de bolsas de papel estraza en la estufa de secado (marca ARSA) A 65 centígrados durante 48 horas con el fin de medir el peso seco de raíz, tallo y hojas (gr) en una balanza de precisión (US Solid-modelo USS-DBS15-3).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Parámetros evaluados en fresco

6.1.1. Número de hojas

En éste parámetro no se presentó diferencia significativa ($P < 0.05$) entre tratamientos en los muestreos 2 y 3. Sin embargo en el primer muestreo la estadística indica que en el tratamiento irrigado con agua potable hubo diferencia estadística significativa con respecto a los demás tratamientos. En el análisis estadístico de los muestreos 2 y 3, no se detectó diferencia significativa entre los tratamientos (tabla 2). Numéricamente, el tratamiento con mejores resultados fue obtenido en las plantas regadas con AP en el primer muestreo. Sin embargo, el tratamiento de ARST fue superior en los muestreos 2 y 3. Cabe mencionar que, si bien el ARST aumenta el crecimiento, también incrementa las plagas ya que se observó la incidencia del gusano falso medidor *Trichoplusia ni* y del pulgón verde *Aphididae spp.* (figura 2).

Ahmad *et al.* (2006) y Madhvi *et al.* (2014) concluyen que la aplicación de aguas residuales sin tratamiento provenientes de la industria y de efluentes municipales respectivamente, ofrece mejores resultados en comparación con las aguas subterráneas y/o potables. Sin embargo, destacan que la espinaca también presenta manchas color marrón asociadas al estrés por la presencia de metales pesados y amoníaco por encima de los límites permisibles (Pacco *et al.*, 2014), sodicidad (Anwar *et al.* 2015), mayor actividad microbiana y de patógenos (Gatta *et al.* 2015; Gu *et al.*, 2019) problemáticas que se presentan de manera comúnmente en los distintos estudios en los cuales se analizaron hortalizas cuya parte comestible son las hojas.

Tabla 2. Resultados obtenidos mediante el software InfoStat para el análisis de varianza y comparación de medias para número de hojas.

Tratamiento	No. de Muestreo		
	1	2	3
SS	42.00 B	107.50 A	141.50 A
ARTSB	58.00 B	83.50 A	182.50 A
ARTBU	55.00 B	61.00 A	166.50 A
ARST	52.50 B	157.50 A	189.50 A
AP	110.50 A	116.50 A	119.00 A

Medias con una letra común, no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). SS= Solución Steiner, ARTSB = Agua residual tratada en sistema bioelectroquímico, ARTBU = Agua residual tratada en el bosque urbano, ARST = Agua residual sin tratamiento, AP = Agua potable.

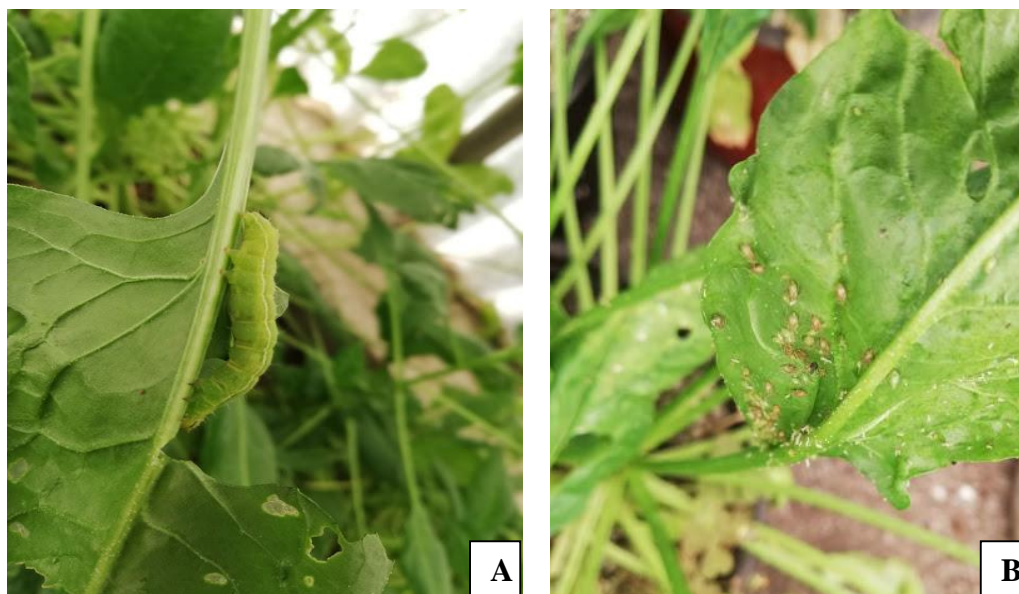


Figura 2. Plagas detectadas en las plantas del tratamiento irrigado con agua residual sin tratar. A) gusano falso medidor (*Trichoplusia ni*) y B) pulgón verde (*Aphididae spp.*).

6.1.2. Longitud de la raíz

Después de realizar el análisis de varianza y comparación de medias, no se detectó diferencia estadística significativa ($P < 0.05$) entre los tratamientos en el muestreo 1, sin embargo, en el segundo y tercer muestreo, los valores más altos se observaron en las plantas de los tratamientos irrigados con ARST y SS, con 20.7 cm y 34.5 cm de longitud respectivamente

(tabla 3). Los datos numéricos indican que la longitud de raíz con mayor crecimiento se dio en las plantas con SS. González-Moctezuma (2017) realizó un estudio sobre el efecto del riego con efluentes residuales en rábano. Los rábanos irrigados con agua residual cruda tuvieron menor crecimiento de raíz y los tratamientos con agua potable y agua residual tratada mostraron los valores más altos. En dicho estudio los tratamientos consistieron en: agua residual municipal sin tratamiento colectada del Bosque Urbano “Ejército Mexicano” de Saltillo, Coahuila, y el agua residual tratada obtenida de un tratamiento biológico secuencial (anaerobio-aerobio-humedal), cabe mencionar que todos los tratamientos tuvieron ajuste nutrimental con Solución Steiner, mismo que en esta investigación no fue realizado.

Tabla 3. Resultados obtenidos mediante el software InfoStat para el análisis de varianza y comparación de medias para longitud de raíz.

TRATAMIENTO	No. de Muestreo		
	1	2	3
SS	12.95 A	14.15 B	34.0 A
ARTSB	14.4 A	16.8 A B	17.5 C
ARTBU	11.1 A	14.0 B	26.5 A B
ARST	15.8 A	17.75 A	20.75 B C
AP	13.6 A	14.1 B	21.45 B C

Medias con una letra común, no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). SS= Solución Steiner, ARTSB = Agua residual tratada en sistema bioelectroquímico, ARTBU = Agua residual tratada en el bosque urbano, ARST = Agua residual sin tratamiento, AP = Agua potable.

6.1.3. Longitud del tallo

Al realizar el análisis estadístico para longitud del tallo, el análisis de varianza y comparación de medias arrojaron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) únicamente entre el ARST y el resto de los tratamientos en el muestreo 2. En los muestreos 1 y 3 (tabla 4) no se observaron diferencias significativas entre los 5 tratamientos aplicados. Por otro lado, numéricamente las plantas de espinaca irrigadas con ARST, desarrollaron tallos de hasta 50 cm, y el resto de los tratamientos se mantuvo por debajo de los 20 cm. Aunque en esta investigación en uno de los tres muestreos hubo diferencia entre los tratamientos, existen investigaciones en las cuales utilizar agua proveniente de un tratamiento genera un efecto positivo en los tallos. García-Peña (2004) al aplicar agua de una laguna de estabilización y

agua natural del pozo profundo de la UAAAN, encontró que el uso de los efluentes residuales genera tallos vigorosos y con buen aspecto visual en el cultivo de brócoli; Acosta-Zamorano *et al.* (2013), concluyeron que no hay diferencias significativas al aplicar aguas residuales urbanas tratadas en el desarrollo de sarmientos en el cultivo de la vid, cuando proviene de la planta de tratamiento “El Sauzal” y el agua de un acuífero del valle de Guadalupe, B.C.

Tabla 4. Resultados obtenidos mediante el software InfoStat para el análisis de varianza y comparación de medias para longitud del tallo.

TRATAMIENTO	No. de Muestreo		
	1	2	3
SS	24.35 A	146.50 B	45.00 A
ARTSB	30.05 A	70.00 B	39.00 A
ARTBU	25.25 A	205.00 B	33.50 A
ARST	28.10 A	505.50 A	57.00 A
AP	29.70 A	75.00 B	27.50 A

Medias con una letra común, no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). SS= Solución Steiner, ARTSB = Agua residual tratada en sistema bioelectroquímico, ARTBU = Agua residual tratada en el bosque urbano, ARST = Agua residual sin tratamiento, AP = Agua potable.

6.1.4. Área foliar

Para el área foliar el análisis de varianza y la comparación de medias arrojaron que hay diferencia estadística significativa ($P < 0.05$) en el tratamiento AP con el resto de los tratamientos en el primer muestreo. En el segundo muestreo AP obtuvo los valores más altos con una media de 723.6 mm^2 , en el muestreo 3 el valor más alto fue obtenido para SS con poca diferencia estadística en comparación con AP y ARTBU.

Los datos numéricos concuerdan con el análisis estadístico, teniendo mayor cantidad de área foliar en el tratamiento AP en los primeros dos muestreos, y aventajando el de SS en el muestreo 3.

Tabla 5. Resultados obtenidos mediante el software InfoStat para el análisis de varianza y comparación de medias para área foliar (mm²).

Tratamiento	No. de Muestreo		
	1	2	3
SS	235.85 A	404.02 B	1229.58 A
ARTSB	279.06 A	455.34 B	661.83 B
ARTBU	313.30 A	561.35 A B	1051.48 A B
ARST	377.30 A	583.03 A B	648.84 B
AP	415.95 A	723.60 A	729.16 A B

Medias con una letra común, no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). SS= Solución Steiner, ARTSB = Agua residual tratada en sistema bioelectroquímico, ARTBU = Agua residual tratada en el bosque urbano, ARST = Agua residual sin tratamiento, AP = Agua potable.

a

6.2. Variables evaluadas en peso seco

6.2.1. Peso seco de la raíz

El análisis de varianza y la comparación de medias arrojaron que hay diferencia estadística significativa ($P < 0.05$) entre los tratamientos en el muestreo 1 para el peso seco de la raíz, se observó que los tratamientos irrigados con SS y ARST tuvieron mayor peso seco. Los datos del segundo muestreo indicaron que el tratamiento de AP fue superior que el resto de los tratamientos, por último, en el tercer muestreo no hay diferencia estadística (tabla 6).

Tabla 6. Resultados obtenidos mediante el software InfoStat para el análisis de varianza y comparación de medias para peso seco de la raíz (g).

Tratamiento	No. de Muestreo		
	1	2	3
SS	0.75 A	0.16 B	0.32 A
ARTSB	0.13 C	0.17 B	0.23 A
ARTBU	0.55 A B	0.11 B	0.34 A
ARST	0.60 A	0.22 B	0.41 A
AP	0.25 B C	0.61 A	0.36 A

Medias con una letra común, no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). SS= Solución Steiner, ARTSB = Agua residual tratada en sistema bioelectroquímico, ARTBU = Agua residual tratada en el bosque urbano, ARST = Agua residual sin tratamiento, AP = Agua potable.

6.2.2. Peso seco del tallo

Para peso seco del tallo, el análisis de varianza y la comparación de medias arrojaron que existe diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los tratamientos en el muestreo 1 y 2, en los cuales el AP obtuvo mayor peso seco del tallo, seguido por el ARST. En el muestreo 3, el análisis arrojó que solo existe diferencia significativa entre el tratamiento de ARST con respecto a los demás tratamientos con una media que duplica el peso seco del tratamiento con ARTBU (tabla 7). Los datos numéricos por su parte, indican que las plantas regadas con ARST efectivamente desarrollaron tallos largos y engrosados, reflejándose así en peso seco, lo cual puede ser debido a la gran cantidad de materia orgánica y nutrientes contenidos en el agua.

Tabla 7. Resultados obtenidos mediante el software InfoStat para el análisis de varianza y comparación de medias para peso seco del tallo (g).

Tratamiento	No. de Muestreo		
	1	2	3
SS	0.23 C	1.36 D	4.57 B
ARTSB	0.43 B C	2.05 C	4.05 B
ARTBU	0.26 B C	1.16 D	2.83 B
ARST	0.53 A B	3.33 B	8.63 A
AP	0.72 A	4.78 A	3.48 B

Medias con una letra común, no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). SS= Solución Steiner, ARTSB = Agua residual tratada en sistema bioelectroquímico, ARTBU = Agua residual tratada en el bosque urbano, ARST = Agua residual sin tratamiento, AP = Agua potable.

6.2.3 Peso seco de hojas

El análisis de varianza y la comparación de medias arrojaron que existe diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los tratamientos durante el primer y segundo muestreo cuando son irrigados con AP, ya que en el tercer muestreo no se detectó diferencia estadística significativa entre tratamientos, tal como se muestra en la tabla 8. Los datos obtenidos de forma numérica en peso seco de hojas indicaron que el AP y ARST son similares en el desarrollo aéreo del cultivo, ya que, al comparar el crecimiento de los tallos, como la generación de hojas, el comportamiento en varias repeticiones, fue casi igual.

Tabla 8. Resultados obtenidos mediante el software InfoStat para el análisis de varianza y comparación de medias para peso seco de hojas (g).

Tratamiento	No. de Muestreo		
	1	2	3
SS	0.53 B	1.70 B	7.12 A
ARTSB	0.88 B	3.45 B	5.21 A
ARTBU	0.50 B	2.13 B	4.80 A
ARST	0.79 B	3.79 B	6.10 A
AP	2.08 A	6.45 A	5.40 A

Medias con una letra común, no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). SS= Solución Steiner, ARTSB = Agua residual tratada en sistema bioelectroquímico, ARTBU = Agua residual tratada en el bosque urbano, ARST = Agua residual sin tratamiento, AP = Agua potable.

7. CONCLUSIONES

La aplicación de aguas residuales sin tratar, favorece el crecimiento y desarrollo del cultivo de espinaca, sin embargo, presenta una alta incidencia de plagas por lo que el tratamiento ARST no se recomienda para irrigar vegetales cuyas partes comerciales son hojas, tallos, y raíces de consumo en fresco.

Las aguas tratadas en ambos sistemas ARTBU y ARTSB no cuentan con los suficientes nutrientes para favorecer el desarrollo de la espinaca, pero pueden ser una alternativa si se realizara un análisis de nutrimentos y se ajustarán estos efluentes con las cantidades de nutrientes que falten.

Con los resultados obtenidos se acepta la hipótesis establecida previamente al experimento, ya que efectivamente, las plantas irrigadas con efluentes residuales sin tratamiento mostraron una tasa mayor de crecimiento y desarrollo en la mayoría de los parámetros en cada muestreo, con respecto a las irrigadas con Solución Nutritiva Steiner, la cual mostró buenos resultados en el desarrollo de raíces en las últimas etapas del cultivo.

8. REFERENCIAS

1. Abegunrin, T. P., Awe, G. O., Idowu, D. O., & Adejumobi, M. A. (2016). Impact of wastewater irrigation on soil physico-chemical properties, growth and water use pattern of two indigenous vegetables in southwest Nigeria. *Catena*, 139, 167-178.
2. 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.
3. ADAMA (2016). Ficha técnica de productos fitosanitarios. Brálic. 3p. Recuperado de: <https://www.adama.com/mexico/es/portafolio-de-soluciones/manejo-de-plagas/bralic>
4. Ahmad, B., Bakhs, K., & Hassan, S. (2006). Effect of sewage water on spinach yield. *International Journal of Agriculture and Biology*, 8 (3): 423-425.
5. Anda-Sánchez J. (2017). Decentralized Sanitation and Sustainable Reuse of Municipal Wastewater in México. *Sociedad y ambiente*, (14), 119-143. Recuperado el 21 de mayo de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-65762017000200119&lng=pt&tlng=.
6. Ángeles-Hernández, J. M., Ojeda-Bustamante, W., & Cisneros-Estrada, X. (2018). Métodos de riego y prácticas de manejo del cultivo para el uso de las aguas residuales tratadas en la agricultura en México. IV Congreso Nacional de Riego y Drenaje COMEII 2018, Aguascalientes. Del 15 al 18 de octubre. 10 páginas.
7. Anwar, Z., Irshad, M., Fareed, I., & Faridullah. (2015). Spinach (*Spinacia oleracea* L.) response and accumulation of salts in soil under surface and subsurface wastewater irrigation. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24(9), 2850-2859.
8. AQUASTAT. (2021). Sistema mundial de información de la FAO sobre el agua en la agricultura. Recuperado el día 13 de agosto del 2021, de <http://www.fao.org/aquastat/es/>.
9. Barker-Reid, F., Harper, G., & Hamilton, A.J. (2010). Efluente afluyente: cultivo de vegetales con aguas residuales en Melbourne, Australia, una ciudad rica pero totalmente seca. *Sistemas de Riego y Drenaje*, 24 (1-2), 79-94.
10. Cantú, M. (2002). Efecto de las aguas residuales sobre la producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en la Huasteca Potosina, México. Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León.

11. Christou, A., Karaolia, P., Hapeshi, E., Michael, C., & Fatta-Kassinou, D. (2017). Riego de vegetales en aguas residuales a largo plazo en sistemas agrícolas reales: concentración de productos farmacéuticos en el suelo, absorción y bioacumulación en frutos de tomate y evaluación de riesgos para la salud humana. *Investigación del Agua*, 109: 24-34.
12. Cisneros-Estrada, X. & Saucedo-Rojas H. (2016). Reúso de aguas residuales en la agricultura. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua Coordinación de Riego y Drenaje
13. CONAGUA (2011). Usos del agua. Estadísticas del agua en México. Capítulo 3. Usos del agua.
http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/SINA/Capitulo_3.pdf
14. da Fonseca, A. F., Melfi, A. J., & Montes, C. R. (2005). Maize growth and changes in soil fertility after irrigation with treated sewage effluent. II. Soil acidity, exchangeable cations, and sulfur, boron, and heavy metals availability. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36(13-14), 1983-2003.
15. García-Peña, M. I. (2004). Efecto del agua residual sobre el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea var. italica L.*). Tesis de Licenciatura U.A.A.A.N. Buenavista Saltillo Coah., México.
16. Garzón Zúñiga, M. A., González Zurita, J., & García Barrios, R. (2016). Evaluación de un sistema de tratamiento doméstico para reúso de agua residual. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(2), 199-211.
17. Gatta, G., Libutti, A., Gagliardi, A., Beneduce, L., Brusetti, L., Borruso, L., & Tarantino, E. (2015). Treated agro-industrial wastewater irrigation of tomato crop: Effects on qualitative/quantitative characteristics of production and microbiological properties of the soil. *Agricultural Water Management*, 149, 33-43.
18. Gonçalves, I., Garcia, G., Rigo, M., dos Reis, E., & Tomaz, M. (2013). Nutrition and growth of the conilon coffee after application of treated wastewater. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 8 (1), 71-77.
19. González-Aguilar R. G. (2012). Aprovechamiento de Agua Residual Urbana en la Producción Hidropónica de Plantas de Lechuga (*Lactuca sativa L.*) Tesis de Licenciatura U.A.A.A.N. Buenavista Saltillo Coah., México.

20. González-Moctezuma, C. (2017). Evaluación de Soluciones Nutritivas Steiner Elaboradas con Efluentes Residuales en el Cultivo del Rábano (*Raphanus sativus L.*). Tesis de Licenciatura U.A.A.A.N. Buenavista Saltillo Coah., México.
21. Gu, G., Yin, H. B., Ottesen, A., Bolten, S., Patel, J., Rideout, S., & Nou, X. (2019). Microbiomes in Ground Water and Alternative Irrigation Water, and Spinach Microbiomes Impacted by Irrigation with Different Types of Water. *Phytobiomes Journal*, PBIOMES-09.
22. Guadarrama-Brito & Galván-Sánchez. (2015). Impact of using wastewater in agricultura. *Revista iberoamericana de las ciencias biológicas y agropecuarias*. Recuperado el día 10 de octubre del 2020 de: <http://www.ciba.org.mx/index.php/CIBA/article/view/29/86>
23. Guzmán P., J.M. (2011). Reutilización de aguas residuales para riego en agricultura. En: Flórez R., V.J. (Ed.). *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo*. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia. pp. 127-151
24. Hamilton, A. J., Stagnitti, F., Xiong, X., Kreidl, S. L., Benke, K. K., & Maher, P. (2007). Wastewater irrigation: the state of play. *Vadose Zone Journal*, 6(4): 823-840.
25. Hernández-Acosta, E., Quiñones-Aguilar, E. E., Cristóbal-Acevedo, D., & Rubiños-Panta, J. E. (2014). Calidad biológica de aguas residuales utilizadas para riego de cultivos forrajeros en Tulancingo, Hidalgo, México. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 20(1), 89-100.
26. Hussain, A., Priyadarshi, M., & Dubey, S. (2019). Experimental study on accumulation of heavy metals in vegetables irrigated with treated wastewater. *Applied water science*, 9(5), 1-11.
27. InfoAgro (2021). El cultivo de la espinaca. The spinach growing. Recuperado el día 13 de septiembre del 2021, de <https://www.infoagro.com/hortalizas/espinaca.htm>.
28. Jiménez, J., Fuentes, L. S., Espinosa, L., Arias, L. A., Rodríguez, M., Garzón, C., & Gil, R. (2010) El cultivo de la espinaca en Colombia (*Spinacia oleracea L.*) y su manejo fitosanitario en Colombia. Fundación Universidad de Bogotá 116 p.
29. Khan, S. A., Liu, X., Shah, B. R., Fan, W., Li, H., Khan, S. B., & Ahmad, Z. (2015). Metals uptake by wastewater irrigated vegetables and their daily dietary intake in Peshawar, Pakistan. *Ecological Chemistry and Engineering*, 22(1), 125.

30. Kobaissi, A. N., Kanso, A. A., & Kanbar, H. J. (2014). Translocation of heavy metals in *Zea mays* L. treated with wastewater and consequences on morphophysiological aspects. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(3), 297-305.
31. Madhvi, S., Sharma, K. C., & Manju, S. (2014). Study of Morphological Characteristics of Spinach Irrigated with Industrial wastewater of Bhiwadi, Rajasthan, India. *International Research Journal of Environment Sciences*, 3(3), 31-38.
32. Mateo-Sagasta, J. (2017). Reutilización de aguas para agricultura en America Latina y el Caribe: estado, principios y necesidades. Santiago, Chile: FAO. 133p.
33. Mok, H. F., & Hamilton, A. J. (2014). Exposure factors for wastewater- irrigated Asian vegetables and a probabilistic rotavirus disease burden model for their consumption. *Risk Analysis*, 34(4), 602-613.
34. Navarro-López, E. R. (2010). Uso de agua residual en la producción de tomate hidropónico en invernadero. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Chapingo. Estado de México, México.
35. Nolasco A., Montoya-Barrientos K. & Edison (2013). Determinación de los fitoconstituyentes y nutrientes de las hojas de *Spinacia oleracia* L. “espinaca”, provenientes de las localidades de Santa Rosa y Pedregal de la provincia de Trujillo. Tesis, Universidad Nacional de Trujillo. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Perú.
36. Pacco, H. C., Rinaldi, M. M., Sandri, D., Neves, P. H., & Valente, R. R. (2014). Características de tomate producido con agua tratada en interior y exterior de invernadero. *Horticultura Brasileira*, 32(4), 417-425.
37. Portela-Dussán, D. D., Chaparro-Giraldo, A., & López-Pazos, S. A. (2013). La biotecnología de *Bacillus thuringiensis* en la agricultura. *Nova*, 11(20), 87-96.
38. Reynolds, K. A. (2001). Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica. *Latinoamérica*, 3 p.
39. Roy, S., & Gupta, S. (2016). Effect of wastewater irrigation on soil and some selected vegetables grown in Asansol, West Bengal. *International Journal of Environmental Sciences*, 6(5), 894-904.
40. Secretaría del Medio Ambiente (2021). Glosario-Definición. Agua Residual. Recuperado el 1 de octubre del 2021, de <http://www.sadsma.cdmx.gob.mx:9000/datos/glosario-definicion/Agua%20residual>.

41. Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (2008). Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 347-359.
42. Steiner, A. A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition, 15(2), 134-154. *Plant and Soil*. Recuperado el 11 de Junio del 2019, de <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01347224>
43. TECNOAGRO (2010, 27 de noviembre). El cultivo de la Espinaca *Spinacea oleracea L.* TecnoAgro, Avances Tecnológicos y Agrícolas. Recuperado de: <https://tecnoagro.com.mx/no.-63/el-cultivo-de-la-espinaca-spinacea-oleracea-l>
44. Tessaro, D., & Sampaio, S., & Almeida Castaldelli, A. (2016). Wastewater use in agriculture and potential effects on meso and macrofauna soil. *Ciência Rural*, 46 (6), 976-983.
45. Yin, H. B., Nou, X., Gu, G., & Patel, J. (2018). Microbiological quality of spinach irrigated with reclaimed wastewater and roof- harvest water. *Journal of applied microbiology*, 125(1), 133-141.
46. Zurita-Martínez, F., Castellanos-Hernández, O., y Rodríguez-Sahagún, A. (2011). El tratamiento de las aguas residuales municipales en las comunidades rurales de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (1), 139-150.