

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Aprovechamiento de Agua Residual Urbana en la Producción Hidropónica de
Plantas de Lechuga (*Lactuca sativa* L.)

Por:

RONI MADAIN GONZÁLEZ AGUILAR

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre, 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Aprovechamiento de Agua Residual Urbana en la Producción Hidropónica de
Plantas de Lechuga (*Lactuca sativa* L.)

Por

RONI MADAIN GONZÁLEZ AGUILAR

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

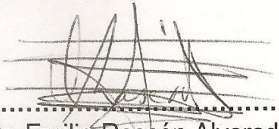
INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por:



M.C. Leticia Escobedo Bocardo
Asesor Principal


.....
Dr. Ricardo Requejo López
Coasesor


.....
Dr. Emilio Rascón Alvarado
Coasesor

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

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre, 2012

DEDICATORIAS

A mis Padres:

Blandino González Hernández y Reyna Aguilar Velázquez, a ustedes les debo la vida, mil gracias porque de alguna u otra forma me inculcaron a seguir estudiando y hacer de mí un hombre de bien, los quiero mucho.

A mis abuelos:

Por haberme dado el regalo más preciado de mi vida que son mis padres, que Dios me los bendiga en donde quiera que estén.

A mis hermanos:

Yuri, Bequer, William, Udier, Araceli, Maribel, Lili, Nanci y Tania, por respetar mi decisión de mi carrera y por estar conmigo en las buenas y en las malas, porque a pesar de los momentos difíciles que hemos pasado nunca se han dado por vencidos y eso admiro mucho de ustedes, gracias hermanos por todo el apoyo que me brindaron.

A mis sobrinos:

Jaime, Wilberli, Yurem, Edwardo, Víctor, Alexia, Rosi Reyna, Yamileni, porque han traído sonrisas, alegría y felicidad a la familia.

A mis primos:

Gali, Imer y Anita los quiero como mis hermanos y que Diosito me los cuide.

A mis cuñados (as):

Wilder Gálvez por su apoyo, consejos y exhorto para lograr esta valiosa carrera, el cual estoy totalmente agradecido, así también por estar en los momentos más difíciles con la familia eres un claro ejemplo para nosotros y para la sociedad por que para enfrentar los obstáculos no hay que bajar las riendas.

Frankly porque de alguna u otra forma me motivó para culminar mi profesión.

Anabell por ser una persona emprendedora, luchona y porque has estado en las buenas y en las malas con mi familia y que ahora es tu familia. Gracias.

Rosita porque eres un miembro más de la familia y porque sé que eres también una mujer emprendedora y sin duda alguna también eres un ejemplo para todos.

A mi tía:

Edilma por sus sabios consejos y porque ha sido la persona amiga de mi linda madre, y aun cuando las circunstancias son malas ella siempre está con su apoyo, y por supuesto que a todos sus hijos porque nos inculcan a buscar y a seguir las cosas buenas de la vida.

A Yureida Gálvez Sánchez porque de alguna u otra forma me dio ánimo para concluir este valioso trabajo. Gracias.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, por haberme dado la existencia, por estar siempre en los momentos más difíciles de mi vida, por armarme de valentía y fuerzas para enfrentar los obstáculos de forma análoga e inteligente y por hacer de mí un hombre de provecho, te estaré eternamente agradecido.

A LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO, (MI “ALMA TERRA MATER”), por permitirme ser parte de ella y formarme profesionalmente.

AL DR. RICARDO REQUEJO LÓPEZ, en gran medida, por las facilidades brindadas para el establecimiento de este trabajo, por aportarme conocimientos además de su apoyo, paciencia y sugerencias durante el desarrollo del mismo.

A LA M.C. LETICIA ESCOBEDO BOCARDO, por sus ánimos y palabras siempre positivas que lograron motivarme en cada opinión durante este trabajo.

AL DR. EMILIO RASCÓN ALVARADO, por su valiosa participación en la revisión, y su paciencia otorgada en la estructuración del trabajo y también por formar parte del comité evaluador.

A LA M.C. HERMILA T. GARCÍA OSUNA, por su valiosa colaboración brindada en este trabajo.

A LA LIC. SANDRA LÓPEZ BETANCOURT, por su colaboración en la estructuración del trabajo, además de su confianza que depositó en nosotros para el servicio del área de computación.

A mis amigos y compañeros de la carrera de **Ingeniero Agrónomo en Producción** por todos los momentos compartidos durante nuestra estancia en la universidad.

DEDICATORIAS	iii
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
I.INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS GENERALES	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
HIPÓTESIS	4
II.REVISIÓN DE LITERATURA	5
Disponibilidad de Agua en el Planeta	5
Concepto de Aguas Residuales	7
Criterios de Calidad del Agua.....	8
Tecnologías de Tratamiento del Agua Residual.....	10
Desinfección por Tratamiento con Ozono	11
Ventajas y Desventajas de la Ozonización.....	12
Ventajas.....	12
Desventajas.....	13
Desinfección por Rayos Ultravioleta (UV)	16
Ventajas de los Rayos Ultravioleta.....	17
Humus Líquido de Lombriz.....	18
Ventajas que Ofrece el Humus Líquido de Lombriz	19
Uso de Líquido de Lombriz en la Producción de Cultivos	19
Sistema de Raíz Flotante	21
Desventajas.....	22
Oxigenación de la Solución Nutritiva	23
Oscuridad en Raíces	25
Soluciones Nutritivas en la Producción Hidropónica de Lechuga.....	26

Potencial de Hidrógeno (pH) de la Solución Nutritiva en Lechuga	27
Conductividad eléctrica (CE) de la Solución Nutritiva en el Cultivo de Lechuga.....	27
III.MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
Ubicación del Área de Estudio	28
Ubicación Geográfica	28
Materiales.....	29
Métodos.....	30
Diseño Experimental	30
Producción de Plántula	30
Sistemas de Tratamiento de Agua	31
Preparación de las Soluciones Nutritivas	31
Formulación de la Solución Nutritiva Ideal al 100%	32
Formulación de la Solución Nutritiva Ideal al 75% + 25% Líquido de Lombriz para 50 Litros de Solución para Lechuga.	34
Cálculo del 25% de Líquido de Lombriz	35
Formulación de la Solución Nutritiva Ideal al 50% + 50% Líquido de Lombriz para 50 Litros de Solución para Lechuga.	37
Cálculo del 50% Líquido de Lombriz	38
Formulación de la Solución Nutritiva Ideal al 25% + 75% Líquido de Lombriz para 50 litros de Solución para Lechuga.	39
Cálculo del 75% Líquido de Lombriz	40
Preparación de las Bandejas.....	42
Producción de Lechugas bajo el Sistema de Raíz Flotante	42
Trasplante	42
Diseño de los Tratamientos.....	43
Parámetros Evaluados Durante el Ciclo del Cultivo	44
Cosecha	44
Parámetros Evaluados al Finalizar el Ciclo del Cultivo	44
Análisis Microbiológico de la Planta de Lechuga.....	44

VARIABLES AGRONÓMICAS.....	45
Peso Fresco Aéreo (PFA)	45
Peso Fresco Raíz (PFR)	45
Longitud de Raíz (LR)	45
Número de Hojas (NH).....	46
Peso Seco de Raíz (PSR).....	46
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
Peso Fresco Aéreo (PFA)	48
Peso Fresco de Raíz (PFR)	50
Longitud de Raíz (LR)	53
Número de Hojas (NH).....	55
Peso Seco de Raíz (PSR).....	56
Valores Promedio de los Parámetros Evaluados Durante el Desarrollo del Cultivo de Lechuga.....	58
Altura de Planta.....	58
pH en el Desarrollo de la Lechuga	61
La Conductividad Eléctrica (CE) Durante el Ciclo del Cultivo de la Lechuga.....	64
Eficiencia en el Uso de la Solución Nutritiva	67
Análisis Microbiológico del Agua Residual y del Tejido Vegetal de Lechuga.....	68
V.- CONCLUSIONES.....	71
VI. LITERATURA CITADA.....	73
Citas de internet	77

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Título	Pág.
2.1	Límites Máximos Permisibles de los principales contaminantes.....	9
2.2	Registro de crecimiento de los cultivos compuestos.....	14
2.3	Solución empleada en lechuga en cultivo hidropónico.....	26
2.4	Composición de la disolución ideal para el cultivo de lechuga.....	27
3.1	Formulación de la solución nutritiva para lechuga.....	32
3.2	Diseño de la solución nutritiva en aniones y cationes para lechuga.....	33
3.3	Cantidad de fertilizantes (macro-elementos) requeridos en la preparación de 50 litros de solución nutritiva para lechuga.....	33
3.4	Cantidad de fertilizantes para los micro-elementos empleados en la preparación de 50 litros de solución nutritiva para lechuga.....	33
3.5	Cantidad de macro y micro-elementos empleados en la preparación de 50 litros de solución nutritiva al 75% + 25% líquido de lombriz para lechuga.....	36
3.6	Cantidad de macro y micro-elementos empleados en la preparación de 50 litros de solución nutritiva al 50% + 50% líquido de lombriz para lechuga.....	39
3.7	Cantidad de macro y micro-elementos empleados en la preparación de 50 litros de solución nutritiva al 25% + 75% Líquido de lombriz para lechuga.....	41

3.8	Distribución de los tratamientos para la producción hidropónica de lechuga bajo el sistema de raíz flotante.....	43
4.1	Cuadrados medios y significancias para las diferentes variables evaluadas en el análisis de varianza en la producción hidropónica de lechuga.....	47
4.2	Comparación de medias de los tratamientos de la variable Peso Fresco Aéreo (PFA).....	49
4.3	Comparación de medias de los tratamientos para la variable Peso Fresco de Raíz (PFR).....	52
4.4	Comparación de medias de los tratamientos para la variable Longitud de Raíz (LR).....	54
4.5	Comparación de medias de los tratamientos para la Variable Número de Hojas (NH).....	55
4.6	Comparación de medias de los tratamientos de la variable Peso Seco de Raíz (PSR).....	57
4.7	Datos de Altura, pH y CE promedio tomados durante el ciclo del cultivo de lechuga con sus respectivas soluciones ideales bajo el sistema de raíz flotante.....	63
4.8	Valores de CE de los 12 tratamientos evaluados en dos fechas diferentes para cada tipo de agua durante el desarrollo del cultivo de lechuga bajo el sistema de raíz flotante.....	65
4.9	Eficiencia en el uso de la solución nutritiva por tratamiento (suministro en litros) durante el desarrollo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante.....	67
4.10	Análisis bacteriológico de los diferentes tipos de agua.....	69
4.11	Análisis microbiológico de las lechugas después de la cosecha para cada tratamiento.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Pág.
2.1	Método de Gericke para cultivo en solución (Vista de frente), Gericke, 1940.....	24
2.2	Método de Gericke para cultivo en solución (Vista de perfil), Gericke, 1940.....	25
3.1	Mapa de localización del sitio de experimental.....	29
4.1	Efecto de los distintos tratamientos con respecto a PFA.....	50
4.2	Efecto de los distintos tratamientos con respecto a la variable PFR.....	52
4.3	Concentración de los tratamientos con respecto a la variable LR.....	54
4.4	Concentración de los tratamientos con respecto a la variable NH.....	56
4.5	Concentración de los tratamientos con respecto a la variable PSR.....	57
4.6	Altura de la planta (cm) de los 12 tratamientos evaluados durante el desarrollo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante.....	60
4.7	Valores promedios de pH de los 12 tratamientos evaluados durante el desarrollo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante.....	62
4.8	Valores promedios de CE por tipo de solución nutritiva utilizada durante el desarrollo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante.....	66

RESUMEN

La presente investigación, se llevó a cabo en el invernadero localizado a un costado del Departamento de Ciencias del Suelo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Para ello se sembraron en el invernadero semillas de lechuga cultivar “Great Lakes 118” tipo Romana en dos charolas de germinación de 200 cavidades. Las plántulas se desarrollaron en 41 días, quedando listas para su trasplante. En este trabajo se evaluó la ozonización y el empleo de rayos ultravioleta en la desinfección del agua residual urbana para la producción hidropónica de lechuga. Se midió el efecto de la concentración de las soluciones nutritivas a base de sales minerales, líquido de lombriz y la combinación de líquido de lombriz con sales minerales en agua residual sobre el cultivo de lechuga. Se trataron 160 litros de agua residual con ozono, 160 litros con rayos UV y 160 litros no se trataron. Se formularon 4 soluciones: 1) solución nutritiva ideal al 100%(SNI 100%), 2) solución nutritiva ideal al 75% + 25 % líquido de lombriz (SNI al 75% + 25% SNLL), 3) 50% SNI + 50% líquido de lombriz (SNI al 50% + 50% SNLL) y 4) 25% SNI + 75% Líquido de lombriz (SNI al 25% + 75% SNLL). Se trasplantaron 6 plántulas de lechuga por bandeja con un suministro de 19 litros de agua con su respectiva solución nutritiva y tratamiento (T) de agua quedando como sigue: T1 (SNI 100%), T2 (75% SNI + 25% SNLL), T3 (50% SNI + 50% SNLL) y T4 (25% SNI + 75% SNLL) con agua sin tratar; T5 (SNI 100%), T6 (75% SNI + 25% SNLL), T7 (50% SNI + 50% SNLL) y T8 (25% SNI + 75% SNLL) con agua ozonizada; T9 (SNI 100%), T10 (75% SNI + 25% SNLL), T11 (50% SNI

+ 50% SNLL) y T12 (25% SNI + 75% SNLL) agua tratada con rayos UV. El diseño estadístico utilizado fue en un diseño de bloques al azar con 12 tratamientos y 4 repeticiones. Se efectuó un análisis de varianza con prueba de Duncan mediante el programa estadístico SPSS 10.0 (Statistical Product and Services Solutions). En conclusión las lechugas de mayor rendimiento y vigor se produjeron con el tratamiento 12 (agua tratada con rayos UV y elaborado con 25 % de solución nutritiva ideal + 75 % de líquido de lombriz). El consumo promedio de agua por planta fue de 7.17 litros y un promedio de peso fresco aéreo de 94.8 g. Sin embargo, en cuanto a la eficiencia en el consumo de la solución fue el T4 (agua residual sin tratar y elaborado con 25 % de solución nutritiva ideal + 75 % de líquido de lombriz) con un consumo promedio de 4.13 litros y un promedio de peso fresco aéreo de 90.5 gramos. Los resultados del análisis microbiológico de hojas de lechuga para detectar coliformes fecales muestran que no hubo presencia de estas bacterias en todos los tratamientos probados (agua residual sin tratar, agua residual tratada con ozono y agua residual tratada con rayos UV).

Palabras clave: Lechuga, sistema de raíz flotante, solución de nutrientes, líquido de lombriz, tratamiento de agua residual.

I.INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Samperio (2004) la palabra hidroponía se deriva de los vocablos griegos: “hydro” o “hudor” que significa agua y ponos”, trabajo o actividad.

Expone Barbado (2005) que la hidroponía es una tecnología para desarrollar plantas en solución nutritiva (SN) (agua y fertilizantes), con o sin el uso de un medio artificial de soporte (grava, arena, vermiculita, lana de roca, etc.) para proveer soporte mecánico a la planta.

La hidroponía a nivel comercial se generó por la necesidad de incrementar la producción de alimentos de origen vegetal, por la restricción de tierras aptas para la producción agrícola, por la escasez de agua o la mala calidad de ésta para usarla en la agricultura, causas que estimularon a diversos investigadores a buscar alternativas para el desarrollo de las plantas (FAO, 2012).

Las técnicas de producción en hidroponía se clasifican en función del medio de crecimiento en que se desarrolla el sistema radical de las plantas, al conjuntar los criterios propuestos por Steiner (1966), Jensen y Collins (1985) y Resh (1991), se pueden clasificar en:

Técnicas en medio líquido (no agregado), dentro de éstas se ubican a las técnicas en película nutritiva (NFT), hidroponía en flotación y la aeroponía; en

el grupo agregado se encuentran los cultivos en arena, grava (rocas porosas de origen volcánico como tezontle, perlita y zeolita), otros sustratos como la lana de roca, aserrín, turba y espumas sintéticas como el poliestireno (Barrios, 2004).

De acuerdo a Jensen y Collins (1985) el sistema hidropónico líquido no tiene un medio de soporte; los sistemas en agregado tienen un medio sólido de soporte. Los sistemas hidropónicos han sido clasificados como abiertos (una vez que la SN es aplicada a las raíces de las plantas, ésta no es reusada), o cerrado (la SN excedente es recuperada, regenerada y reciclada).

Resh (2001) menciona que la hidroponía en flotación consiste en sumergir el sistema radical en la SN, el vástago de la planta es suspendido sobre la SN con materiales ligeros e inertes, el más utilizado es la placa de unicel. La SN continuamente es aireada.

Samperio (1999) indica que la calidad del agua es sumamente importante para practicar la hidroponía por ello es de vital importancia mencionar sobre el desperdicio de ésta así como los medios para mejorar sus características y que de esta manera sea factible utilizarla.

La irrigación de cultivos agrícolas con aguas residuales es una práctica común, especialmente en regiones áridas como en el norte de México (Martínez, 1999), donde su uso se ha generalizado debido a la escasez de agua de buena calidad, sin embargo, existen requerimientos de calidad que deben tomarse en

cuenta para su aprovechamiento en riego, lo que evita la contaminación a los cultivos que pueden afectar a los animales y al hombre.

Viso (2005) menciona que en México, no es usual que los contaminantes sean removidos por el tratamiento de aguas residuales; no obstante, el agua se usa para irrigar cultivos y como resultado se han detectado trazas de metales, microorganismos patógenos y algunos compuestos orgánicos tóxicos en legumbres y otros cultivos.

La reutilización de agua residual conlleva un riesgo sanitario, para ello se han desarrollado sistemas de desinfección que logran eliminar microorganismos hasta niveles seguros para el correcto empleo de la misma. Dentro de estos sistemas de desinfección se encuentran los métodos físicos: rayos ultravioletas, y químicos: cloración, dióxido de cloro y desinfección con ozono.

En base a lo anterior se estableció esta investigación, con los siguientes objetivos e hipótesis:

OBJETIVOS GENERALES

- Medir el nivel de sanidad de lechuga crecida en agua residual
- Estudiar el efecto de la adición de coadyuvantes orgánicos en el sistema de producción hidropónico

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer la eficiencia en el uso de la solución nutritiva
- Cuantificar los coliformes fecales presentes en las soluciones empleadas y en las lechugas

HIPÓTESIS

- Con la desinfección previa del agua residual se generará un nivel de sanidad en lechuga aceptable según Norma Oficial Mexicana NOM-112-SSA1-1994
- Debido al efecto quelatante de sustancias húmicas contenidas en el líquido de lombriz a emplear, se incrementará la absorción/asimilación de elementos minerales reflejándose esto en la producción de biomasa en lechuga

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Disponibilidad de Agua en el Planeta

El agua dulce constituye aproximadamente el 0.6% de la cantidad total de agua en el planeta. El recurso agua dulce está irregularmente distribuido y la calidad del agua está deteriorándose en muchas partes del mundo, pero está también mejorándose en algunos lugares.

En el mundo está presente una crisis del agua. La causa de esta crisis puede ser atribuida a la escasez de precipitación y limitación del recurso, en adición al aumento en la demanda por los sectores: agrícola, urbano e industrial; por otro lado la mayoría del agua disponible globalmente se utiliza en el riego de cultivos.

La crisis se ha manifestado más en las zonas áridas y semiáridas, lo cual ha ocasionado que año con año se tengan pérdidas totales de la producción agrícola de temporal, por lo cual se debe buscar la reutilización del agua residual en vez de eliminarla a los cuerpos de agua superficiales, ya que puede contribuir a disminuir la contaminación del medio ambiente, además de un beneficio económico al aprovechar los nutrientes como nitrógeno y fósforo (González, *et al.*, 2001).

Conde, *et al.* (2008) define el término cambio climático como la modificación del clima con respecto al historial climático a una escala global o

regional. Tales cambios se producen a diversas escalas de tiempo y sobre todos los parámetros climáticos. México será uno de los países más afectados y en 50 años tendrá una disminución de la precipitación del orden del 60% lo que impedirá atender el reto del suministro de agua para todos, la escasez de agua crecerá para el año 2025 y más de la mitad de la población mundial estará en condiciones de severa escasez.

En nuestro país la disponibilidad natural de agua es de 475 km^3 al año (escurrimiento superficial e infiltración), lo que representa un promedio de $4,505 \text{ m}^3/(\text{hab/año})$, valor superior al indicador mundial de escasez de agua de $2,000 \text{ m}^3/(\text{hab/año})$, sin embargo, la distribución de recursos hídricos es muy desigual ya que el sureste mexicano tiene un valor de $13,290 \text{ m}^3/(\text{hab/año})$ y el resto del país tiene solo un promedio de $1,835 \text{ m}^3/(\text{hab/año})$.

El 68% del agua disponible se encuentra en regiones donde vive solo el 23% de la población, y se genera el 15% del PIB, mientras que el 32% del agua disponible se encuentra en regiones donde se concentra el 77% de la población y se genera el 85% del PIB. A diciembre del 2004 se recolectaban en México $205 \text{ m}^3/\text{s}$ de aguas residuales en los sistemas de alcantarillado y solamente el 31.5% de este caudal se depuraba en los sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales (CNA, 2005).

La precipitación pluvial anual en México es de 1500 km^3 (Anaya, 2004), si se aprovechara solo el 3% de esta agua se podría abastecer a los 13

millones de mexicanos que actualmente no cuentan con agua potable, se darían dos riegos de auxilio a 18 millones de hectáreas de temporal y se regarían cien mil hectáreas de invernadero.

Es urgente el hacer un uso más eficiente del agua y como alternativa está el aprovechamiento de aguas residuales, las que con un manejo adecuado beneficiarían significativamente a la población al ser empleadas entre otras actividades, a la recarga de acuíferos, en procesos industriales, al riego de áreas de recreo y pastizales, así como en el importante sector de la producción de cultivos hortícolas (Bernabe, 1996).

Concepto de Aguas Residuales

Llamamos aguas residuales aquellas aguas que se han canalizado a los núcleos urbanos (Seoáñez, 1999), que se han utilizado en usos domésticos (inodoros, fregaderos, lavadoras, lavabos, fregaplatos y baños) y que pueden contener, además, algún residuo de los arrastres de las aguas de lluvia por una parte y de pequeñas actividades industriales urbanas por otra.

Criterios de Calidad del Agua

Martínez (1999) menciona que el agua de buena calidad tiene la capacidad potencial de permitir un rendimiento máximo de los cultivos, las aguas de inferior calidad agrícola pueden originar problemas en el suelo y cultivo que afecta el rendimiento, quedando restringido su uso para el riego a condiciones específicas del cultivo y del lugar.

Hammer (1986) reporta que la protección de la salud humana es la principal consideración en el reuso del agua residual, de ahí que, el parámetro principal de la calidad del agua para agua reclamada es la concentración de bacterias coliformes.

Debido a que los procesos de tratamiento varían en efectividad para remover diferentes tipos de patógenos entonces la calidad del agua para el reuso es también juzgado por la secuencia de procesos unitarios y procesos de tratamiento especificados para una aplicación dada tomando en cuenta ambos: el riesgo implicado en el reuso de agua residual y el grado de tratamiento que es factible.

El pH, conductividad eléctrica y boro, son de importancia agrícola y, según la norma NOM-032-ECOL-1999, los límites máximos permisibles (LMP) son 6.5 a 8.5 para pH, 2.0 (mS/cm) para conductividad eléctrica y 1.5 (mg L⁻¹) para boro (Corbitt, 1990).

El Cuadro 2.1 muestra la Norma Oficial Mexicana (NOM-001-ECOL-1996) para agua usada en riego.

Cuadro 2.1 Límites Máximos Permisibles de los principales contaminantes

Variable	Límites máximos permisibles (mg L ⁻¹)	
	Promedio mensual	Promedio diario
Grasas y aceites	15.00	25.00
Sólidos sedimentables	1.00	2.00
Sólidos suspendidos totales	150.00	200.00
Nitrógeno total	40.00	60.00
Fósforo total	20.00	30.00
Arsénico	0.20	0.40
Cadmio	0.20	0.40
Cobre	4.00	6.00
Cromo	1.00	1.50
Mercurio	0.01	0.02
Níquel	2.00	4.00
Zinc	10.00	20.00
Plomo	0.50	1.00

El Reglamento Federal de Agua Potable establece los niveles máximos permisibles de coliformes que debe de existir en el agua para poder utilizarla.

- a) Menos de 20 organismos de los grupos coli y coliformes por litro de muestra, definiéndose como organismos coli y coliformes todos los bacilos

aerobios y anaerobios facultativos no esporógenos, que fermentan el caldo lactozado con formación de gas.

- b) Menos de 200 colonias bacterianas por ml de muestra en una placa de agar incubado a 37 °C por 24 hrs.
- c) Ausencia de colonias bacterianas licuantes de la gelatina, cromógenas, o fétidas en la siembra de un ml de muestra en gelatina incubada a 20 °C por 48 hrs.

Tecnologías de Tratamiento del Agua Residual

Adin y Asano (1998) mencionan que el grado de tratamiento requerido para la recuperación del agua residual, varía de acuerdo a las especificaciones de aplicación de reutilización y asociado a la calidad requerida de agua. Los sistemas de tratamientos simples involucran los procesos de separación sólido/líquido y desinfección, más se pueden considerar sistemas de tratamientos complejos que involucran una combinación de procesos, físicos, químicos y biológicos empleando un sistema múltiple para remover contaminantes.

El objetivo de la desinfección es obtener agua de forma continua exenta de bacterias y gérmenes patógenos, conforme a las normas y a los ensayos oficiales basados en *Escherichia coli*, los *Streptococos* fecales y los *Clostridium* sulfitos reductores.

Desinfección por Tratamiento con Ozono

La palabra ozono deriva del término griego “ozein” (lo que huele) y fue acuñada en 1840 por Schonbein (Cajigas, 1982). Su capacidad para desinfectar agua contaminada fue determinada en 1886 por el francés Meritens.

El ozono tiene un efecto oxidante extremadamente reactivo por la adición de un átomo de oxígeno y su acción de ozonólisis le permite actuar sobre los enlaces dobles, fijando la molécula completa de ozono sobre los átomos del doble enlace (proteínas, enzimas, etc.).

El conjunto de estas propiedades hace que actúe sobre los virus, los sabores, el color y sobre ciertos micro contaminantes, y es ampliamente utilizado para la desinfección de aguas de abastecimiento, pero los últimos avances en materia de generación de ozono y disolución han permitido que el ozono se haya convertido en una posibilidad económicamente competitiva para la desinfección de las aguas residuales (Viso, 2005). Ha sido utilizado con éxito en plantas potabilizadoras de agua, en países como Italia (Collivignarelli *et al.*, 2000), Francia y Estados Unidos (Lazarova *et al.*, 1999).

La ozonización de aguas residuales actúa como un bactericida y virucida muy efectivo, produciendo la destrucción de éstos por desintegración de la pared celular.

Ventajas y Desventajas de la Ozonización

Ventajas

- La corrección del contenido mineral del agua mediante ozono se debe a su poder de oxidación, siendo los principales elementos a los que oxida el hierro y manganeso, y compuestos tales como la urea, amoníaco, nitritos, cianuros y fenoles.
- Actúa como bioestimulante para las plantas debido a que corrige el contenido mineral, transforma la materia orgánica presente en el agua y aporta oxígeno a la raíz de las plantas.
- Elimina posibles pesticidas que pudiesen existir en el agua de riego agrícola así como detergentes y compuestos orgánicos tales como fenoles. Estos procesos de eliminación son debidos al poder de oxidación del ozono.
- Mayor crecimiento de las plantas, debido al oxígeno residual que se aporta mediante el agua con ozono a la raíz de las plantas. Igualmente la vitalidad de la planta aumenta a causa de la ausencia de gérmenes patógenos en el agua.

Desventajas

- Son sistemas que presentan un coste elevado.
- Debe generarse in situ.
- Se debe realizar un control riguroso del contenido de ozono en el agua para evitar daños en los nutrientes que contiene el agua, debido a su alta reactividad (Viso, 2005).

Rojas (2006) realizó un trabajo con el objetivo de determinar la eficiencia de la aplicación de técnicas de organoponia en cultivos urbanos utilizando compuestos selectivos tanto orgánicos como inorgánicos y agua residual tratada y comparar la eficiencia de desinfección entre 3 diferentes métodos para el tratamiento de agua residual, con Ozono, TPA y TPA + Ozono, para el riego de cultivos en módulos organopónicos.

Los resultados indicaron buen desarrollo en todos los tratamientos con respecto al crecimiento de cultivos compuestos por lechugas (*Lactuca sativa*), rábano (*Raphanus sativus L.*), yerbabuena (*Mentha piperita*), jitomate (*Lycopersicum esculentum*), manzanilla (*Matricaria recutita*) y col china (*Brassica rapa*), sin embargo el máximo crecimiento en conjunto se registró en el módulo regado con aguas tratadas con O₃ (ver Cuadro 2.2).

Cuadro 2.2 Registro de crecimiento de los cultivos compuestos

Hortaliza	Agua residual	Tratamiento			
		Ozono	TPA	TPA + O ₃	Potable
Lechuga (cm)	5.0	6.0	8.0	7.0	5.0
Jitomate (cm)	7.0	19.0	9.0	7.0	6.0
Rábano (cm)	15.0	15.0	11.0	11.0	6.0
Hierbabuena (cm)	16.0	18.5	16.0	13.0	17.0
Manzanilla (cm)	17.0	26.0	23.0	15.0	16.0
Col China (cm)	39.0	48.0	46.0	43.0	32.0
Col China (g)	705.0	1117.0	950.0	564.0	790.0

TPA= Tratamiento Primario Avanzado.

Rojas (2006) hizo pruebas de toxicidad con lechuga para los diferentes tratamientos empleados y llegaron al resultado de que el agua tratada con ozono cumple con los estándares vigentes en México en cuanto a microorganismos.

Con respecto a agentes patógenos como *Giardia sp.*, huevos de helmintos y bacterias *Vibrio cholerae*, *Salmonella tiphy* y coliformes totales y fecales, los resultados mostraron un 100 % de destrucción en el agua residual de las bacterias estudiadas después de 15 minutos de ozonización con una dosis de 4.8 mg/L a pH 7 y temperatura de 23 °C, mientras que requirieron de una hora para destrucción de helmintos y *Giardia sp.*

Rojas (2006) afirma que no se encontraron presentes en ningún caso metales no nutrientes por lo cual el agua residual estudiada se puede utilizar para reuso con fines agrícolas.

Los resultados obtenidos muestran que el ozono además de desinfectar y mejorar el crecimiento de las hortalizas, ayuda a disminuir la demanda de fertilizantes químicos, por lo que concluyeron que este es el mejor de los métodos usados durante el proyecto para el tratamiento de aguas residuales y el reuso de las mismas después de ser tratadas y con esto reducir el riesgo existente en los alimentos que se consumen sobre todo crudos y que han sido regados con aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento.

Orta *et al.*, (2002) empleó el ozono en la desinfección de agua residual tratada. Los resultados indicaron un claro efecto desinfectante del ozono para eliminar bacterias patógenas resistentes como *Vibrio cholerae* O1 fenotipo rugoso, además de bacterias indicadoras de contaminación (coliformes fecales) detectadas en el agua residual. Dichos microorganismos fueron eliminados totalmente después de 12 minutos de ozonación con una dosis de ozono aplicada en fase gas de 117.3 mg O₃/L de agua.

La población de coliformes fecales fue reducida a niveles por debajo de lo permitido por la Norma Oficial Mexicana de aguas residuales para riego agrícola (Orta *et al.*, 2002).

Así mismo estos autores mencionan que la ozonización como tecnología alternativa permite vislumbrar una mejor opción, ante la utilización del cloro, ya que el ozono puede garantizar una calidad microbiológica adecuada de aguas tratadas que se destinan al reuso. A pesar de que el cloro es el desinfectante más utilizado por su bajo costo, es importante reflexionar acerca de la formación de subproductos de desinfección como los trialometanos, y recientemente de la resistencia que empiezan a manifestar bacterias patógenas como *V. cholerae* O1 fenotipo rugoso.

Desinfección por Rayos Ultravioleta (UV)

Las lámparas UV producen una radiación que tiene una longitud de onda de 254 nm. El ADN que se encuentra en las células de todas las bacterias y virus presenta un máximo de absorción cercano a esta longitud de onda, por lo que al irradiar el ADN con luz UV genera una reacción fotoquímica que lo desactiva. De esta forma queda paralizado el metabolismo de los gérmenes impidiendo la posibilidad de alimentarse y reproducirse, con lo cual se transforman en inoos.

Este proceso remueve toda forma de vida en el agua por su gran eficacia virucida y germicida: 99% de bacterias, virus, hongos y esporas (formas resistentes de bacterias, muy difíciles de eliminar).

Los equipos de radiación UV resultan muy efectivos para la desinfección de agua, tanto de red como para potabilizar.

(<http://www.aquatecnia.com>)

Ventajas de los Rayos Ultravioleta

- Son sistemas seguros: no hay productos químicos peligrosos a dirigir o supervisar. Los resultados de la desinfección son inmediatos.
- Tiene un sistema inicial de bajo costo y un costo de la operación muy bajo.
- Son ambientalmente seguros: no hay subproductos del proceso UV, y no se descarga nada en el ambiente.
- Los sistemas UV son muy fáciles de instalar y de mantener.
- La desinfección UV es compatible con el resto de sistemas de tratamiento (Viso, 2005).

Humus Líquido de Lombriz

Es el lixiviado del humus obtenido por extracción con agua del sólido, los lixiviados contienen una cantidad de nutrientes a menudo de solo el 1% de los presentes en sólido, pero acrecentan la producción significativamente.

El humus de lombriz líquido contiene la concentración de los elementos solubles más importantes presentes en el humus de lombriz (sólido), entre los que se incluyen los humatos más importantes como son: los ácidos húmicos, fúlvicos, huminas residuales, entre otros. Aplicado al suelo o a la planta actúa como racionalizante de fertilización ya que hace asimilables en todo su espectro a los macro y micro nutrientes, evitando la concentración de sales. Crea además un medio ideal para la proliferación de organismos benéficos, bacterias, hongos, etc., que impiden el desarrollo de patógenos (Hernández, 2012).

Schnitzer (2000) define a las huminas residuales como una mezcla heterogénea de macromoléculas orgánicas con estructura química muy compleja, distinta y más estable que su forma original y provienen de la degradación de residuos de plantas y animales gracias a la actividad enzimática de los microorganismos.

Ventajas que Ofrece el Humus Líquido de Lombriz

- Estimula un mayor desarrollo radicular.
- Incrementa la producción de clorofila en la planta.
- Reduce la conductividad eléctrica característica de los suelos salinos.
- Mejora el pH de los suelos ácidos.
- Equilibra el desarrollo de hongos presentes en el suelo.
- Genera disponibilidad de los nutrientes por ser un quelatante.
- No produce toxicidad por exceso.

Uso de Líquido de Lombriz en la Producción de Cultivos

En condiciones hidropónicas se ha observado que las sustancias húmicas inducen a una precocidad en la floración y modifican el desarrollo de la raíz, es decir, hay mayor cantidad de raíces, lo que sugiere una posible interacción de las sustancias húmicas con los procesos de desarrollo (Eyheraguibel *et al*, 2008).

Sostiene Albarracín (2011) al aplicar humus líquido de origen fluvial TERRA HUMUS® (TH) cada quince días mediante el fertirriego en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero utilizando como sustrato arena lavada de río obtuvo un rendimiento de 47.1 t ha⁻¹ empleando una dosis de 4 L ha⁻¹. Se infiere que el producto TH tuvo un efecto bioestimulante sobre el metabolismo de las plantas de tomate y/o un efecto sobre las características del sustrato que indujo el incremento en el rendimiento.

Cimrin y Yilmaz (2005) reportaron efectos significativos de ácidos húmicos sobre el peso en plantas de lechuga, porque el humus contribuye a solubilizar los nutrientes para una asimilación más efectiva por las plantas, por lo cual las soluciones húmicas son fuente potencial para mejorar la nutrición de la planta.

Con el fin de conocer el efecto del humus líquido sobre el crecimiento de la lechuga Ortuño *et al.*, (2012), implementaron ensayos en hidroponía (sistema raíz flotante), empleando una solución nutritiva con todos los macro y micronutrientes y agregándole líquido de lombriz a dicha solución observaron que las plantas respondían favorablemente hasta en 50% más con ácidos orgánicos.

Así también mencionan que encontraron mayor altura y peso de planta en lechuga al aplicar una dosis de 5.78 litros de humus líquido/planta para 40 litros de solución stock bajo un sistema de raíz flotante.

En otros estudios realizados por Atiyeh *et al.*, (2002) en cultivos de tomate y cucurbitáceas observaron incrementos en el área foliar de ambas especies, desde 50 a 500 mg/kg de materia seca, a medida que se aumentó la dosis de ácidos húmicos: 0, 50, 125, 250, 500, 1.000, y 4.000 mg/kg respectivamente.

Sistema de Raíz Flotante

Los sistemas flotantes, ya sea mesa, cama o raíz flotante y sistema hidropónico de flujo profundo, consisten en la suspensión de las raíces total o parcialmente en la disolución nutritiva (Urrestarazu y Carrasco, 2004).

Por su parte Sánchez (2003) menciona las ventajas y desventajas que tiene este sistema de producción.

Ventajas

- Ahorro de fertilizantes. Este se debe a que no hay pérdida alguna de los mismos.
- Los cultivos que tienen requerimientos grandes de agua crecen mejor con éste que con otros métodos de cultivo hidropónico (pepino por ejemplo).

- No requieren sustrato, sistema de bombeo, ni tanque de almacenamiento, como el cultivo en grava y algunos métodos de cultivo en agregado, lo que significa un ahorro considerable en la inversión inicial. Solo eventualmente se requiere una bomba relativamente barata para airear la solución nutritiva.

Desventajas

- Demanda mucha más habilidad y experiencia técnica, así como más conocimientos de química general y fisiología vegetal que otros métodos de cultivo hidropónicos.
- Se requiere de un riguroso control de la solución (fierro, pH, fosfatos, etc.).
- Requiere de un eficiente sistema de aireación.
- Se debe proporcionar una temperatura adecuada y evitar los cambios bruscos de la misma en la solución nutritiva.
- El sistema de soporte para las plantas es generalmente caro.
- Deberá tenerse más cuidado con los detalles que con cualquier otro sistema hidropónico de producción.

Oxigenación de la Solución Nutritiva

La falta de oxigenación produce la fermentación de la solución y como resultado la pudrición de la raíz, originada por la eutrofización (Chang *et al.*, 2000). Una raíz sana y bien oxigenada debe ser blanquecina, de lo contrario se torna oscura debido a la muerte del tejido radicular. La oxigenación puede ser manual (agitando la solución manualmente por algunos segundos por lo menos dos veces al día, cuando las temperaturas son altas se requiere mayor oxigenación) o mecánica mediante una compresora.

Eutrofización: palabra que proviene del griego *eutros* y significa bien alimentado y consiste en que la presencia excesiva de materia orgánica en el agua, provoca un crecimiento rápido de algas y otras plantas verdes que recubren la superficie del agua e impiden el paso de luz solar a las capas inferiores. Por otra parte, la descomposición de la biomasa generada consume oxígeno empobreciendo el medio de este elemento vital. La eutrofización de las aguas es uno de los problemas más graves de contaminación.

(www.sierradebaza.org)

Trabajos publicados y observaciones prácticas indican que el exceso de aireación a la solución puede también ser dañino por las plantas. Ellis y Swaney citados por Sánchez en 2003, señalan que el nivel de oxígeno más adecuado en la solución nutritiva es de 3 a 5 ppm (a 15.5 ° C).

Son muchos investigadores que mencionan la importancia de la oxigenación del medio para evitar toxicidad del sistema radical por ello recomiendan inyectar oxígeno, lo que genera un gasto extra de energía, sin embargo, Samperio (2004), señala que para permitir el intercambio de gases solo basta con hacer en la cubierta o en la parte superior del canal ocho pequeños orificios en cada m² con un diámetro aproximado de 0.5 cm. (ver Figuras 2.1 y 2.2).

Mientras que Sánchez (2003), menciona que el método más común de oxigenar la solución consiste en dejar un espacio de aire máximo de 5 cm entre la superficie de la misma y la parte inferior del lecho que soporta a las raíces, de tal manera que las raíces superiores estén rodeadas por aire húmedo mientras que las inferiores están sumergidas en la solución.

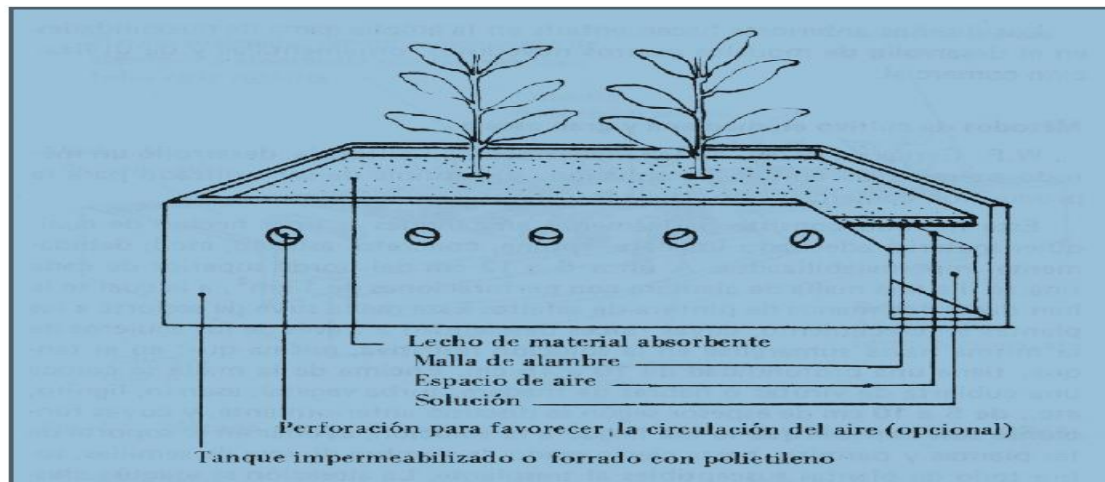


Figura 2.1 Método de Gericke para cultivo en solución (Vista de frente), Gericke (1940).

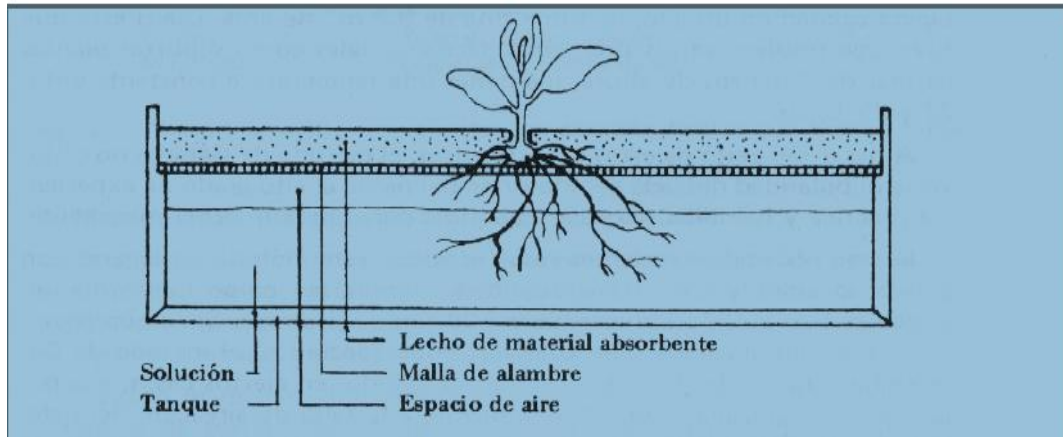


Figura 2.2 Método de Gericke para cultivo en solución (Vista de perfil), Gericke (1940).

Oscuridad en Raíces

De acuerdo con Santos (1987) las plantas pueden funcionar normalmente si sus raíces están expuestas a la luz del día, siempre que podamos conseguir un 100 % de humedad relativa en ésta; no obstante, la luz dará lugar al crecimiento de las algas, lo cual interferirá con el crecimiento de las plantas, puesto que dará lugar a una competencia en la toma de nutrientes, reducirá la acidéz de la solución, creará olores, competirá con el oxígeno durante la noche, e introducirá productos tóxicos durante su descomposición, los cuales interferirán normalmente en el crecimiento de éstas. Se construyen las bancadas o contenedores con material opaco para eliminar el crecimiento de las algas.

Soluciones Nutritivas en la Producción Hidropónica de Lechuga

Steiner citado por Urrestarazu en 2004, menciona que hay que tomar en consideración tres factores en la solución nutritiva en los cultivos sin suelos: 1) la concentración de cada ion, 2) el pH de la solución y 3) la concentración iónica total, en donde el primero y el segundo factor están relacionadas estrechamente con la nutrición mineral clásica y el diagnóstico nutricional, y el tercer factor se relaciona con la conductividad eléctrica (CE) de la disolución nutritiva con su presión osmótica y cuando ésta es muy elevada surgen problemas propios de estrés salino.

El Cuadro 2.3 muestra la solución empleada en lechuga en cultivo hidropónico y el Cuadro 2.4 describe la composición de la disolución ideal para el cultivo de lechuga.

Cuadro 2.3 Solución empleada en lechuga en cultivo hidropónico (Sádaba *et al.*, 2007).

Solución nutritiva	
Ión	mMol/L
HCO ₃ ⁻	0.5
NO ₃	10.0
SO ₄ ⁻	2.5
H ₂ PO ₄	2.5
Mg ⁺⁺	5.0
Ca ⁺⁺	2.5
K ⁺	6.0
CE	2.0
pH	5.8

Cuadro 2.4 Composición de la disolución ideal para el cultivo de lechuga (<http://www.acea.com.mx/alex-j-pacheco/nutricion-vegetal-y-soluciones-nutritivas-ii>).

Cultivo	CE (mS/cm)	Meq/L							Mg/L ⁻¹					
		NH ₄	K	Ca	Mg	NO ₃	SO ₄	H ₂ PO ₄	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
Lechuga	2.6	1.25	11	9	2	19	2.2	2	2.2	0.5	0.26	0.32	0.05	0.05

Potencial de Hidrógeno (pH) de la Solución Nutritiva en Lechuga

Barrios (2004) menciona que el pH indica el nivel de acidez o alcalinidad de la solución. Si esta tiene un valor menor a 7 la solución es ácida, si es alcalina su valor es mayor a 7 y si es neutra su valor es de 7. El grado de hidrogeniones presentes en la solución nutritiva variará la disponibilidad de nutrientes, por eso es recomendable mantenerlo dentro de un rango que va de 5.5 a 6.5.

Conductividad eléctrica (CE) de la Solución Nutritiva en el Cultivo de Lechuga

La conductividad eléctrica indica el contenido de sales en la solución y debe conservarse en un rango de 1.5 mS/cm (miliSiemens), si la planta es pequeña; si es mediana, se sugiere una conductividad de 2 mS (miliSiemenes), y si está ya en proceso de producción, el rango puede ser desde 2.5 hasta 3 mS/cm (Samperio, 2004).

III.MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Área de Estudio

La presente investigación, se llevó a cabo en el invernadero localizado a un costado del Departamento de Ciencias del Suelo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, que se encuentra ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Ubicación Geográfica

La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro se ubica en la localidad de Buenavista, Saltillo, Coahuila situado en las coordenadas 25° 23' latitud norte y 101° 00' longitud este y una altitud media de 1743 msnm. Posee un clima semicálido con temperatura media anual de 19.8 °C y precipitación media anual de 298.5 mm, con lluvias en verano (Mendoza, 1983). El invernadero tiene 5 m de ancho por 10 de largo, es tipo túnel y cuenta con un extractor de aire y malla sombra en el interior.

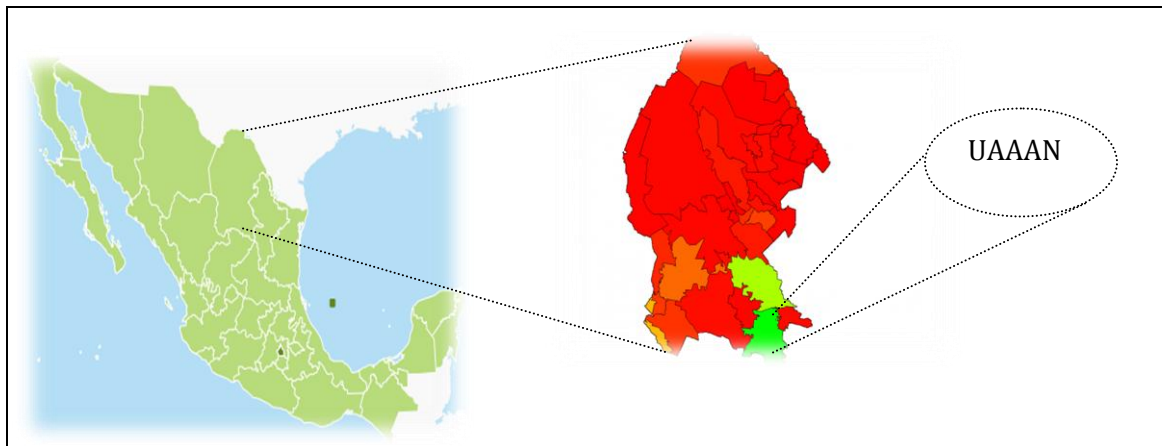


Figura 3.1 Mapa de localización del sitio de experimental.

Materiales

- ✓ Semillas de lechuga de la variedad “Great Lakes”
- ✓ Charolas de germinación
- ✓ Bandejas
- ✓ Perlita (sustrato)
- ✓ Cajas forradas de plástico
- ✓ Agua residual (AR)
- ✓ Bomba generadora de ozono (MORE-ZON10)
- ✓ Lámpara UV (STERLIGHT COPPER Modelo SC1)
- ✓ Líquido de lombriz.

Cada uno de los materiales se usaron de la forma como a continuación se describe:

Métodos

Diseño Experimental

Se utilizaron 12 tratamientos en total, utilizando 4 combinaciones de solución: solución nutritiva ideal al 100%, solución nutritiva ideal al 75%+25% líquido de lombriz, solución nutritiva ideal al 50%+50% líquido de lombriz y solución nutritiva ideal al 25%+75 líquido de lombriz, empleando tres tipos de agua (agua residual sin tratar, agua residual tratada con O₃ y agua residual tratada con rayos UV), con 4 repeticiones cada uno, dándonos 48 unidades experimentales. Se utilizó un diseño de “bloques al azar” y la prueba de medias de Duncan, analizados con el programa estadístico “Statistical Product and Service Solution”.

Producción de Plántula

Se sembraron en el invernadero semillas de lechuga cultivar “Great Lakes 118” tipo romana en dos charolas de germinación de 200 cavidades de 35 x 55 cm con perlita cribada a 1.5 mm. Las charolas de germinación se pusieron a flotar dentro de cajas forradas de plástico de 39 x 70 cm con capacidad de 19 litros que contenían agua purificada comercial. Las plántulas se desarrollaron en 41 días, quedando listas para el trasplante.

Sistemas de Tratamiento de Agua

Se trataron 160 litros de agua residual (AR) con una bomba generadora de ozono de la marca MORE-ZON10 con bomba de aire BIOPRO (BP9893) y monitor REDOX/ORP, (60 litros por 24 horas).

Se trataron 160 litros de agua residual (AR) con rayos UV empleando una lámpara STERLIGHT COPPER Modelo SC1 de vapor de mercurio de presión media, (60 litros por 30 minutos).

Preparación de las Soluciones Nutritivas

Se prepararon cuatro soluciones nutritivas: solución nutritiva ideal al 100%, solución nutritiva ideal al 75% + 25% líquido de lombriz, solución nutritiva al 50% + 50% líquido de lombriz y solución nutritiva al 25% + 75% líquido de lombriz.

El líquido de lombriz fue adquirido en la Gerencia de Empresas Universitarias de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Sección Agrotecnia (844 411 03 51/411 03 52). Calzada Antonio Narro No. 1923. Buenavista, Saltillo, Coahuila. C.P. 25315.

Formulación de la Solución Nutritiva Ideal al 100%

Antes de formular la solución nutritiva se tuvo que hacer un análisis fisicoquímico del agua residual sin tratar con el fin de conocer el aporte elemental.

La solución stock para lechuga se preparó considerando lo siguiente: macro y meso-elementos en base a la solución ideal del cultivo menos la concentración de los elementos que aportó el agua residual (Cuadro 3.1). El diseño de la solución en cuanto al contenido de cationes y aniones se presenta en el (Cuadro 3.2).

En el (Cuadro 3.3) se menciona la cantidad de fertilizantes (macro y meso-elementos) requeridos en la preparación de 50 litros de solución y en el (Cuadro 3.4) se presenta la cantidad de fertilizantes para los micro-elementos empleados en la preparación de 50 litros de solución nutritiva.

Cuadro 3.1 Formulación de la solución nutritiva para lechuga.

Macro-elementos	Agua residual	Solución ideal	Aporte (S.N.I) al 100%
NO ₃ ⁻	0.31	19.00	18.70
H ₂ PO ₄	0.04	2.00	2.00
SO ₄	4.00	2.20
HCO ₃	2.40	1.90
Cl ⁻	2.10
NH ₄ ⁺	1.25	1.25
K ⁺	11.00	11.00
Ca ⁺⁺	4.00	9.00	5.00
Mg ⁺⁺	2.75	2.00

Las unidades están en Meq/L. Solución nutritiva ideal (Cadaña, 1998).

Cuadro 3.2 Diseño de la solución nutritiva en aniones y cationes para lechuga.

Meq/L	NH ₄	K	Ca	Mg	H	Total
NO ₃	-----	10.25	5.00	-----	1.90	17.15
H ₂ PO ₄	1.25	0.75	-----	-----	-----	2.00
SO ₄	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Total	1.25	11.00	5.00	-----	1.90	19.15

Cuadro 3.3 Cantidad de fertilizantes (macro-elementos) requeridos en la preparación de 50 litros de solución nutritiva para lechuga.

Macro-elementos	Gramos para 1 litro	Gramos para 50 litros
KNO ₃	1.03	51.50
Ca(NO ₃) ₂ 4H ₂ O	0.60	30.00
NH ₄ H ₂ PO ₄	0.15	7.50
KH ₂ PO ₄	0.11	5.50

Cuadro 3.4 Cantidad de fertilizantes para los micro-elementos empleados en la preparación de 50 litros de solución nutritiva para lechuga.

Micro-elementos	Gramos para 1 litro	Gramos para 50 litros
Quelato de Fe	0.732	36.625
Quelato de Cu	0.333	16.650
Quelato de Zn	1.730	86.500
MnSO ₄	0.100	5.000
H ₃ BO ₃	1.830	91.500
(NH ₄) ₂ MoO ₄	0.092	4.600

Formulación de la Solución Nutritiva Ideal al 75% + 25% Líquido de Lombriz para 50 Litros de Solución para Lechuga.

La formulación de solución nutritiva ideal al 75% + 25% líquido de lombriz para 50 litros de agua se preparó con 0.269 litros de líquido de lombriz).

Macro-elementos

$$\begin{array}{r} 51.5 \text{ g KNO}_3 \text{ _____ } 100\% \\ x \text{ _____ } 75\% \end{array}$$

$$x = \mathbf{38.62 \text{ g KNO}_3}$$

$$\begin{array}{r} 30 \text{ g Ca (NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O _____ } 100\% \\ x \text{ _____ } 75\% \end{array}$$

$$x = \mathbf{22.5 \text{ g Ca (NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}}$$

$$\begin{array}{r} 7.5 \text{ g NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 \text{ _____ } 100\% \\ x \text{ _____ } 75\% \end{array}$$

$$x = \mathbf{5.62 \text{ g NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4}$$

$$\begin{array}{r} 5.5 \text{ g KH}_2\text{PO}_4 \text{ _____ } 100\% \\ x \text{ _____ } 75\% \end{array}$$

$$x = \mathbf{4.125 \text{ g KH}_2\text{PO}_4}$$

Micro-elementos

$$\begin{array}{r} 36.625 \text{ g Quelato de Fe _____ } 100\% \\ x \text{ _____ } 75\% \end{array}$$

$$x = \mathbf{27.46 \text{ g Quelato de Fe}}$$

$$\begin{array}{r} 16.65 \text{ g Quelato de Cu _____ } 100\% \\ x \text{ _____ } 75\% \end{array}$$

$$x = \mathbf{12.48 \text{ g Quelato de Cu}}$$

$$\begin{array}{r} 86.5 \text{ g Quelato de Zn _____ } 100\% \\ x \text{ _____ } 75\% \end{array}$$

$$x = \mathbf{64.87 \text{ g Quelato de Zn}}$$

$$\begin{array}{r} 5 \text{ g MnSO}_4 \text{ _____ } 100\% \\ x \text{ _____ } 75\% \end{array}$$

$$x = \mathbf{3.75 \text{ g MnSO}_4}$$

$$\begin{array}{r} 91.5 \text{ g H}_3\text{BO}_3 \text{ _____ } 100\% \\ x \text{ _____ } 75\% \end{array}$$

$$x = \mathbf{68.62 \text{ g H}_3\text{BO}_3}$$

$$\begin{array}{r} 4.6 \text{ g (NH}_4)_2 \text{ MoO}_4 \text{ _____ } 100\% \\ x \text{ _____ } 75\% \end{array}$$

$$x = \mathbf{3.45 \text{ g (NH}_4)_2 \text{ MoO}_4}$$

En el Cuadro 3.5 se menciona la cantidad de macro, meso y micro-elementos empleados en la preparación de 50 litros de solución nutritiva al 75% + 25% líquido de lombriz para lechuga.

Cálculo del 25% de Líquido de Lombriz

Un litro de líquido de lombriz contiene los siguientes porcentajes de nitrógeno, fósforo y potasio.

$$N= 1.255\%$$

$$P= 0.25\%$$

$$K=1.99\%$$

Se tomó como base el potasio porque es el que está en mayor concentración.

$$1\% \text{ _____ } 10,000 \text{ ppm}$$

$$1.99\% \text{ _____ } x$$

$$x= 19,900 \text{ ppm de K}$$

$$\text{Meq/L} = \frac{\text{ppm}}{\text{Pe}}$$

$$\text{Meq/L} = \frac{19,900 \text{ ppm}}{39} = 510.25 \text{ Meq/L}$$

El rango ideal para dosificar K es 11 Meq/L.

$$1 \text{ litro de líquido de lombriz _____ } 510.25 \text{ Meq/L de K}$$

$$x \text{ _____ } 11 \text{ Meq/L}$$

$$x=0.021 \text{ Litros de líquido de lombriz}$$

$$\begin{array}{r} 11 \text{ Meq/L K} \underline{\hspace{2cm}} 100\% \\ x \underline{\hspace{2cm}} 25\% \end{array}$$

$$x = 2.75 \text{ Meq/L}$$

$$\begin{array}{r} \text{Si } 0.021 \text{ L de lombriz} \underline{\hspace{2cm}} 11 \text{ Meq/L} \\ x \underline{\hspace{2cm}} 2.75 \text{ Meq/L} \end{array}$$

$$x = 0.0053 \text{ Litros de lombriz}$$

(2.75 Meq/L)(50 Litros) = 137.5 Miliequivalentes de líquido de lombriz para 50 litros de solución.

$$\begin{array}{r} 1 \text{ Litro de lombriz} \underline{\hspace{2cm}} 510.26 \text{ Meq/L} \\ x \underline{\hspace{2cm}} 137.5 \text{ Meq/L} \end{array}$$

$$x = 0.269 \text{ litros para } 25\% \text{ líquido de lombriz.}$$

Cuadro 3.5 Cantidad de macro y micro-elementos empleados en la preparación de 50 litros de solución nutritiva al 75% + 25% líquido de lombriz para lechuga.

Macro-elementos	Gramos	Micro-elementos	Gramos
KNO ₃	38.62	Quelato de Fe	27.46
Ca (NO ₃) ₂ 4H ₂ O	22.50	Quelato de Cu	12.48
NH ₄ H ₂ PO ₄	5.62	Quelato de Zn	64.87
KH ₂ PO ₄	4.12	MnSO ₄	3.75
		H ₃ BO ₃	68.62
		(NH ₄) ₂ MoO ₄	3.45

Se agregaron 0.269 litros de líquido de lombriz en cada 50 litros de solución preparada.

Formulación de la Solución Nutritiva Ideal al 50% + 50% Líquido de Lombriz para 50 Litros de Solución para Lechuga.

Macro-elementos

$$\begin{array}{r} 51.5 \text{ g KNO}_3 \text{ _____ } 100\% \\ x \text{ _____ } 50\% \end{array}$$

x= 25.75 g de KNO₃

$$\begin{array}{r} 30 \text{ g Ca (NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O _____ } 100\% \\ x \text{ _____ } 50\% \end{array}$$

x= 15 g de Ca (NO₃)₂ 4H₂O

$$\begin{array}{r} 7.5 \text{ g NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 \text{ _____ } 100\% \\ x \text{ _____ } 50\% \end{array}$$

x= 3.75 g de NH₄H₂PO₄

$$\begin{array}{r} 5.5 \text{ g KH}_2\text{PO}_4 \text{ _____ } 100\% \\ x \text{ _____ } 50\% \end{array}$$

x= 2.75 g de KH₂PO₄

Micro-elementos

$$\begin{array}{r} 36.625 \text{ g Quelato de Fe _____ } 100\% \\ x \text{ _____ } 50\% \end{array}$$

x= 18.31 g Quelato de Fe

$$\begin{array}{r} 16.65 \text{ g Quelato de Cu _____ } 100\% \\ x \text{ _____ } 50\% \end{array}$$

x= 8.32 g Quelato de Cu

$$\begin{array}{r} 86.5 \text{ g Quelato de Zn _____ } 100\% \\ x \text{ _____ } 50\% \end{array}$$

x= 43.25 g Quelato de Zn

$$\begin{array}{r} 5 \text{ g MnSO}_4 \text{ _____ } 100\% \\ x \text{ _____ } 50\% \end{array}$$

x= 2.5 g MnSO₄

$$\begin{array}{r} 91.5 \text{ g H}_3\text{BO}_3 \text{ _____ } 100\% \\ x \text{ _____ } 50\% \end{array}$$

x= 45.75 g H₃BO₃

$$\begin{array}{r} 4.6 \text{ g (NH}_4)_2\text{MoO}_4 \text{ _____ } 100\% \\ x \text{ _____ } 50\% \end{array}$$

x= 2.3 g (NH₄)₂MoO₄

Cuadro 3.6 Cantidad de macro y micro-elementos empleados en la preparación de 50 litros de solución nutritiva al 50% + 50% líquido de lombriz para lechuga.

Macro-elementos	Gramos	Micro-elementos	Gramos
KNO ₃	25.75	Quelato de Fe	18.31
Ca (NO ₃) ₂ 4H ₂ O	15.00	Quelato de Cu	8.32
NH ₄ H ₂ PO ₄	3.75	Quelato de Zn	43.25
KH ₂ PO ₄	2.75	MnSO ₄	2.50
		H ₃ BO ₃	45.75
		(NH ₄) ₂ MoO ₄	2.30

Se agregaron 0.538 litros de líquido de lombriz en cada 50 litros de solución preparada.

Formulación de la Solución Nutritiva Ideal al 25% + 75% Líquido de Lombriz para 50 litros de Solución para Lechuga.

Macro-elementos

$$\begin{array}{r} 51.5 \text{ g KNO}_3 \text{ _____ } 100\% \\ x \text{ _____ } 25\% \end{array}$$

x= 12.8 g de KNO₃

$$\begin{array}{r} 30 \text{ g Ca (NO}_3)_2 \text{ 4H}_2\text{O _____ } 100\% \\ x \text{ _____ } 25\% \end{array}$$

x= 7.5 de Ca (NO₃)₂ 4H₂O

$$\begin{array}{r} 7.5 \text{ g NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 \text{ _____ } 100\% \\ X \text{ _____ } 25\% \end{array}$$

x= 1.87 g de NH₄H₂PO₄

$$\begin{array}{r} 5.5 \text{ g KH}_2\text{PO}_4 \text{ _____ } 100\% \\ X \text{ _____ } 25\% \end{array}$$

x= 1.37 g de KH₂PO₄

$x = 0.01575$ litros de líquido de lombriz.

$(8.25 \text{ Meq/L})(50 \text{ Litros}) = 412.5 \text{ Meq}$ de líquido de lombriz para 50 litros de solución.

1 L de lombriz _____ 510.26 Meq/L
x _____ 412.5 Meq/L

$x = 0.808$ litros para 75% líquido de lombriz.

Cuadro 3.7 Cantidad de macro y micro-elementos empleados en la preparación de 50 litros de solución nutritiva al 25% + 75% Líquido de lombriz para lechuga.

Macro-elementos	Gramos	Micro-elementos	Gramos
KNO_3	36.62	Quelato de Fe	27.46
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	22.50	Quelato de Cu	12.48
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	5.62	Quelato de Zn	64.87
KH_2PO_4	4.12	MnSO_4	3.75
		H_3BO_3	68.62
		$(\text{NH}_4)_2 \text{MoO}_4$	3.45

Se agregaron 0.808 litros de líquido de lombriz en cada 50 litros de solución preparada.

Preparación de las Bandejas

Las 12 bandejas de plástico que se utilizaron fueron pintadas de negro para evitar el contacto directo de las raíces con la luz del sol e impedir la aparición de algas, a continuación se hicieron seis orificios a cada tapa de las bandejas con un tubo de acero calentado al rojo vivo. La distancia entre orificios fue de 18 x 23 cm.

Producción de Lechugas bajo el Sistema de Raíz Flotante

Trasplante

Las plántulas desarrolladas se trasplantaron en las bandejas, cada plántula fue colocada en cada orificio de la tapa, sostenidas en un vasito de 2 x 6 cm con una esponja perforada.

La raíz flota en la solución y la distancia entre plantitas es de 18 cm formando 2 surcos de 23 cm de ancho, es decir, 6 plántulas por bandeja, no obstante, se tomaron en cuenta 4 plantas por tratamiento para hacer medición de las variables.

Se suministraron 19 litros de agua por contenedor con su respectiva solución nutritiva y tratamiento de agua lo que conformaron los tratamientos.

Cada bandeja formó un tratamiento y cada planta una repetición haciendo un total de 12 tratamientos con 4 repeticiones.

Diseño de los Tratamientos

En el Cuadro 3.8 se puede apreciar la distribución de los doce tratamientos acorde a la solución nutritiva y tipo de tratamiento de agua, en un diseño bloques al azar, con cuatro repeticiones en donde cada planta representó una repetición.

La aleatorización de las cuatro concentraciones de solución y tipo de agua en los tratamientos se aplicó a las unidades experimentales (plantas de lechugas).

Cuadro 3.8 Distribución de los tratamientos para la producción hidropónica de lechuga bajo el sistema de raíz flotante.

Tratamientos	Agua residual	Soluciones nutritivas
1	Sin tratar	S.N.I al 100%
2	Sin tratar	S.N.I al 75% + 25% LL
3	Sin tratar	S.N.I al 50% + 50% LL
4	Sin tratar	S.N.I al 25% + 75% LL
5	Tratada con Ozono	S.N.I al 100%
6	Tratada con Ozono	S.N.I al 75% + 25% LL
7	Tratada con Ozono	S.N.I al 50% + 50% LL
8	Tratada con Ozono	S.N.I al 25% + 75% LL
9	Tratada con UV	S.N.I al 100%
10	Tratada con UV	S.N.I al 75% + 25% LL
11	Tratada con UV	S.N.I al 50% + 50% LL
12	Tratada con UV	S.N.I al 25% + 75% LL

Parámetros Evaluados Durante el Ciclo del Cultivo

Semanalmente se evaluaron los parámetros que a continuación se mencionan:

- Monitoreo del pH y C.E (Combo pH & E.C Waterproof).
- Altura de planta con una regla de 30 cm.

Cosecha

Esto se hizo de forma manual. Con la ayuda de una navaja se cortó la base de la planta con el fin de separar la parte aérea y la parte de la raíz. Se llevó a cabo el día 12 de abril del 2011.

Parámetros Evaluados al Finalizar el Ciclo del Cultivo

Se evaluaron las siguientes variables para cada tratamiento:

Análisis Microbiológico de la Planta de Lechuga

Para hacer el análisis microbiológico se llevó la parte aérea de las lechugas al Laboratorio Químico Industrial en Saltillo, Coahuila. (E-mail laboratorioquímico@prodigy.net.mx).

Se empleó la norma mexicana NOM-112-SSA1-1994 para la determinación de coliformes fecales en el tejido vegetal (lechuga).

<http://www.salud.gob.mx>.

Variables Agronómicas

Peso Fresco Aéreo (PFA)

Esto se hizo para los 12 tratamientos el cual con el apoyo de una navaja se cortó el cuello de la planta con el fin de separar las hojas de la raíz, luego se pesó en una balanza digital.

Peso Fresco Raíz (PFR)

De la misma manera se hizo para esta variable, se pesaron las raíces de las plantas en una balanza digital para cada tratamiento.

Longitud de Raíz (LR)

Con el apoyo de una regla de 30 cm se midió desde el cuello de la planta hasta la parte final de la raíz.

Número de Hojas (NH)

Esta variable se obtuvo realizando el conteo de hojas por repetición a cada semana para cada uno de los tratamientos.

Peso Seco de Raíz (PSR)

Una vez determinado el peso fresco de raíz se colocaron en bolsas de papel canela previamente etiquetadas y se sometieron a la estufa de secado a una temperatura constante de 65 °C durante 3 días, una vez que las muestras estaban totalmente secas se determinó su peso en una balanza digital.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados del análisis estadístico para este experimento el cual fue obtenido con el programa “Statistical Product and Service Solutions”.

En el Cuadro 4.1 se muestran los cuadrados medios, significancias y coeficiente de variación de las diferentes variables evaluadas durante el desarrollo del experimento. Primeramente para la fuente de variación tratamientos se encontraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para la mayoría de las variables peso fresco aéreo (PFA), peso fresco de raíz (PFR), longitud de raíz (LR) y peso seco de raíz (PSR). Para la variable número de hojas (NH) no existió efecto significativo ($P \geq 0.05$).

Cuadro 4.1 Cuadrados medios y significancias para las diferentes variables evaluadas en el análisis de varianza en la producción hidropónica de lechuga.

FV	GL	PFA	PFR	LR	NH	PSR
T	11	5060.302**	692.167**	406.588**	14.023 ^{NS}	0.732**
CV		95.72	124.31	52.33	27.65	104

CV=Coeficiente de Variación; GL=Grados de Libertad; PFA=Peso Fresco Aéreo; PFR=Peso Fresco de Raíz; LR= Longitud de Raíz; NH=Número de Hojas; PSR= Peso Seco de Raíz, *= Significativo al 0.05, **= Altamente Significativo al 0.01, NS= No Significativo.

Debido a que en algunas variables se demostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos, se procedió a realizar una prueba de comparación de medias mediante la prueba de Duncan (0.05) y (0.01) con el programa estadístico antes mencionado.

Peso Fresco Aéreo (PFA)

En el Cuadro 4.1 se observa que para esta variable el análisis de varianza ($\alpha=0.01$) demostró que hay diferencias altamente significativas, con un coeficiente de variación de 95.72 % es muy alto el cual nos indica la amplia dispersión de los valores (datos), esto se debió a las diferentes formulaciones de soluciones y los tratamientos al agua residual.

En la comparación de medias (Duncan, Cuadro 4.2 y la Figura 4.1) con respecto a esta variable se demuestra que el tratamiento 12 fue el que presentó mayor peso fresco aéreo (94.8 g) con la solución (25%SNI+75%LL+UV), seguido del tratamiento 4 (90.5 g) (25%SNI+75%LL+AR sin tratar). Por el contrario los tratamientos más bajos fueron el T2 (3.4 g) (75%SNI+25%+ AR sin tratar) y T6 (6.2 g) (75%SNI+25%+O₃).

Esto concuerda con los resultados obtenidos por Cimrin y Yilmaz, (2005) que concluyen mencionando que obtuvieron efectos significativos de ácidos húmicos sobre el peso en plantas de lechuga, ya que el humus contribuye a

solubilizar nutrientes para una asimilación más efectiva por las plantas, por lo cual las soluciones húmicas son fuentes potenciales para mejorar la nutrición de las plantas.

Cuadro 4.2 Comparación de medias de los tratamientos de la variable Peso Fresco Aéreo (PFA).

TRATAMIENTO	MEDIA
12	94.8 A
4	90.5 AB
11	83.5 AB
10	76.9 ABC
9	71.2 ABC
8	41.4 ABCD
5	26.2 BCD
7	18.6 CD
1	14.3 CD
3	14.3 CD
6	6.2 D
2	3.4 D

Nota: Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

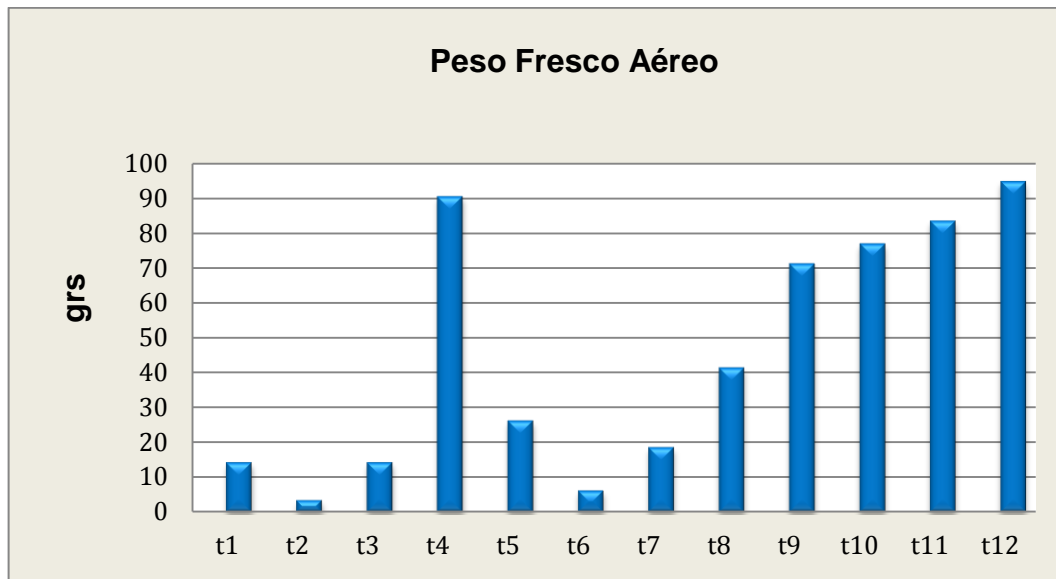


Figura 4.1 Efecto de los distintos tratamientos con respecto a PFA.

Peso Fresco de Raíz (PFR)

En esta variable el análisis de varianza ($\alpha=0.01$) demostró que hay diferencias altamente significativas con un coeficiente de variación de 124.31% (Cuadro 4.1).

En la prueba de comparación de medias (Duncan, Cuadro 4.3 y la Figura 4.2) se observan los tratamientos que obtuvieron valores más altos los cuales fueron el tratamiento 12 (25%SNI+75%LL+UV) con 42.1 grs, seguido del tratamiento 4 (25%SNI+75%LL+AR) con 28 grs, y el tratamiento 11 (50%SNI+50%LL+UV) con 25.9 grs, superando el resto de los tratamientos, se observa también que los tratamientos que reportaron menor respuesta fueron el

tratamiento 2 (50%SNI+50%LL+AR sin tratar) con 1.6 grs, y el tratamiento 6 (75%SNI+25%LL+O₃) con 2.2 grs, respectivamente.

Este último se vio afectado quizá por la alta concentración de sales y baja contenido de líquido de lombriz en la solución lo cual provocó un incremento de la conductividad eléctrica y pH disminuyendo de esta manera la disponibilidad de nutrientes para las plantas repercutiendo de este modo en un pobre desarrollo del sistema radical.

Con respecto al tratamiento 12 se vio favorecido debido a la alta concentración de líquido de lombriz ya que genera una modificación del desarrollo radicular es decir mayor cantidad de raíces (Eyheraguibel *et al.*, 2008). Esto concuerda con Ortuño *et al.*, (2012) donde señalan que encontraron resultados positivos con respecto a las variables altura y peso en plantas de lechuga al aplicar humus líquido con una dosis de 5.7 litros/planta para 40 litros de solución stock.

Cuadro 4.3 Comparación de medias de los tratamientos para la variable Peso Fresco de Raíz (PFR).

TRATAMIENTO	MEDIA
12	42.1 A
4	28.0 AB
11	25.9 AB
10	22.7 AB
9	18.4 AB
8	11.6 AB
5	4.8 B
7	4.4 B
1	4.0 B
3	3.6 B
6	2.2 B
2	1.6 B

Nota: Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

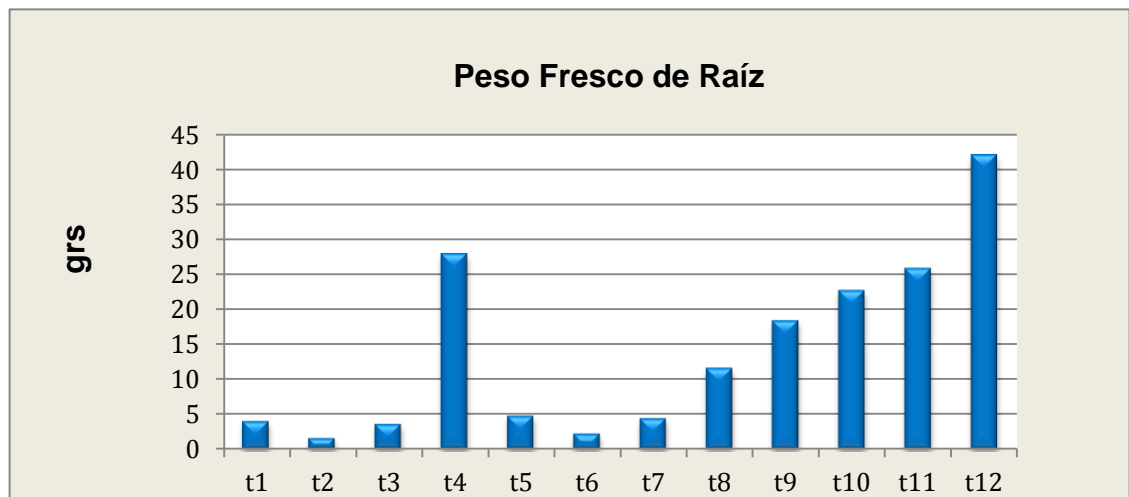


Figura 4.2 Efecto de los distintos tratamientos con respecto a la variable PFR.

Longitud de Raíz (LR)

De igual forma el análisis de varianza reportó diferencias altamente significativas al 0.01% entre tratamientos tal como se observa en el Cuadro 4.1 presentando un coeficiente de variación de 52.33%.

En el Cuadro 4.4 y la Figura 4.3 se presenta la comparación de medias de esta variable en donde se puede apreciar que el T4 (25%SNI+75%LL+O₃), es el que resalta con una longitud mayor (37.0 mm), seguido del tratamiento 12 (25%SNI+75%LL+UV) con 37.0 mm, superando al resto de los tratamientos, el tratamiento con menor longitud fue el T3 (50%SNI+50%LL+O₃) con una media de 9.3 mm, esto quizá se haya debido a la menor concentración de líquido de lombriz en la solución lo cual impidió un desarrollo radical adecuado viéndose reflejado en el peso fresco de raíz.

Esto se relaciona con lo obtenido por Rojas (2006) al emplear tres métodos de desinfección de agua residual (Ozono, TPA y TPA + Ozono) para regar a cultivos (lechuga, rábano, yerbabuena, jitomate, y col china) en módulos organopónicos utilizando compuestos selectivos tanto orgánicos como inorgánicos observó que el máximo crecimiento en conjunto se registró en el módulo regado con agua tratada con Ozono (O₃).

Cuadro 4.4 Comparación de medias de los tratamientos para la variable Longitud de Raíz (LR).

TRATAMIENTO	MEDIA
12	33.0 AB
4	37.0 A
11	28.2 ABC
10	28.8 AB
9	33.0 AB
8	26.5 ABCD
5	16.6 BCDE
7	12.0 CDE
1	18.1 BCDE
3	9.3 E
6	10.1 DE
2	12.0 CDE

Nota: Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

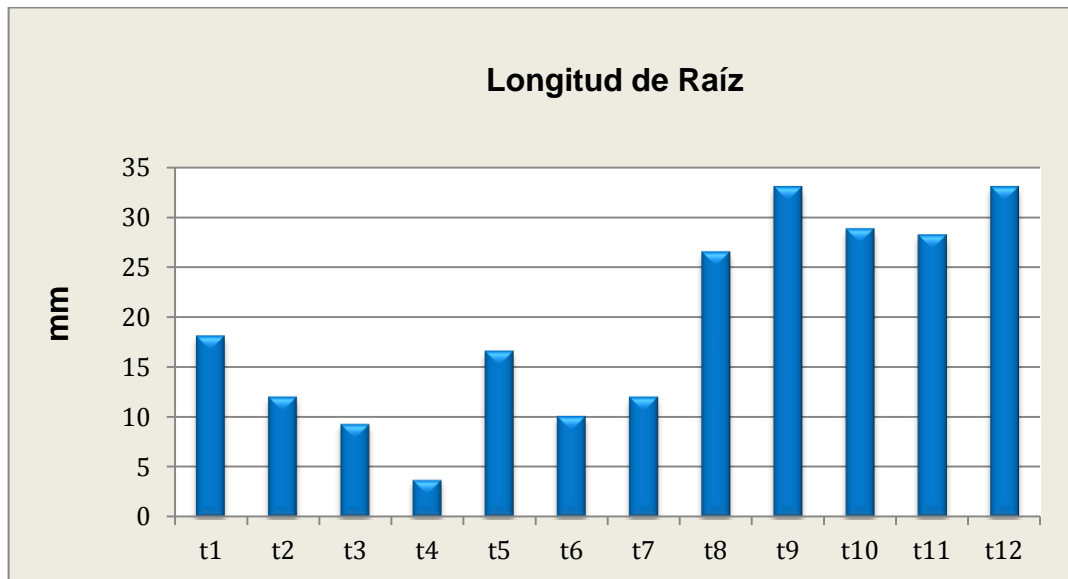


Figura 4.3 Concentración de los tratamientos con respecto a la variable LR.

Número de Hojas (NH)

Para esta variable el análisis de varianza no detectó diferencia significativa entre los tratamientos por lo que revela que estadísticamente son iguales, presentó un coeficiente de variación de 27.65 % (Cuadro 4.1). Esto coincide con Valadez, (2011) donde menciona que no encontró diferencia estadística con respecto a esta variable al aplicar 50% líquido de lombriz + 50% solución nutritiva ideal. Sin embargo, Atiyeh *et al.*, (2002), observaron incrementos en el área foliar del tomate y cucurbitáceas cuando aplicaron soluciones húmicas en diferentes concentraciones.

No obstante, en el cuadro 4.5 y figura 4.4 nos muestra que el tratamiento 4 seguido por el 10 fueron los que reportan valores más altos con una media superior a los demás tratamientos.

Cuadro 4.5 Comparación de medias de los tratamientos para la variable Número de Hojas (NH).

TRATAMIENTO	MEDIA
12	11.5 A
4	12.5 A
11	11.0 A
10	12.2 A
9	10.5 A
8	10.0 A
5	8.2 A
7	8.2 A
1	8.0 A
3	7.7 A
6	8.0 A
2	7.5 A

Nota: Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

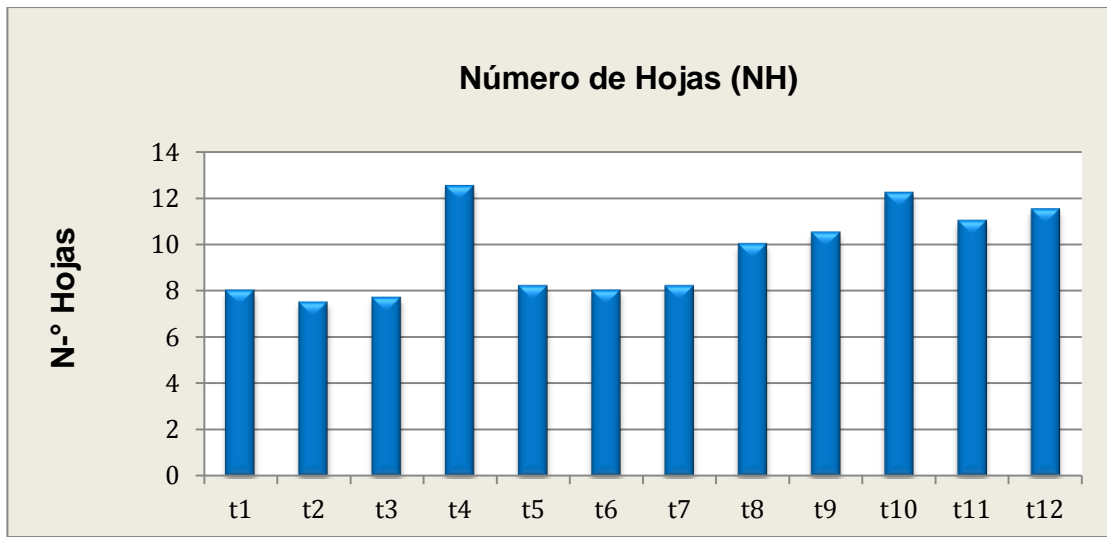


Figura 4.4 Concentración de los tratamientos con respecto a la variable NH.

Peso Seco de Raíz (PSR)

Para esta variable el análisis de varianza detectó efecto altamente significativo, con un coeficiente de variación de 104 % (Cuadro 4.1).

En cuanto a la prueba de comparación de medias nos indica que el tratamiento con valor mayor es el T12 (1.3 g) seguido del T11 (0.9 g), T9 (0.8 g), y T10 (0.7 g) respectivamente. El rango del desarrollo radical se expandió debido a la cantidad de células presentes en el tejido epitelial/epidérmico (Cuadro 4.6 y Figura 4.5). Esto concuerda con lo que encontró Valadez (2011), al aplicar 50% líquido de lombriz + 50% solución nutritiva ideal en cultivo de lechuga bajo el sistema de raíz flotante.

Cuadro 4.6 Comparación de medias de los tratamientos de la variable Peso Seco de Raíz (PSR).

TRATAMIENTO	MEDIA
12	1.3 A
4	0.7 ABC
11	0.9 AB
10	0.7 ABC
9	0.8 ABC
8	0.4 BC
5	0.1 BC
7	0.2 BC
1	
3	0.1 BC
6	
2	0.1 BC

Nota: Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

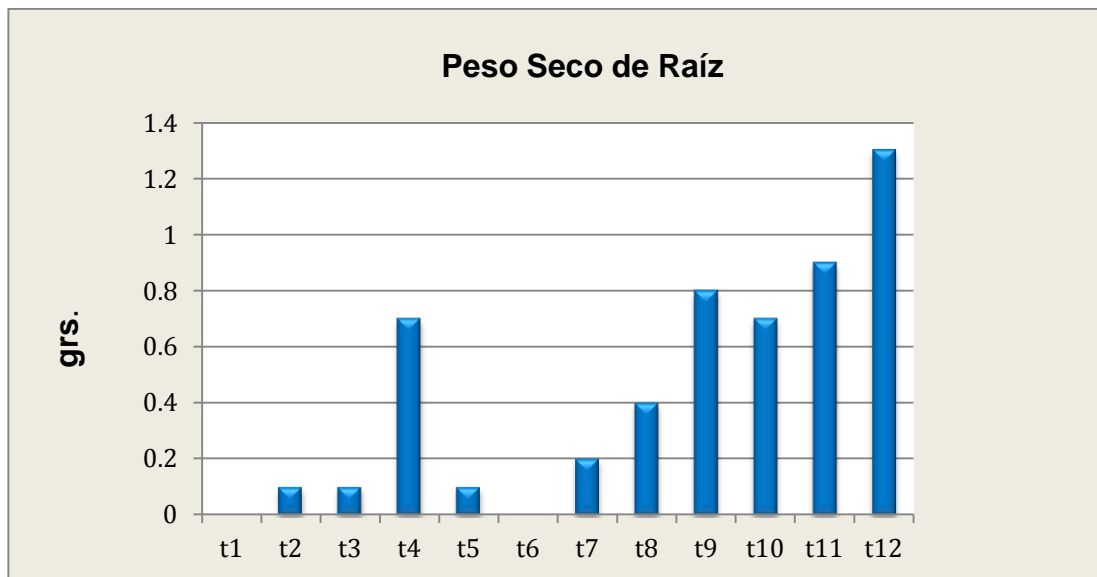


Figura 4.5 Concentración de los tratamientos con respecto a la variable PSR.

Valores Promedio de los Parámetros Evaluados Durante el Desarrollo del Cultivo de Lechuga

Se midió la altura, pH y CE a lo largo del ciclo del cultivo de la lechuga de los 12 tratamientos bajo el sistema de raíz flotante (Cuadro 4.7).

Altura de Planta

En la Figura 4.6 se muestra el promedio de altura de la planta en centímetros de los tratamientos en diferentes fechas bajo el sistema de raíz flotante, donde se observa que los mejores resultados en relación a la primera medición correspondieron al T10 con una altura promedio de 15.87 cm, T1 con 14.57 cm, T4 con 14.45 cm seguido por los tratamientos T12 con 13.9 cm, T11 con 13.4 cm, T9 con 13.3 cm, T3 con 13.2 cm y con valores inferiores a estos últimos tenemos a los tratamientos T5 con 11.87 cm, T2 con 11.77 cm, T6 con 11.57 cm, T7 con 11.32 cm y T8 con 11.25 cm.

Para la segunda lectura los tratamientos que mejor se comportaron fueron: T1 con una altura de 19.42 cm, T4 con 18.37 cm, T10 con 17.65 cm, T2 con 17.57 cm y T7 con 16.15 cm, existiendo mínima diferencia con los tratamientos T3 con 14.85 cm, T5 con 14.42 cm, T11 con 14.37 cm diferenciándose de estos últimos con un mínimo valor los tratamientos T9 y 12 con 12.62 cm, T8 con 12. 27 y T6 con 11.6 cm.

Para la tercera toma de datos tenemos que los tratamientos T4, T10, T9, T11 y T12 son los que desarrollaron más, seguidos por los tratamientos T3, T5 y T8, diferenciándose de estos últimos los tratamientos T1, T7, T6 y T2.

Los tratamientos con las mejores alturas para la primera lectura correspondieron al T10 (agua residual tratada con rayos UV mas solución conformada con 75% SN + 25% LL) y el T1 solución conformada con agua residual sin tratar más 100% de solución nutritiva.

Resultados similares fueron reportados en el cultivo de lechuga por Ortuño (2012), bajo un sistema de raíz flotante, encontrando efectos significativos con respecto a esta variable al diluir humus líquido en la solución nutritiva en relación al testigo que fue pura solución.

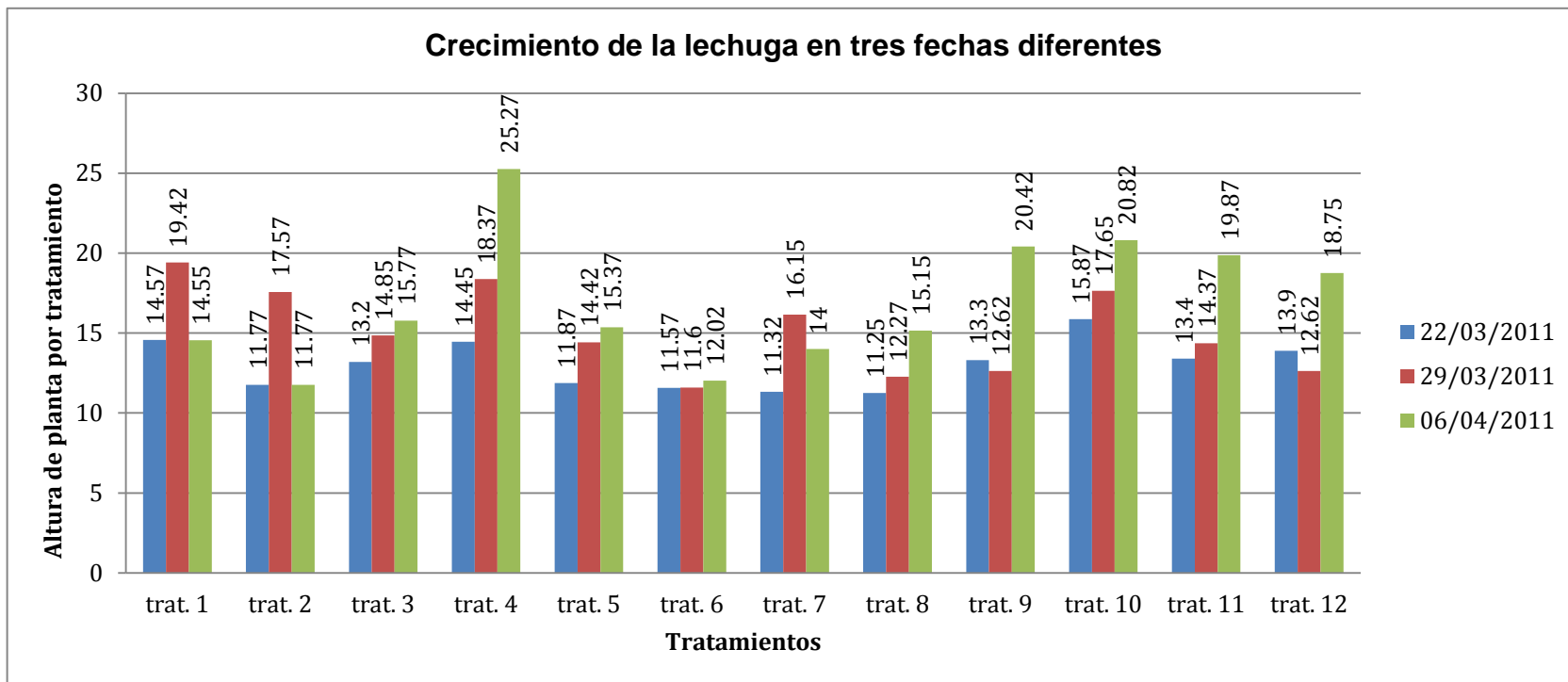


Figura 4.6 Altura promedio de la planta (cm) de los 12 tratamientos evaluados durante el desarrollo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante.

pH en el Desarrollo de la Lechuga

El Figura 4.7 y Cuadro 4.7 muestran los valores de pH de los 12 tratamientos durante el desarrollo de dicho cultivo bajo el sistema de raíz flotante.

En T1, T5 y T9 (solución nutritiva ideal al 100%) se mantuvo en una condición ácida ya que los valores presentados en ambas fechas fueron inferiores a pH 7, esto sucedió porque influyó en mayor proporción la absorción de cationes sobre los aniones. La planta en estado pleno de maduración fisiológica absorbe más cationes de K^+ que aniones de NO_3^- , como consecuencia el pH tiende a bajar respecto al de la solución nutritiva de entrada. La diferencia de pH entre estos tres tratamientos se debió al tratamiento que se le dio al agua.

T2, T6 y T10 (75% de solución nutritiva + 25% líquido de lombriz) mostraron un comportamiento semejante a los tratamientos anteriormente citados ya que tiene un pH ácido para los dos monitoreos.

Con respecto a los tratamientos T3, T7 y T11 (50% de solución nutritiva + 50% líquido de lombriz) mostraron una decadencia en los valores de pH para las dos fechas, ya que cambió de una condición alcalina a ácida. Estos cambios entre los tres tratamientos se debieron al agua empleada.

No obstante, para los tratamientos T4, T8 y T12 (25% solución nutritiva ideal + 75% líquido de lombriz) el pH se mantuvo estable, debido a que el líquido de lombriz posee microorganismos y materia orgánica por lo que al combinarlo con una baja concentración de sales evitó cambios significativos de pH, ya que dicha sustancia orgánica amortiguó la precipitación de iones en la solución.

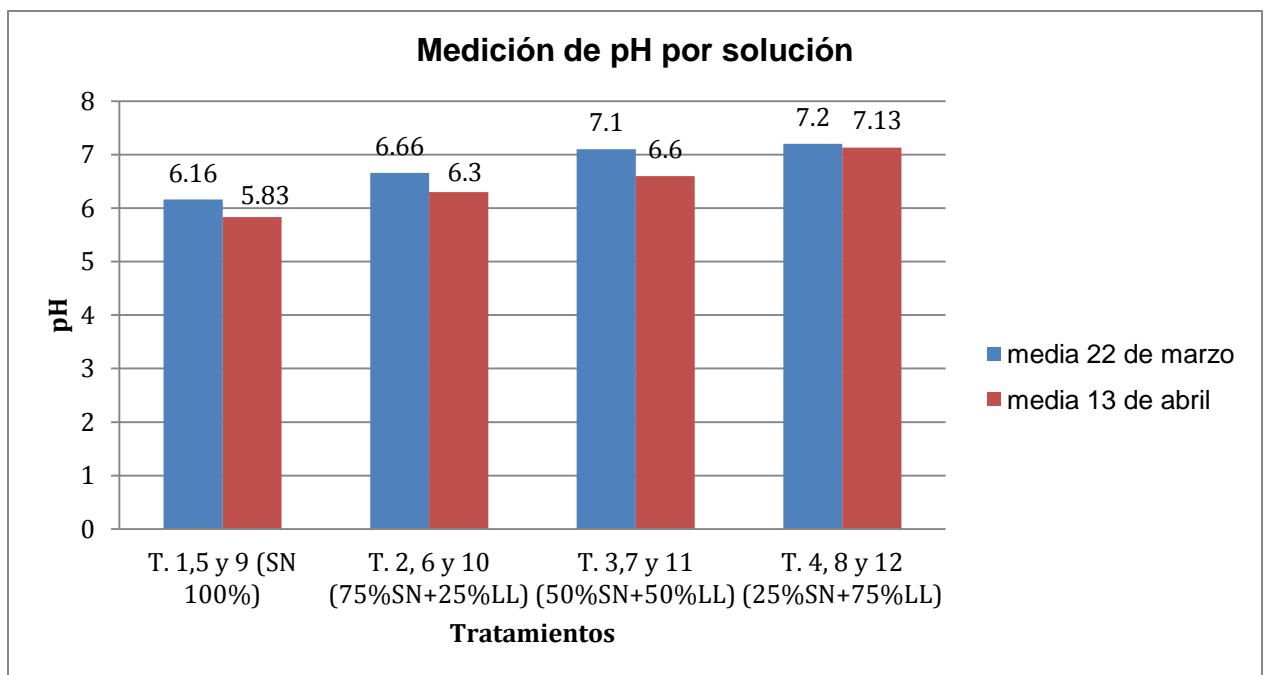


Figura 4.7 Valores promedios de pH de los 12 tratamientos evaluados durante el desarrollo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante.

Cuadro 4.7 Datos de Altura, pH y CE promedio tomados durante el ciclo del cultivo de lechuga con sus respectivas soluciones ideales bajo el sistema de raíz flotante.

La variación en los valores de pH y la CE se debieron a las concentraciones de iones en las sales de las soluciones.

	AGUA RESIDUAL SIN TRATAR				AGUA RESIDUAL TRATADA CON OZONO				AGUA RESIDUAL TRATADA CON UV			
Trats.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
	100 %SN	75%SN + 25%LL	50%SN + 50%LL	25%SN + 75%LL	100%SN	75%SN + 25%LL	50%SN + 50%LL	25%SN + 75%LL	100%SN	75%SN + 25%LL	50%SN + 50%LL	25%SN + 75%LL
\bar{x} Altura (cm)	16.18	13.7	14.6	19.36	12.88	13.86	11.73	13.88	15.45	18.11	15.88	15.92
\bar{x} pH	5.9	6.3	6.6	7	6.1	6.5	7	7.3	5.9	6.5	6.9	7.1
\bar{x} CE (dS/m)	3.4	3.5	3.1	2.7	4	3.6	3.4	2.9	3.7	3.7	3.3	2.7

La Conductividad Eléctrica (CE) Durante el Ciclo del Cultivo de la Lechuga

En el Cuadro 4.7 se muestran los valores de CE promedio para cada tratamiento durante el ciclo del cultivo de la lechuga.

En los tratamientos siguientes: T1, T2, T3 (agua residual sin tratar), T5, T6, T7 (agua tratada con ozono), T9, T10 y T11 (tratada con UV) cada uno con sus respectiva solución se puede observar que la CE es elevada ya que es superior a 3 dS/m, esto se debió al exceso de SO_4 y Mg presentes en el agua residual (Cuadro 4.7).

En esta investigación la CE de dicha solución no dependió de los abonos disueltos, sino de los iones que se formaron tras su disolución, cada ion participó proporcionalmente e individualmente a la CE de la solución, la magnitud de esta contribución dependió de las características específicas del ion correspondiente y de la proporción que este tuvo en la propia disolución como lo menciona Urrestarazu (2004).

La CE del T4, T8 y T12 (25% de Solución Nutritiva + 75% de Líquido de Lombriz) fue la que estuvo en un rango más o menos adecuada en comparación a los demás tratamientos, esto se debe a que el líquido de lombriz contiene baja concentración de sales por litro K= 1.99%, N= 1.25%, P=0.25%. Ya que el valor de la conductividad eléctrica es directamente proporcional a la concentración de

sólidos disueltos, por ende, cuanto más baja sea dicha concentración menor será la conductividad eléctrica. Se puede decir que el líquido de lombriz actuó como quelato en las sales minerales, evitando la precipitación de los aniones con cationes. En estos tratamientos se observó inhibición de la eutrofización como lo afirma Valadez en 2011.

En el cuadro 4.8 se presentan los valores de CE de los 12 tratamientos evaluados en dos fechas diferentes.

Cuadro 4.8 Valores de CE de los 12 tratamientos evaluados en dos fechas diferentes para cada tipo de agua durante el desarrollo del cultivo de lechuga bajo el sistema de raíz flotante.

Agua residual	C.E (mS/cm)	22 de marzo	13 de abril
Sin tratar	T1	3.2	3.6
Sin tratar	T2	3.3	3.7
Sin tratar	T3	3.0	3.2
Sin tratar	T4	2.6	2.8
Ozono	T5	3.7	4.4
Ozono	T6	3.5	3.8
Ozono	T7	3.4	3.4
Ozono	T8	3.0	2.9
UV	T9	3.7	3.7
UV	T10	3.5	4.0
UV	T11	3.2	3.5
UV	T12	2.6	2.9

En la Figura 4.8 se muestran los valores promedios de CE por tipo de solución nutritiva utilizada durante el desarrollo del experimento.

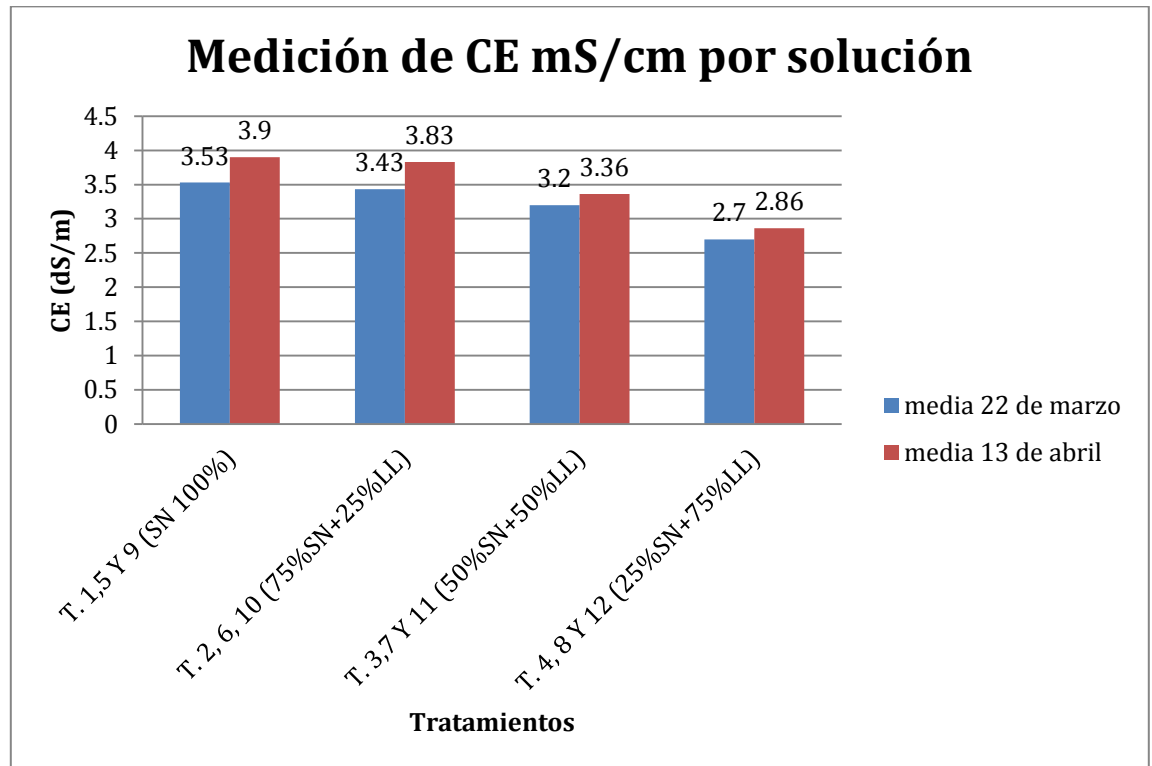


Figura 4.8 Valores promedios de CE por tipo de solución nutritiva utilizada durante el desarrollo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante.

Eficiencia en el Uso de la Solución Nutritiva

La eficiencia en el uso de la solución nutritiva fue relacionado con la asimilación de nutrientes y desarrollo de la planta, por lo tanto, los tratamientos con mayor consumo de solución fueron los de mayor calidad en producción, así mismo se relaciona con el peso fresco aéreo. Se tomó como consumo de solución sólo lo que la planta absorbió tal como lo muestra el Cuadro 4.9.

Cuadro 4.9 Eficiencia en el uso de la solución nutritiva por tratamiento (suministro en litros) durante el desarrollo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante.

T*	Inicio	Suministro	Total	Resto	Por T*	Consumo /planta (Lts)	PFA (grs)	ml/g de PFA**
T1	19.0	5.55	24.55	21.45	3.10	0.51	14.30	35.60
T2	19.0	3.52	22.52	20.48	2.04	0.34	3.40	100.00
T3	19.0	3.30	22.30	20.70	1.60	0.26	14.30	18.10
T4	19.0	14.90	33.90	9.10	24.80	4.13	90.50	45.60
T5	19.0	13.90	32.90	10.10	22.80	3.80	26.20	145.03
T6	19.0	12.00	31.00	12.00	19.00	3.16	6.20	509.60
T7	19.0	15.90	34.90	8.10	26.80	4.46	18.60	239.70
T8	19.0	12.18	31.18	11.82	19.36	3.22	41.40	77.70
T9	19.0	20.20	39.20	4.80	34.40	5.73	71.20	80.40
T10	19.0	22.50	41.50	4.50	37.00	6.16	76.90	80.10
T11	19.0	24.26	43.26	2.74	40.52	6.75	83.50	80.80
T12	19.0	25.52	44.52	1.48	43.04	7.17	94.80	75.60

*Tratamiento, **Peso Fresco Aéreo.

Análisis Microbiológico del Agua Residual y del Tejido Vegetal de Lechuga

En el Cuadro 4.10 se muestra el análisis bacteriológico del agua al finalizar el trabajo de investigación.

Los resultados del análisis microbiológico del agua residual para detectar coliformes fecales según la norma NOM-112-SSA1-1994 indicaron lo siguiente: Se puede observar que el agua residual tratada con rayos ultravioleta reportó 23 NMP (número más probable de coliformes fecales).

Anteriormente se ha mencionado que los rayos ultravioleta actúan como un excelente desinfectante del agua, más sin embargo en el análisis se reporta coliformes fecales esto se debe a que el método con el cual se analizó dicha agua registra dichos microorganismos aun cuando estos se encuentran en forma de cadáveres inactivos. Por ello se puede decir que el agua tratada con UV se puede utilizar sin problema alguno en el ámbito agrícola ya que esta tecnología rompe las cadenas de ADN de microorganismos impidiendo su reproducción.

El agua residual sin tratar y el agua residual tratada con ozono reportaron negativo. Este apartado concuerda con lo que dice Hammer en 1986, donde menciona que el parámetro principal para considerarse un agua de calidad son las bacterias coliformes ya que estas son las que causan daño a la salud humana, misma que cumple con el estándar de calidad que establece la Norma Oficial

Mexicana sobre el reuso de aguas (NOM-001-ECOL-1996) por lo que se puede deducir que el agua empleada para este experimento es de buena calidad aun cuando no se da un tratamiento previo a su uso agrícola.

Orta *et al.*, (2002) reportó excelentes resultados al utilizar Ozono como desinfectante del agua residual, eliminando por completo bacterias patógenas resistentes como *Vibrio cholerae* O1 fenotipo rugoso, además de bacterias indicadoras de contaminación (coliformes fecales) detectadas en el agua residual. Dichos microorganismos fueron eliminados totalmente después de 12 minutos de ozonación con una dosis de ozono aplicada en fase gas de 117.3 mg O₃/L de agua.

La población de coliformes fecales fue reducida a niveles por debajo de lo permitido por la Norma Oficial Mexicana de aguas residuales para riego agrícola (NOM-112-SSA1-1994).

Cuadro 4.10 Análisis bacteriológico de los diferentes tipos de agua

Muestra	Cuenta de GAM*/ml	Coliformes totales NMP**/100 ml	Coliformes fecales NMP/100 ml
Agua residual sin tratar	1 630	280	Negativo
Agua tratada con Ozono	9 600	13	Negativo
Agua tratada con UV	2 030	2 800	23

*GAM/ml=Unidades formadoras de colonia/ml, **=Número Más Probable/100 ml.

Los resultados del análisis microbiológico de hojas de lechuga para detectar coliformes fecales según la norma NOM-112-SSA1-1994 muestran que no hubo presencia de coliformes fecales cuando se analizó la lechuga después de la cosecha (tejido vegetal) en todos los tratamientos probados, agua residual sin tratar, agua residual tratada con ozono y agua residual tratada con rayos ultravioleta (Cuadro 4.11).

Este resultado quizá se haya debido a que las bandejas eran de color opaco el cual generó obscuridad en la solución y evitó el crecimiento de algas (Santos, 1987) y de esta forma generar sanidad en dichas plantas.

En el cuadro 4.11 se aprecia el resultado del análisis microbiológico de las plantas de lechuga después de la cosecha con su respectivo tratamiento.

Cuadro 4.11 Análisis microbiológico de las lechugas después de la cosecha para cada tratamiento

Muestra	Resultado	Unidades
T1	Negativo	NMP/ml
T2	Negativo	NMP/ml
T3	Negativo	NMP/ml
T4	Negativo	NMP/ml
T5	Negativo	NMP/ml
T6	Negativo	NMP/ml
T7	Negativo	NMP/ml
T8	Negativo	NMP/ml
T9	Negativo	NMP/ml
T10	Negativo	NMP/ml
T11	Negativo	NMP/ml
T12	Negativo	NMP/ml

V.- CONCLUSIONES

Las lechugas de mayor rendimiento y vigor se produjeron con el tratamiento 12 el cual fue alimentado con agua residual tratada con rayos UV y elaborado con 25% de solución nutritiva ideal + 75% de líquido de lombriz.

El agua residual tratada con ozono no es recomendada para riego y mucho menos para los sistemas hidropónicos, ya que por su efecto oxidante inactiva los iones presentes generando problemas de antagonismo, lo que provocó un desorden en la nutrición y disminución en la producción de biomasa de la lechuga.

Aun cuando el líquido de lombriz no tiene el potencial iónico suficiente para la nutrición de dicho cultivo, resulta ser un excelente activador de la nutrición vegetal.

La solución nutritiva ideal al 100% al combinarlo con el líquido de lombriz contribuye en la nutrición de la planta reduciendo así problemas de tipo nutricional.

Con el tratamiento 12 (solución nutritiva al 25% + 75% líquido de lombriz) se logra la planta con mayor peso fresco aéreo (94.8 g) teniendo un consumo de 75.6 ml de solución nutritiva por peso de planta, y en cuanto a eficiencia en el consumo de solución es el T4 (solución nutritiva al 25% + 75% líquido de lombriz)

con un peso fresco aéreo (90.5 g) y un consumo de 45.6 ml por planta.

El sistema de raíz flotante permite obtener alimentos sanos ya que el follaje de las plantas no está en contacto con la solución del medio.

Así también el agua residual empleada no tiene patógenos lo que significa que se puede utilizar sin problema alguno en la producción de cultivos.

VI. LITERATURA CITADA

- Adin, A., y Asano, T. 1998. The role of physical chemical treatment in wastewater reclamation and reuse. *Water Science Technology*. 73 (10) 79-90.
- Albarracín M. 2011. Efecto bioestimulante del humus líquido de origen fluvial TERRA HUMUS[®]) sobre el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), bajo ambiente protegido. Facultad de Agronomía. Instituto y Departamento de Agronomía, UCV, Maracay.
- Anaya, G.M. (2004). Manual de Sistemas de Captación Aprovechamiento de Agua de Lluvia para Uso Doméstico en América Latina y el Caribe IICA. Ed. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.
- Atiyeh, R.M., Lee, S., Edwards, C.A., Arancon, N.Q. y J. D. Metzger, (2002). The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource technology*, 84:7-14.
- Barbado, J.L. 2005. Libro de Hidroponía y Microemprendimientos. 1ª edición. Buenos Aires. Pág. 10.
- Barrios, A. 2004. Evaluación del cultivo de la lechuga *Lactuca sativa* L. bajo condiciones hidropónicas en pachalí, San Juan Sacatepéquez, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 55 p.
- Cadahia, C. 1998. Fertirrigación de cultivos hortícolas y ornamentales. Edición Mundi- prensa. Madrid. Barcelona.
- Bernabe, A.V. 1996. Alternativas de tratamiento de aguas residuales domesticas para su reuso agrícola en la UAAAN. Tesis de licenciatura Departamento de Riego y Drenaje. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México. 2 p.
- Cajigas, D.A. (Centro de estudios Hidrográficos). 1982. El ozono y sus aplicaciones. *Ingeniería química*. pp. 51-56.
- Chang, M; Hoyos, M; Rodríguez, A. 2000. Manual práctico de hidroponía: sistema de raíz flotante y sistema de sustrato sólido. Perú, s.e. 42 p.
- Cimrin, K.M. & Yilmaz, I. (2005). Humic acid applications to lettuce do not improve yield but do improve phosphorus availability. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science* Vol. 55,

pp. 58-63. Consulta realizada el 14/06/12 y disponible en <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09064710510008559>.

CNA. (2005). 3. El Recurso Hídrico en México. En Estadísticas del Agua en México 2005. Comisión Nacional del Agua. Consulta realizada el 10/01/11 y Disponible en http://www.cna.gob.mx/eCNA/Espaniol/Estadísticas/Central/Cap_3_EAM2005.pdf.

Collivignarelli, C., Bertanza, G. and Padrazzani, R. (2000). A comparison among different wastewater disinfection systems: experimental results. *Env. Tech.* 21: 1-16.

Conde, C; Martínez, B; Sánchez, O; Estrada, F; Fernández, A; Zavala, J; Gay, C. (2008). Escenarios de Cambio Climático (2030 y 2050) para México y Centro América. Consulta realizada el 10/01/11 y disponible en: http://www.atmosfera.unam.mx/gcclimatico/index.php?option=com_content&view=article&id=61&Itemid=74.

Corbitt, R.A.1990. Wastewater disposal. In: Standard Handbook of Environmental Engineering. Mc. Graw Hill Willard, Ohio. Chapter 6. 273 p.

Diario Oficial de la Federación. "NOM-CCA-033.ECOL/1993: "que establece las condiciones bacteriológicas para el uso de aguas residuales de origen urbano o municipal o de la mezcla de éstas con la de los cuerpos de agua, en el riego de hortalizas y productos hortofrutícolas". Secretaría de Desarrollo Social. Normas Oficiales Mexicanas en Materia de Protección Ambiental, 1993.

(DICTA) DIRECCIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROPECUARIA. 2002. Innovación tecnológica. Guía de producción de lechuga: Sistema raíz flotante. Consulta realizada el 12/04/12 y disponible en http://www.sag.gob.hn/dicta/Paginas/lechuga_hidroponica.html.

Eyheraguibel B., J. Silvestre and P. Morard.2008. Effects of hum substances derived from organic waste enhancement on the growt mineral nutrition of maize. *Bioresource Technology* 99 (10):4026-4212.

FAO. 2012. Utilización y reutilización del agua para la agricultura urbana. Consulta realizada el 15/05/12 y Disponible en <http://www.fao.org/fcit/upa/water-urban-agriculture/es/>.

González, T., González, J., y Vázquez A. 2001. Recuperación y reutilización de las aguas residuales en la producción agrícola y pecuaria de las zonas áridas.

- Gericke, W.F.1940. The complete guide to soilless gardening. New York: Prentice-Hall.
- Hammer, M. J. 1986. Water and wastewater technology. Second edition. Chapter 14. Water Reuse and Land Disposal. Jhon Wiley and Sons. NIE. Gos Third Avenue. New York. 10158. USA: 512-520 PP._____979. "Manual Técnico del Agua. España.
- Hernández, P.L. 2012. Estimulación de la capacidad germinativa mediante la aplicación de productos orgánicos en semillas de maíz (*Zea mays* L.) con bajo porcentaje de germinación. Tesis de licenciatura Departamento de Fitomejoramiento. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México. 25 p.
- Jensen, M.H. y W.L.Collins. 1985. Hydroponic vegetable production. Hort. Rev. 483-559.
- Lazarova, V., Savoye, P., Janex, M. L., Blatchely III, E. R. and Pommeputy, P. (1999) Advanced wastewater disinfection technologies: state of the art and perspectives. *Wat. Sci. Tech.* 40: 203-213.
- Mallar, A. (1978). La lechuga. Edit. Hemisferio Sur. Buenos Aires.
- Martinez, B.J. 1999. Irrigation with saline Water; Benefits and Environmental impact. *Agricultural Water Management* 40: 183-194.
- Mendoza, H., J. M. 1983. Diagnóstico climático para la zona de influencia inmediata de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Boletín Agrometeorológico. Saltillo, Coahuila, México.
- Orlov. D. S. 1995. Humic Substances in soil and general theory of humification. Russian translations series III A. A.A Balkema/Rotherdam/Brookfield.
- Orta, M. T., Yáñez, N. I., Monje. R. I. y Rojas, V. M.N. (2002) Detección, Identificación y Tratamiento de *Vibrio cholerae*.Informe de Investigación, DGAPA IN118198. Instituto de Ingeniería. UNAM.
- Ortuño, N., Velasco, J. y Aguirre, G. 2012. Aplicación de Humus líquido y microorganismos para favorecer la producción de lechuga (*Lactuca sativa* var. Crespa) en hidroponía.
- Ramos, R.R.2000. Aplicación de sustancias húmicas comerciales como productos de acción bioestimulante: efectos frente al estrés salino. Tesis de Doctorado. Universidad de Alicante Facultad de Ciencias. Departamento de Agroquímica y Bioquímica.
- Resh, H.M.1991. Hydroponic food production. 4th edition. Woodbridge Press Publishing Company. Santa Bárbara, Ca, USA.

- Rojas, M.N.2006. Aprovechamiento de residuos selectivos y aguas residuales tratadas para cultivos urbanos. Instituto de Ingeniería, UNAM, Coordinación de Ingeniería Ambiental.
- Russo, R.O., and G.P., Berlyn 1990. The use of organic bioestimulants to help low-input sustainable agriculture. *J. Sustain.Agric.* 1(2):19-42.
- Sádaba, S., Del Castillo, J., Astiz, M., Sanz, J., Uribarri, A y Aguado, G. 2007. Lechuga en Cultivo hidropónico. Septiembre - octubre 2007. Consulta realizada el 14/06/12 y disponible en <http://www.navarraagraria.com/n170/arhile.pdf>.
- Samperio, G. 2004. Un paso más en la hidroponía .Primera Edición. Editorial Diana. México. Pág. 39-47.
- Samperio, G. (1999). Hidroponía Básica. Editorial Diana, México. 172pp.
- Sánchez, F. 2003. Cultivo en solución nutritiva. Consulta realizada el 05/04/12 y disponible en <http://infoagronomo.blogspot.mx/2010/10/cultivo-en-solucion-nutritiva.html>.
- Santos, J. 1987. Cultivos hidropónicos. Segunda Edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. Pág. 100.
- Schnitzer, M. 2000. Life Time Perspective on the Chemistry of Soil Organic Matter. D. L. Sparks (Ed). *Advances in Agronomy*, Academic Press. Vol. 98: 3-58.
- Seoánez, M. 1999. Aguas residuales urbanas, tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. 2da. Edición. Ediciones Mundi–Prensa.
- Steelink, C.1983. Elemental Characteristics of humic substances. In: *Humic substances in soils, sediments and water*. Aiken, G.R.; Mcknight, D.M.; Wershaw, R. L. and McCarthy, P. (eds). John Wiley. New York, USA. 457-476 pp.
- Steiner, A.A. 1966.The influence of chemical composition of and nutrient solution on the production of tomato plants. *Plant Soil* 24: 454-466.
- Stevenson, F. 1994. Humus chemistry. Genesis, composition, reactions. 2nd Ed. John Wiley & Sons. Inc. New York, USA. 496 p. consulta realizada el 14/06/12 y disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S200709342010000200002&script=sci_arttext.
- Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente. S.S.A. 1979. Características generales y clasificación de las aguas residuales. México.

Urrestarazu, M., Carrasco, G. 2004. Tratado de cultivo sin suelo. Edición Mundi-Prensa. Madrid. Barcelona.

Valadez, S.F. 2011. Aprovechamiento de Agua de Lluvia en la Producción Hidropónica de Lechuga (*Lactuca sativa L.*). Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento Fitomejoramiento. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Viso, A.R. 2005. Reutilización de aguas residuales para riego. Tendencias tecnológicas. Centro Tecnológico de la Energía y del Medio Ambiente. Murcia, España.

Citas de internet:

(<http://www.acea.com.mx/alex-j-pacheco/nutricion-vegetal-y-soluciones-nutritivas-ii>)
(Consultada el 18 de abril del 2012).

(<http://www.aquatecna.com/index.asp?idp=651>)
(Consultada el 25 de abril del 2012).

(www.sierradebaza.org/...eutrofización/reportaje_eutrofizacion.htm)
(Consultada el 19 de junio del 2012).

(<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/112ssa14.html>)
(Consultada el 24 de mayo del 2012).