

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**



**Aprovechamiento de Agua de Lluvia en la Producción
Hidropónica de Lechuga (*Lactuca sativa* L.)**

Por:

FILIBERTO VALADEZ SANTOS

TESIS

Presentada como Requisito Parcial Para
Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila. México

Noviembre del 2011.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Aprovechamiento de agua de lluvia en la producción hidropónica de
lechuga (*Lactuca sativa L.*)

Por:

Filiberto Valadez Santos

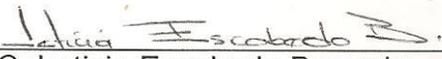
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

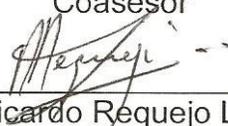
Ingeniero Agrónomo en Producción

Aprobada

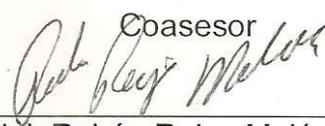
Asesor Principal


MC. Leticia Escobedo Bocardo

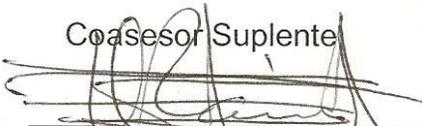
Coasesor


Dr. Ricardo Requejo López

Coasesor


Biol. Rubén Rojas Meléndez

Coasesor Suplente


Dr. Emilio Rascon Alvarado


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera

Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México. Noviembre del 2011.



AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a Dios que dejó desarrollar a mi madre, la cual me hizo existir y a la naturaleza por dejarme crecer en su entorno, a la fe que he tenido en mi señor Jesucristo y me ha liberado de los obstáculos de la vida, iluminado mis pensamientos en el recorrido del camino de la vida.

A mi “ALMA TERRA MATER”, por todo lo que ofrece en su interior: conocimientos, deportes, confianza y todo aquello que me ha servido en mi formación profesional, aunque me vaya lejos, siempre será mi segunda casa. (Buitres por siempre).

Al Dr. Ricardo Requejo López, por su enseñanza, orientación, asesoramiento y paciencia en la elaboración de este trabajo. Y más que nada por su disponibilidad como asesor y darme la confianza en confiar en uno mismo. Gracias por todo.

A la MC. Leticia Escobedo Bocardo, por sus ánimos y palabras siempre positivas que lograron motivarme en cada opinión durante mi carrera.

Al Dr. Emilio Rascón Alvarado por su amistad y por formar parte de este proyecto, por su colaboración brindada durante la realización del presente trabajo.

Al Biol. Rubén Rojas Meléndez por su valiosa colaboración brindada en este trabajo.

A mis compañeros de la carrera de Ing. Agrónomo en Producción y otras carreras, así como también amigos de infancia que supimos ser amigos de verdad durante mi estancia en la UAAAN.

DEDICATORIAS

Con todo el amor sincero que guardo en mí ser para mis padres:

Cira Santos Castros

Por todo su apoyo como madre y saber entenderme en mis más grandes obstáculos que la vida me ha puesto frente a mi camino, por su comprensión, por su forma de ser con mis hermanos, por ser la estrella que en ocasiones su luz se ve apagada, más tu amor es tan inmenso que siempre has sabido como resplandecerla de nuevo.

Me siento el ser más feliz sobre la tierra al darme cuenta que soy parte de tu sangre y compartir ese amor cuando estoy a tu lado. Gracias Dios mío por darme una madre como la que tengo, sólo te pido que la conserves a mi lado para poder disfrutar su dulce compañía. Gracias mamá eres la mujer que ha estado conmigo en todas las horas. Te amo mamá.

Misael Valadez Rosas

Por todo su apoyo y ser esa persona fuerte en toda tu vida, siempre con esa personalidad de humildad, la cual me has heredado desde que era yo un niño, me enseñaste que todo se puede cuando uno lo quiere, no sabes cuánto anhelo tu cariño, amor y efecto que me tienes así como la confianza que depositas en mí. Quiero decirte papá cuanto te amo. Gracias por ser mi padre.

A mis hermanos:

A mis tres hermanos. Edward, Misael, Jesús; por su comprensión, cariño y afecto que me tienen como su hermano menor, son parte de mi formación profesional porque siempre me hicieron saber lo importante que es estudiar.

A mis 2 hermanas. Helen y Nancy por su gran amor que siempre me han tenido y me ha servido para seguir adelante.

Y a todas aquellas personas que me dieron esos ánimos en algún tiempo durante mi estancia en la UAAAN. Incluyendo parientes, amigos y conocidos les comparto esta profesión. Gracias a todos ustedes, lo pude lograr.

INDICE DE CONTENIDO

	PAG.
AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIA.....	II
INDICE DE CONTENIDO.....	IV
ÍNDICE DE CUADROS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN.....	XI
I. INTRODUCCIÓN.....	I
OBJETIVOS GENERALES.....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
HIPOTESIS.....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
IMPORTANCIA DEL AGUA DE LLUVIA.....	5
Captación y aprovechamiento de agua de lluvia.....	5
Distribución del agua de lluvia en el planeta.....	6
Agua disponible para la agricultura.....	6
MÉTODOS PARA TRATAR EL AGUA.....	6
Rayos ultravioleta.....	6
Ventajas de los rayos ultravioleta.....	7
Inyección de ozono.....	7
VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN EL USO DE LA HIDROPONÍA.....	9
Ventajas.....	9
Desventajas.....	10
SISTEMA HIDROPÓNICO.....	11
Sistema de raíz flotante.....	11
IMPORTANCIA DE LA LECHUGA.....	13
Descripción botánica.....	13
Variedades más comunes de lechuga.....	13

Clima para el desarrollo de la lechuga.....	14
Soluciones nutritivas en la producción hidropónica de lechuga.....	14
Potencial de hidrogeno (pH) de la solución nutritiva en lechuga.....	16
Conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva en lechuga.....	16
EL DÉFICIT DE PRESIÓN DE VAPOR.....	16
Aplicación del DPV en la producción bajo invernadero.....	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
Ubicación del experimento.....	19
Producción de plántula.....	19
Sistemas de tratamiento de agua.....	20
PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES NUTRITIVAS.....	20
Formulación de solución nutritiva ideal 100%.....	20
Formulación de la solución nutritiva a base de líquido de lombriz al 100%.....	22
Formulación de solución nutritiva 50% líquido de lombriz + 50% de solución nutritiva ideal.....	23
Preparación de las bandejas.....	24
PRODUCCIÓN DE LECHUGAS BAJO EL SISTEMA DE RAÍZ FLOTANTE.....	25
Trasplante.....	25
Diseño de los tratamientos.....	25
Parámetros evaluados durante el desarrollo del cultivo.....	26
Cosecha.....	26
PARÁMETROS EVALUADOS AL FINAL DEL CULTIVO.....	27
Análisis de nutrientes asimilados en las lechugas.....	27
Análisis microbiológico de la planta de lechuga.....	27
Variables agronómicas.....	27

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
Datos iniciales de los parámetros evaluados durante el desarrollo de la lechuga.....	28
La conductividad eléctrica en el desarrollo de la lechuga.....	29
pH en el desarrollo de la lechuga.....	31
Altura de planta.....	33
Déficit de presión de vapor (DPV) en la lechuga.....	35
Consumo de agua.....	37
Absorción total de nutrientes por planta de lechuga.....	38
Análisis microbiológico del agua de lluvia y del tejido vegetal de la lechuga.....	39
Variables evaluadas al final de la investigación.....	40
Peso fresco aéreo.....	40
Peso fresco de raíz.....	41
Peso seco aéreo.....	41
Peso seco de raíz.....	41
Número de hojas.....	41
Longitud de raíz.....	42
V CONCLUSIONES.....	43
VI BIBLIOGRAFIA CITADA.....	44
VII APENDICE I.....	47

INDICE DE CUADROS

Cuadros	Descripción	PAG.
2.1	Equipo para tratar agua de lluvia.....	8
2.2	Solución empleada en lechuga en cultivo hidropónico (Sádaba, 2008).....	15
2.3	Composición de la disolución ideal para el cultivo de lechuga (Cadahia, 1998).....	15
2.4	Consumo de agua en la producción de lechuga (Sádaba <i>et al.</i> , 2008).....	18
3.1	Formulación de la solución nutritiva para lechuga.....	21
3.2	Valores de micro-elementos empleados en la solución nutritiva para lechuga.....	21
3.3	Diseño de la solución nutritiva en aniones y cationes para lechuga.....	21
3.4	Cantidad de fertilizantes (macro y meso-elementos) empleados en la preparación de 60 litros de solución nutritiva para lechuga.	22
3.5	Cantidad de fertilizantes para los micro-elementos empleados en la preparación de 60 litros de solución nutritiva para lechuga.....	22
3.6	Cantidad de macro, meso y micro-elementos empleados en la preparación de 60 litros de solución nutritiva al cincuenta por ciento para lechuga.....	24

3.7	Lista de tratamientos para la producción hidropónica de lechuga bajo el sistema de raíz flotante.....	26
4.1	Datos iniciales de altura, suministro de agua, pH y CE de las plántulas de lechuga bajo el sistema de raíz flotante.....	28
4.2	Valores de CE de los 9 tratamientos evaluados durante el desarrollo del cultivo de lechuga bajo el sistema de raíz flotante.....	30
4.3	Valores de pH de los 9 tratamientos evaluados durante el desarrollo del cultivo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante.....	32
4.4	Valores del déficit de presión de vapor durante los días de máximo desarrollo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante.....	36
4.5	Consumo de agua por tratamiento (suministro en litros) durante el desarrollo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante.....	38
4.6	Absorción total de nutrientes en gramos por planta de lechuga bajo un sistema de raíz flotante.....	39
4.7	Valores de cuadrados medios de los 9 tratamientos.....	40
4.8	Prueba de Duncan para peso fresco aéreo (PFA), peso fresco de raíz (PFR), peso seco aéreo (PSA), peso seco de la raíz (PSR), numero de hojas (NH), longitud de raíz (LR), en lechuga bajo un sistema de raíz flotante.....	42

INDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	PAG.
2.1	Sistema de raíz flotante en el suministro de agua de lluvia en la producción hidropónica de lechugas. (S.A.L.L.P.H.L.).....	12
2.2	Efecto del déficit de presión de vapor en la hoja.....	17
3.1	Producción de plántulas de lechuga en el invernadero.....	19
3.2	Preparación de las bandejas.....	24
3.3	Plántula colocada en recipiente con la esponja.....	25
3.4	Charola con plántulas bajo el sistema de raíz flotante.....	25
4.1	Valores de CE por tipo de solución nutritiva utilizada durante el desarrollo de la lechuga bajo sistema de raíz flotante.....	31
4.2	Valores de pH en los nueve tratamientos evaluados durante el desarrollo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante.....	32
4.3	Altura de la planta (cm) en los 9 tratamientos evaluados durante el desarrollo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante.....	34
4.4	Altura de planta, valores de CE y pH en los 9 tratamientos evaluados durante el desarrollo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante.....	34
4.5	Déficit de presión de vapor durante el desarrollo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante.....	35

4.6	Valores del déficit de presión de vapor del 28 de septiembre al 26 de octubre durante el desarrollo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante.....	36
4.7	Valores del déficit de presión de vapor del 27 de octubre al 23 de noviembre durante el desarrollo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante.....	37

RESUMEN

Dentro de la producción hidropónica existen diferentes sistemas de producción de acuerdo a cada cultivo. Unos de los principales es el de raíz flotante. (Sánchez y Escalante, 2006).

El análisis químico y biológico del agua de lluvia permite conocer la cantidad de sales presentes así como los microorganismos fecales que recoge al momento de su captación. La hidroponía es una ciencia joven, que es usada bajo una base comercial desde hace cuarenta años para proveer una producción intensiva de cultivos en áreas limitadas. Sus restricciones son las fuentes de agua potable y nutrientes (Howard, 2006). Dentro de los problemas en la producción de cultivos hidropónicos se encuentran el tratamiento del agua y su suministro durante su desarrollo, así como las diferentes concentraciones de nutrientes que requiere cada planta (Sánchez y Escalante, 2006).

En este experimento se evaluó la ozonización y el empleo de rayos ultravioleta en la esterilización del agua de lluvia para la producción hidropónica de lechugas romanas. Se midió el efecto de la concentración de las soluciones nutritivas a base de sales minerales, líquido de lombriz y la mezcla de líquido de lombriz con sales minerales en agua de lluvia sobre el cultivo de lechuga.

El experimento se llevó a cabo en el Invernadero del Departamento de Ciencias del Suelo de la UAAAN. Se sembraron en el invernadero semillas de lechuga romana de la variedad Grandes Lagos en dos charolas de germinación, las plántulas se desarrollaron en 20 días, quedando listas para su trasplante.

Se trataron 120 litros de agua de lluvia con ozono, 120 litros con rayos UV y 120 litros no se trataron. Se formularon 3 soluciones: 1) Solución nutritiva ideal al 100%(SNI 100%), 2) solución nutricional líquido de lombriz al 100% (SNLL 100%) y 3) 50 % SNLL + 50% SNI.

Se trasplantaron 6 plántulas de lechuga por bandeja con un suministro de 23 litros de agua con su respectiva solución nutritiva y tratamiento (T) de agua quedando: T1 (SNI 100%), T2 (SNLL 100%) y T3 (50% SNLL + 50% SNI) con agua sin tratar; T4 (SNI 100%), T5 (SNLL 100%) y T6 (50% SNLL + 50% SNI) con agua ozonizada; T7 (SNI 100%), T8 (SNLL 100%) y T9 (50% SNLL + 50% SIN) agua tratada con rayos UV. Conformando nueve tratamientos en un diseño completamente al azar.

Las lechugas mejor desarrolladas, de mayor rendimiento, calidad nutricional, y de sanidad se produjeron con el tratamiento nueve el agua de lluvia tratada con rayos UV y elaborado con 50 % de solución nutritiva a base de líquido de lombriz + 50 % de solución nutritiva ideal. El consumo promedio de agua por planta fue de 4.2 litros y una absorción total por planta de N-P-K-Ca y Mg de 0.46, 0.03, 0.90, 0.20 y 0.07 g respectivamente.

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 de lluvia sin tratar, agua de lluvia tratada con ozono y agua de lluvia tratada con rayos UV).

Palabras claves. Lechuga, sistema de raíz flotante, solución de nutrientes, líquido de lombriz, tratamiento de agua de lluvia.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el agua utilizada por el ser humano se extrae a mayores profundidades de la corteza terrestre. La necesidad de ser eficientes en su uso y aprovecharla al máximo para fines agrícolas nos obliga a diseñar diferentes sistemas de producción. Uno de estos es el de la producción de cultivos en hidroponía.

Los cultivos hidropónicos surgen de los primeros trabajos de investigación encaminados a conocer las necesidades nutritivas de las plantas. Se conocen algunos trabajos desarrollados bajo sistemas de cultivo sin suelo, como los de Robert Boyle en 1666 quien publicó el primer experimento de cultivo en agua. A mediados del siglo XVII Van Helmont pensó que el agua es el factor de crecimiento más importante de los vegetales. Hasta mediados del siglo XVIII, tan sólo hubo pequeñas experiencias realizadas por Woodward, Morceau y De Saussure. De 1850 a 1860 se emplearon diversas técnicas para entender la nutrición de las plantas por Fürstzu, Salm, Horsmar, Knop y Sachs. (Soria, 2002).

La producción hidropónica es una alternativa para la producción de diferentes hortalizas, este sistema de producción va de la mano con la aplicación de las soluciones nutritivas en la nutrición vegetal de las plantas, lo que favorece el buen uso de los fertilizantes químicos.

La palabra hidroponía se deriva de los vocablos griegos: “hydro” o “hudos” que significa agua y “ponos”, trabajo o actividad (Samperio, 2005).

Dentro de la producción hidropónica existen diferentes sistemas de producción de acuerdo a cada cultivo. Unos de los principales es el de raíz flotante. (Sánchez y Escalante, 2006).

Un análisis químico del agua de lluvia nos permite conocer la cantidad de sales presentes, así como también los microorganismos fecales que recoge al momento del recorrido por los techos. El tratamiento del agua de lluvia con rayos ultravioleta y la inyección de ozono la libera de microorganismos patógenos para aprovecharla en el riego de los cultivos hidropónicos.

En la producción tradicional (temporal) muchas veces se tienen problemas de lluvias fuertes o escasez de agua, y en la producción bajo riego a campo abierto existen problemas climáticos, lo que lleva a un mal desarrollo de los cultivos y los rendimientos de la producción bajan considerablemente.

La hidroponía es una ciencia joven, habiendo sido usada bajo una base comercial desde hace solamente cuarenta años para proveer una producción intensiva de alimentos en áreas limitadas. Su única restricción son las fuentes de agua potable y nutrientes (Howard, 2006).

En los últimos años se han introducido nuevas tecnologías en los cultivos bajo invernadero con objeto de mejorar la eficiencia y competitividad de nuestro sector hortofrutícola, estas tecnologías están limitadas por la escasez y eficiencia en el uso del agua.

La sensibilidad y respeto al medio ambiente ha dado como fruto la reglamentación y redacción de directivas en la Unión Europea (2006) con objeto de reducir la contaminación por lixiviación de fertilizantes en suelos agrícolas y la restricción del uso del bromuro de metilo para desinfectar los suelos. Al mismo tiempo crecen las experiencias destinadas a encontrar técnicas que ayuden al uso eficiente del agua y fertilizantes en las explotaciones agrícolas.

Uno de los grandes problemas en la producción de cultivos hidropónicos es el tratado de agua y su suministro durante su desarrollo así como las diferentes concentraciones de nutrientes que requiere cada cultivo (Sánchez y Escalante, 2006).

Es importante conocer el tratamiento y suministro de agua de lluvia, también el hacer un análisis de micro-elementos y porcentaje de microorganismos dañinos que nos puedan provocar problemas en cualquier fase fenológica del cultivo que se desee producir en hidroponía, además es importante monitorear durante todo el desarrollo del cultivo su pH y CE del agua en el sistema de Suministro de Agua de Lluvia en la Producción Hidropónica de Lechuga (S.A.L.L.P.H.L).

OBJETIVOS GENERALES

Evaluar la ozonización y el empleo de rayos ultravioleta en la esterilización del agua de lluvia para la producción hidropónica de lechugas romanas.

Medir el efecto de la concentración de las soluciones nutritivas a base de sales minerales, líquido de lombriz y la mezcla de líquido de lombriz con sales minerales en agua de lluvia sobre el cultivo de lechuga.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Establecer la eficiencia del uso de agua y nutrimentos de la lechuga en los diferentes tratamientos.
2. Medir la cantidad de coliformes fecales presentes en las soluciones empleadas y en las lechugas.
3. Realizar una evaluación agronómica del cultivo.

HIPÓTESIS

Dado que los tratamientos de ozonización y de rayos ultravioleta aportan una condición más favorable al agua de lluvia, las lechugas crecidas en estos tratamientos presentarán mejores respuestas en cuanto a rendimiento y sanidad que las desarrolladas en agua de lluvia sin tratar.

Considerando que la elaboración de las soluciones nutritivas a base de sales minerales es de alto costo, la adición de líquido de lombriz permitirá abaratar la nutrición del cultivo de lechuga.

II. REVISION DE LITERATURA

IMPORTANCIA DEL AGUA DE LLUVIA

Captación y aprovechamiento de agua de lluvia

El agua de lluvia es un recurso que históricamente en nuestro país ha desempeñado un papel muy importante hasta el siglo XIX. A principios del siglo XX las canalizaciones de agua empezaron a irrumpir de forma masiva en ciudades, pueblos y villas, el agua de lluvia pasó a un segundo plano y reservado casi exclusivamente a situaciones muy especiales.

En el norte de Europa, a pesar de disponer de modernos sistemas de canalización y potabilización de agua, ha vuelto a cobrar importancia en los últimos años la cosecha de agua de lluvia. Alemania por citar un claro ejemplo, comenzó a subvencionar este tipo de iniciativas desde la reunificación y centenares de miles de viviendas alemanas disfrutan actualmente de estos equipos, a pesar de la escasa tradición de estos países respecto al nuestro. La paulatina desertización de España está empezando a provocar una mayor demanda de sistemas de cosecha de aguas pluviales. El incremento de esta demanda está creciendo de forma exponencial volviendo a recuperar la costumbre de aprovechar las aguas pluviales.

La media de lluvia anual en España supera los 600 litros por m². Un edificio con una cubierta de 100 m² con aprovechamiento del 80% del agua de lluvia, caparía 48.000 litros de agua gratuitos cada año.

El agua de lluvia presenta una serie de características ventajosas.

- Es un agua extremadamente limpia en comparación con las otras fuentes de agua dulce disponibles.
- Es un recurso esencialmente gratuito e independiente totalmente de las compañías suministradoras habituales.

- Precisa de una infraestructura bastante sencilla para su captación, almacenamiento y distribución (<http://www.h2opoint.com/lluvia.php>).

Distribución del agua de lluvia en el planeta

El agua cubre el 71% de la superficie de la corteza terrestre. Se localiza principalmente en los océanos donde se concentra el 96.5% del agua total, los glaciares y casquetes polares poseen el 1.74%, los depósitos subterráneos (acuíferos), los permafrost y los glaciares continentales suponen el 1.72% y el restante 0.04% se reparte en orden decreciente entre lagos, humedad del suelo, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos. El agua (H₂O) es un líquido vital para el metabolismo de todos los seres vivos que habitan en nuestro planeta. (<http://es.wikipedia.org/wiki/Agua>).

Agua disponible para la agricultura

EL agua dulce para consumo humano y para uso en la agricultura solo es 3% del total que hay en la tierra (www.drinking-water.org/html/es/Sources/Where-is-the-Earths-Water.html).

MÉTODOS PARA TRATAR EL AGUA

Rayos ultravioleta:

Las lámparas UV producen una radiación con 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 tiene lugar 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 inocuos. Este proceso remueve toda forma de vida en el agua por su gran eficacia viricida y germicida: 99.99 % de bacterias, virus, hongos y esporas (formas resistentes de bacterias, muy difíciles de eliminar).

Ventajas de los rayos ultravioleta

- No deja residuo en el agua tratada.
- Las sales nutrientes no son eliminadas.
- Los compuestos nitrogenados no alteran su capacidad de desinfección.
- La sobredosificación no produce efectos perjudiciales.
- Necesita tiempos de contacto muy cortos.
- Seguro, opera sin productos químicos.
- Bajos costes de inversión y mantenimiento.
- Fácil instalación por módulos.
- Diseños compactos (<http://www.aquatecna.com/index.asp?idp=651>).

Inyección de ozono

La molécula de ozono O_3 , se forma por la unión de una molécula de oxígeno con un átomo libre de oxígeno. Los átomos libres, y consecuentemente el ozono, son el resultado de la disociación de las moléculas de oxígeno cuando estas se ven sometidas a una fuerte descarga eléctrica.

La molécula de ozono es uno de los oxidantes más poderosos que se conocen después del fluoruro, con una velocidad de reacción tres mil veces superior a la del cloro. Debido a esto, el ozono oxida hierro, manganeso y otros metales pesados. Destruye virus, bacterias, hongos, esporas, algas y protozoos.

Es apto para descomponer detergentes, pesticidas, trihalometanos y otras muchas sustancias orgánicas presentes en el agua, además neutraliza cianuro, amoníaco, nitritos y urea; todo esto lo hace muy apropiado para el tratamiento de todo tipo de aguas ya que recupera las características comunes del agua eliminando todo tipo de sabores, colores y olores extraños. (<http://www.criotec-coolers.com/ozonadores-generadores-de-ozono.htm>).

Los procesos de purificación del agua incluyen etapas tales como: recepción y almacenamiento de agua cruda, filtración, ósmosis inversa, luz ultravioleta, ozonificación y envasado del agua. En el cuadro 2.1, se muestran diferentes equipos para tratar el agua de lluvia, el factor común en estas etapas debe considerar las buenas prácticas de higiene y sanidad. (<http://www.google.com.mx/#hl=es&q=analisis+de+agua+de+lluvia&oq=analisis+d+e+agua+de+lluvia>).

Cuadro 2.1. Equipo para tratar agua de lluvia. (<http://www.google.com.mx/#hl=es &q=analisis+de+agua+de+lluvia>).

Equipo	Refacciones	Frecuencia	Observaciones
1. Filtro de carbón activado G	Cambio de carbón impregnado con elementos bactericidas	Anual	Revisar la programación de retro lavados
2. Pulidor Slim-Line	Cartuchos sedimentadores 20, 10 y 5 micras	Lavarse al saturarse. La experiencia marcará la frecuencia	Cambio anual
3. Luz Ultravioleta	Focos de Luz. Tubos de cristal de cuarzo. Balastro.	Cada 6 meses. Cuando se rompe o se quema	El foco se deberá cambiar a los 6 meses aún si prende.
4. Ozono	Reemplace el equipo	Cada 2 años	
5. Garraiones	GERMIBAC para lavado de garraiones. Porrón 19 litros	Consumible	
6. Garraiones	DICLOR para sanitizar garraiones. Porrón 19 litros	Consumible	
7. Filtro Speedy	Retro lavado	Dependiendo del uso por observación del panel transparente	5 litros
8. Carbón Activado	Retro lavado	Semanal	5 min. (Hasta que el agua este transparente).
9. Suavizador	Regeneración resinas	Semanal o cuando la dureza llegue a más de 60 mg/l	15 min. (accionar el con contador del tiempo)
Tanque de Almacenamiento de Agua Purificada	Desinfección con Hipoclorito de sodio o calcio	Mensual	
Línea de Tubería	Desinfección con Hipoclorito de sodio o calcio	Mensual	500 litros

VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN EL USO DE LA HIDROPONIA

Ventajas

- Menor número de horas de trabajo y más livianas.
En general estos sistemas requieren de un menor número de horas de trabajo que los sistemas convencionales de producción, ya que no sólo pueden automatizarse sino que además la naturaleza de las tareas es sensiblemente diferente en estos sistemas, son más livianas que en los sistemas convencionales, por lo que puede existir un ahorro sensible en mano de obra y por lo tanto en costos.
- No es necesaria la rotación de cultivos.
En estos sistemas no es necesaria la rotación de cultivos en el sentido estricto como se utiliza en los sistemas convencionales, básicamente por la no existencia de suelo.
- No existe la competencia por nutrientes.
No existe la competencia por nutrientes, ya sea por plantas voluntarias o por microorganismos de suelo.
- Las raíces se desarrollan en mejores condiciones de crecimiento
Tanto en medios artificiales como en agua el desarrollo radicular adquiere su mejor desarrollo sin impedimentos físicos ni nutricionales, comparados con los sistemas tradicionales donde se suceden problemas de compactación, baja infiltración, condiciones de anaerobiosis para las raíces, que conspiran en su desarrollo.
- Mínima pérdida de Agua
Se realiza un uso eficiente del agua, ya que ésta es aportada en las cantidades necesarias y en forma controlada, además en sistemas hidropónicos se minimizan las pérdidas por infiltración y evaporación.

- **Mínimo problema con las Malezas**
El problema de malezas se considera mínimo en estos sistemas, ya sea que los medios son estériles o son esterilizados, además que el problema de formación de algas en el sistema puede ser minimizado. El problema de las malezas tiende a desaparecer al no existir suelo.
- **Reducción en Aplicación de Agroquímicos**
En general la aplicación de agroquímicos se reduce en estos sistemas, ya que el suelo como fuente de hospedaje o ciclo de enfermedades desaparece, de todos modos los sistemas hidropónicos no son inmunes a la presencia de patógenos, sobre todo aquellos que pueden colonizar medios líquidos, por otro lado las plagas pueden tener una incidencia similar que en los sistemas tradicionales, pero en la medida que se implementen estrategias de control, como el control integrado de plagas y enfermedades, así como un mejor control de las condiciones de crecimiento, redundará en una aplicación menor de plaguicidas.
- **El Sistema se ajusta a áreas de producción no tradicionales**
La implementación de estos sistemas permite ampliar el horizonte agrícola permitiendo la inclusión de áreas urbanas y suburbanas para la producción. En general es posible desarrollar producciones comerciales exitosas en áreas tan pequeñas como el fondo de una casa. Esto permite una plasticidad en la evolución del volumen y el área de cultivo muy diferente a la obtenida con los cultivos realizados en los sistemas tradicionales (Gilsanz, 2007).

Desventajas

- **Costo inicial alto**
Estos sistemas presentan un costo inicial alto debido a las inversiones a realizar, de todos modos esto variará dependiendo del sistema elegido y del control que se desee realizar del ambiente de crecimiento. Si vamos a

sistemas donde se controla la temperatura, humedad y luz del lugar de crecimiento del cultivo, tendremos mayores grados de inversión en equipos de medición y control.

- Por otro lado sistemas que requieran un aporte energético, como los sistemas circulantes, diferirán en los costos de aquellos sistemas flotantes o estáticos.
- Desbalances nutricionales causan inmediato efecto en el cultivo
Al no existir suelo se pierde la capacidad buffer de éste frente a excesos o alteraciones en el suministro de nutrientes, es por ello que de forma inmediata se presentan los síntomas tanto de excesos como de déficits nutricionales. El productor deberá estar muy atento al equilibrio de la fórmula nutricional y a sus cambios durante el ciclo (Gilsanz, 2007).

SISTEMA HIDROPÓNICO

Sistema de raíz flotante

También conocido como cultivo en solución nutritiva o cultivo en agua y de acuicultura. Consiste en el crecimiento de los cultivos con sus raíces sumergidas parcial o totalmente en una solución que contenga todos los elementos nutritivos necesarios, incluyendo oxígeno disuelto (Sánchez y Escalante, 2006).

En la figura 2.2 muestra el desarrollo de las raíces de lechuga en el sistema de raíz flotante de este trabajo.



Figura 2.2. Sistema de raíz flotante en el suministro de agua de lluvia en la producción hidropónica de lechugas. (S.A.L.L.P.H.L).

El sistema flotante es el más sencillo de realizar, de bajo costo y no demanda el uso de energía extra. Consta de un recipiente donde se coloca la solución nutritiva y sobre ella flotando la plancha de espuma que soporta las plantas. En este sistema es necesario realizar un cambio de solución semanalmente o al menos renovar parte de ella, además se requiere de la aireación del sistema por agitación de la solución diariamente. Las desventajas de este sistema consisten en la necesidad de formulación frecuente de la solución nutritiva, la necesidad de airear el medio y prever la contaminación del soporte de espuma por algas que encuentran su fuente de alimento en la solución nutritiva, incentivadas por el acceso a la luz y requiere además de un consumo importante de agua. En este sistema los cultivos que mejor se adaptan son aquellos de hoja como lechuga, espinaca y el de plantas aromáticas (Gilsanz, 2007).

IMPORTANCIA DE LA LECHUGA

La lechuga es una de las verduras más conocidas y populares. Es de gran ayuda en el proceso de purificación sanguínea, es diurética limpiadora intestinal y además, aperitiva; entre las vitaminas que contiene se destacan las B, C y A, en ese orden de importancia (<http://www.dietas.com/articulos/aporte-de-la-lechuga-a-la-salud.asp#ixzz1cfKI0Q9I>).

Descripción botánica

Planta anual perteneciente a la familia *Compositae*.

Nombre científico: *Lactuca sativa* L.

La lechuga posee un sistema radicular profundo, poco ramificado, sus hojas pueden ser de forma redonda, lanceolada o casi espatulada. El borde de los limbos foliares puede ser liso, ondulado o aserrado, existiendo una amplia variabilidad varietal. En estado vegetativos avanzados, el cogollo o, en su caso, el manojo central de hojas, se abre para dar paso a un tallo cilíndrico y ramificado portador de hojas (Gómez, 2000).

El origen de la lechuga no está muy claro, algunos autores afirman que procede de la India, mientras que otros la sitúan en las regiones templadas de Eurasia y América del Norte, a partir de la especie *Lactuca serriola* (<http://fitolechugaudca.blogspot.com/2010/11/origen-de-la-lechuga.html>).

Variedades más comunes de lechuga

Las variedades de lechuga se clasifican en:

Romanas: No forman un verdadero cogollo, las hojas son oblongas, con bordes enteros y nervio central ancho.

- Romana

- Baby

Acogolladas: Estas lechugas forman un cogollo apretado de hojas.

- Batavia
- Mantecosa o Trocadero
- Iceberg

De hojas sueltas: Son lechugas que poseen las hojas sueltas y dispersas.

- Lollo Rossa
- Red Salad Bowl
- Cracarelle

Lechuga espárrago: Son aquellas que se aprovechan por sus tallos, teniendo las hojas puntiagudas y lanceoladas. Se cultiva principalmente en China y la India (Escuelas Idea Sana EROSKI, 2005).

Clima para el desarrollo de la lechuga

La temperatura óptima para el desarrollo de la lechuga es de 15 a 18 °C, soportando una temperatura máxima de 24°C y una mínima de 7°C. Las temperaturas altas aceleran el desarrollo del tallo floral y la calidad de la lechuga se afecta rápidamente debido a la acumulación de látex amargo en las venas y la alta humedad origina la pudrición del tallo (Escuelas Idea Sana EROSKI, 2005).

Soluciones nutritivas en la producción hidropónica de lechuga

Urrestarazu cita a Steiner en 1961, en donde definió con carácter práctico tres factores a considerar en la disolución nutritiva en los cultivos sin suelos: 1) la concentración de cada ion, 2) el pH de la disolución y 3) la concentración iónica total. Recopilando los factores de Steiner, el primero y el segundo están en relación estrecha con la nutrición mineral clásica y el diagnóstico nutricional, la concentración iónica relaciona la conductividad eléctrica

(CE) de la disolución nutritiva con su presión osmótica y cuando ésta es muy alta surgen problemas propios de estrés salino (Urrestarazu, 2004).

La solución nutritiva es el conjunto de los elementos nutritivos requeridos por las plantas que se encuentran disueltos en agua. Bajo un sistema hidropónico, con excepción del carbono, oxígeno e hidrógeno, todos los elementos esenciales son suministrados por medio de la solución nutritiva y en forma asimilable por las raíces de las plantas, por lo tanto se considera que debe ser un requisito fundamental la solubilidad de los iones esenciales en el agua (Barrios, 2004). En el cuadro 2.2 y 2.3 muestran la solución empleada en el cultivo de la lechuga según Sádaba y Cadahia.

Cuadro 2.2 Solución empleada en lechuga en cultivo hidropónico (Sádaba, 2008).

iones	mMol/L
HCO ₃ ⁻	0.05
NO ₃ ⁻	10.00
SO ₄ ⁼	2.50
H ₂ PO ₄ ⁻	2.50
Ca ⁺⁺	5.00
Mg ⁺⁺	2.50
K ⁺	6.00
CE	2.0
pH	5.8

Cuadro 2.3. Composición de la disolución ideal para el cultivo de lechuga (Cadahia, 1998).

cultivo	----- Meq/L ----- mg/L -----													
	CE (mS/cm)	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	.50	.26	.32	.05	.05

Potencial de hidrogeno (pH) de la solución nutritiva en lechuga

El pH indica el grado de acidez o alcalinidad de una solución. Si una solución es ácida su valor es menor a 7, si es alcalina su valor es mayor a 7 y si es neutra su valor es de 7. La disponibilidad de nutrientes varía de acuerdo al pH de la solución nutritiva, por eso es recomendable mantenerlo dentro de un rango que va de 5.5 a 6.5 en el cual los nutrientes están disponibles para la planta (Barrios, 2004).

Conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva en lechuga

La conductividad indica el contenido de sales en la solución. El rango de conductividad eléctrica para un adecuado crecimiento del cultivo se encuentra entre 1.5 a 2.5 mS/cm. Se recomienda realizar esta evaluación por lo menos una vez por semana (Barrios, 2004).

En general la CE de la disolución no depende de los fertilizantes disueltos, sino de los iones que se producen tras su disolución, es decir, cada ion contribuye proporcionalmente e individualmente a la CE de la disolución, la magnitud de esta contribución dependerá de las características específicas del ion correspondiente y de la proporción que este tenga en la propia disolución (Urrestarazu, 2004).

EL DÉFICIT DE PRESIÓN DE VAPOR

Aplicación del DPV en la producción bajo invernadero

La presión del vapor ($p_{v_{aire}}$) es una medida de la cantidad de vapor presente en el aire. Más vapor de agua en el aire resulta en mayor presión del

vapor. Cuando el aire llega a tener el máximo contenido de vapor, se llama presión de vapor de saturación ($p_{v_{sat}}$), la cual está relacionada directamente con la temperatura. Así que, la diferencia entre la presión de vapor de saturación y la presión real de vapor en el aire ($p_{v_{sat}} - p_{v_{aire}}$) es la definición matemática de DPV. El valor del DPV indica cuán cerca está la condensación y en consecuencia, de las condiciones que favorecen la ocurrencia de enfermedades, en el ambiente del invernadero (<http://www.hortalizas.com/ehortalizas/?storyid=243>).

La Figura 2.2 muestra cómo el DPV aumenta o inhibe la habilidad del cultivo para transpirar. DPV más alto significa que el aire tiene mayor capacidad de retener agua, estimulando así la transferencia del vapor de agua (transpiración) al aire en esta condición de baja humedad. DPV más bajo, por otro lado, conlleva un nivel de saturación del aire completa o casi completa, de manera que el aire no puede aceptar humedad de la hoja en esta condición de alta humedad (<http://www.hortalizas.com/ehortalizas/?storyid=243>).

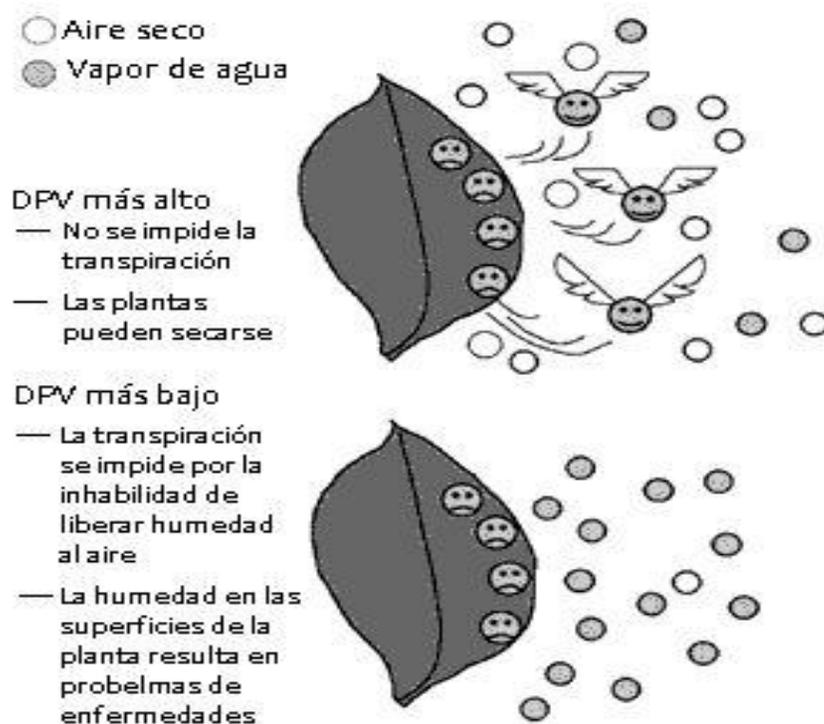


Figura 2.2. Efecto del déficit de presión de vapor en la hoja.

Sádaba *et al.* (2008), indican que el cultivo hidropónico de lechuga reporta buenos resultados en producción al aplicar soluciones nutritivas y suministrar agua potable con adición de aire durante el desarrollo del cultivo. Los consumos de agua se presentan en el cuadro 2.4.

Cuadro 2.4. Consumo de agua en la producción de lechuga. (Sádaba *et al.*, 2008).

Fecha de plantación	Fecha de recolección	Ciclo en días	Litros de agua por planta
19-sept-07	30-oct-07	41	6.7
31-oct-07	30-ene-08	91	7.8
30-enero-08	1-abr-08	62	8.7
3-abr-08	14-may-08	41	9.6
14-may-08	18-jun-08	35	14.4
19-jun-08	22-jul-08	33	14.2

El Déficit de Presión del Vapor (DPV) es un factor que influye mucho en la producción ya que si tenemos un DPV alto tendríamos una mayor transpiración en el cultivo, como la humedad del aire es baja existe una estimulación de transferencia del vapor de agua al aire (facilidad de transpiración de la hoja). De lo contrario tendríamos una saturación de agua en el aire de manera que el aire no puede aceptar agua de la hoja. Tendríamos agua en la superficie de la hoja por la condensación (rocío) esto lleva a los patógenos fungosos a desarrollarse rápidamente. (<http://www.hortalizas.com/ehortalizas/?storyid=2430>).

III. MATERIALES Y METODOS

Ubicación del experimento

El experimento se llevó a cabo en el Invernadero del Departamento de Ciencias del Suelo de la UAAAN, ubicada a 7 km al sur de la ciudad de Saltillo, con una altitud de 1743 msnm, la temperatura media anual es de 19.8 °C con una máxima en los días más cálidos de 35 °C y en invierno llega a bajar hasta -10°C. El invernadero tiene 5 m de ancho por 10 de largo tipo túnel, cuenta con un extractor de aire y malla sombra en el interior.

Producción de plántula

Se sembraron en el invernadero semillas de lechuga de la variedad Grandes Lagos tipo romana en dos charolas de germinación de 35 x 55 cm, que contenían perlita tamizada 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 24 litros que contenían agua de lluvia sin tratar. Las plántulas se desarrollaron en 20 días, quedando listas para su trasplante como se muestra en la figura 3.1.



Figura 3.1 Producción de plántulas de lechuga en el invernadero.

Sistemas de tratamiento de agua

El agua de lluvia se colectó en un tanque de 800 litros de capacidad, se tomaron muestras para hacer análisis químico y de microorganismos dañinos (coliformes fecales).

Se trataron 120 litros de agua de lluvia con un generador de ozono marca Morezon10, Ozone generator (made in Taiwan) 60 litros por 24 horas.

Se trataron 120 litros de agua de lluvia con rayos UV utilizando el aparato Sterilight Ultraviolet Desinfection System (modelo: # SC, producto de Canadá) 60 litros por media hora.

PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES NUTRITIVAS

Se prepararon tres soluciones nutritivas: solución nutritiva ideal 100%, líquido de lombriz 100% y 50% solución nutritiva ideal + 50% líquido de lombriz.

La fuente del líquido de lombriz de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Gerencias de empresas universitarias. Información y ventas sección Agrotecnia (844 411 03 51/411 03 52). Calzada Antonio Narro No. 1923 Buenavista Saltillo Coah. C.P. 25315.

Formulación de la solución nutritiva ideal 100%

La solución madre 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 de lluvia (Cuadro 3.1). En el Cuadro 6 se aprecian los valores de micro-elementos aportados en la nutrición del cultivo. El diseño de la solución en cuanto al contenido de cationes y aniones se presenta en el Cuadro 3.3.

Cuadro 3.1 Formulación de la solución nutritiva para lechuga.

Macro-elementos	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
Agua de lluvia	0.21	NO	5.04	0.59	0.34	NO	NO	6.60	0.52
Solución ideal	19	2.0	2.2	NO	NO	1.25	11	9.0	2.0
Aporte (S.N.I.)[*] al 100%	18.79	2.0	NO	No	no	1.25	11	2.4	1.48

Las unidades están en Meq/L. ^{*} Solución nutritiva ideal (Cadahía, 1998).

Cuadro 3.2 Valores de micro-elementos empleados en la solución nutritiva para lechuga.

MICRO-ELEMENTOS (en unidades Meq/L)					
Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mol.
2.2	0.5	0.26	0.32	0.05	0.05

Cuadro 3.3. Diseño de la solución nutritiva en aniones y cationes para lechuga.

Meq/L	NH ₄	K	Ca	Mg	H	Total
NO ₃	X	10.25	2.40	1.48		18.79
H ₂ PO ₄	1.25	0.75				2.0
SO ₄						NO
Total	1.25	11	2.4	1.48	NO	

Los cuadros 3.4 y 3.5 ilustran la cantidad de fertilizantes que aportan los macro, meso y micro-elementos utilizados para preparar 60 litros de la solución nutritiva para la lechuga.

Cuadro 3.4. Cantidad de fertilizantes (macro y meso-elementos) empleados en la preparación de 60 litros de solución nutritiva para lechuga.

Fertilizantes	adición para 1L	Gramos para 60 litros
Nitrato de potasio: KNO_3	1.025g	61.50
Nitrato de calcio: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.288g	17.28
Nitrato de magnesio: $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.192g	11.54
Fosfato de amonio: $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	0.15g	9.00
Fosfato de potasio: KH_2PO_4	0.105g	6.30

Cuadro 3.5. Cantidad de fertilizantes para los micro-elementos empleados en la preparación de 60 litros de solución nutritiva para lechuga.

Fuentes de nutrientes	cálculo	Gramos para 60 litros
Quelato de hierro	$[2.2 * (100/9)/1000]$	1.460 g
Quelato de cobre	$[0.05 * (100/9)/1000]$	0.033 g
Quelato de zinc	$[0.26 * (100/9)/1000]$	0.173 g
Sulfato de manganeso	$(0.5)*(223/54.94)/1000$	0.121 g
Ácido bórico	$(0.32)*(61.81/10.81)/1000$	0.110 g
Molibdato de amonio	$(0.05)*(1236/672)/1000$	0.006 g

Formulación de la solución nutritiva a base de líquido de lombriz al 100%

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

K= 1.99%

N=1.255%

P= 0.25%

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

1% _____ 10000 ppm

1.99% _____ x= 19900 ppm de K

Meq/L= ppm

M. atómica del K

Meq/L= $\frac{19900}{39}$ =510.25 Meq/L

39

El ideal para conformar la solución es 11 Meq/L.

1 litro de lombriz _____ 510.25Meq/L de K

X _____ 11 Meq/L

X= 0.021 Litros de líquido de lombriz

11 Meq/L se encuentran en 0.021L de líquido de lombriz. Se prepararon 60 litros de solución en cada tratamiento a evaluar.

Por lo tanto, 0.021 x 60 litros de agua= 1.26 litros de líquido de lombriz aforados a 60 litros y conformar así la solución orgánica.

Formulación de la solución nutritiva 50% líquido de lombriz + 50% de solución nutritiva ideal

La formulación de solución nutritiva 50% líquido de lombriz + 50% de la solución nutritiva ideal para 60 litros de agua se preparó con 0.63 litros de líquido de lombriz más la mitad de la disolución nutritiva ideal química como lo muestra el cuadro 3.6.

Cuadro 3.6. Cantidad de macro, meso y micro-elementos empleados en la preparación de 60 litros de solución nutritiva al cincuenta por ciento para lechuga.

Fertilizantes	gramos	Micro-elementos	gramos
KNO ₃	30.75	Fe	0.73
Ca(NO ₃) ₂ 4H ₂ O	8.64	Cu	0.0165
Mg(NO ₃) ₂ 6H ₂ O	5.76	Zn	0.0865
NH ₄ H ₂ PO ₄	4.5	Mn	0.061
KH ₂ PO ₄	3.15	B	0.055
		Mo	0.0028

Preparación de las bandejas

Las 9 bandejas de plástico a utilizar se pintaron de negro para evitar el contacto directo de las raíces con la luz del sol (fig. 3.2), enseguida se hicieron seis orificios a cada tapa de las bandejas, lo anterior con un tubo de acero calentado al rojo vivo. La distancia entre orificios fue de 18 por 23 cm.



Figura 3.2. Preparación de las bandejas.

PRODUCCIÓN DE LECHUGAS BAJO EL SISTEMA DE RAÍZ FLOTANTE

Trasplante

Las plántulas desarrolladas se trasplantaron a las bandejas, cada plántula fue colocada sobre la tapa, en un vasito de 2 x 6 cm con una esponja perforada (Figura 3.3), para sostener la planta en la bandeja.

La raíz flota en el agua y la distancia entre plantas es de 18 cm y forman 2 surcos de 23 cm de ancho, es decir, 6 plántulas por bandeja. (Figuras 3.3 y 3.4).

Se suministraron 23 litros de agua con su respectiva solución nutritiva y tratamiento de agua lo que conformaron los tratamientos.

Cada bandeja constituyó un tratamiento y cada planta una repetición haciendo un total de 9 tratamientos con 6 repeticiones.



Figura 3.3. Plántula colocada en recipiente con la esponja.

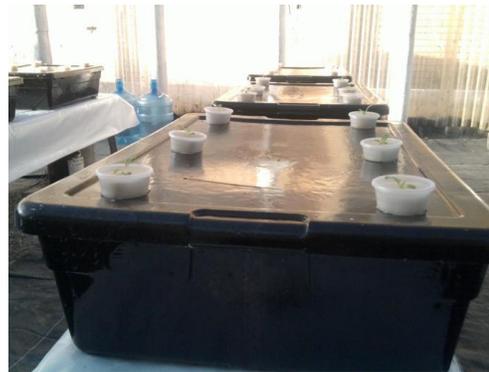


Figura 3.4 Charola con plántulas bajo el sistema de raíz flotante.

Diseño de los tratamientos

El Cuadro 3.7 muestra la lista de los nueve tratamientos de acuerdo a la solución nutritiva y tipo de tratamiento de agua, en un diseño completamente al azar, con seis repeticiones en donde cada planta constituyó una repetición. La

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

Cuadro 3.7. Lista de tratamientos para la producción hidropónica de lechuga bajo el sistema de raíz flotante.

Trat.	Agua de lluvia	Soluciones nutritivas
1	Sin tratar	Solución nutritiva ideal al 100%
2	Sin tratar	Líquido de lombriz al 100%
3	Sin tratar	50% líquido de lombriz + 50% solución nutritiva ideal
4	Tratada con ozono	Solución nutritiva ideal al 100%
5	Tratada con ozono	Líquido de lombriz al 100%
6	Tratada con ozono	50% líquido de lombriz + 50% solución nutritiva ideal
7	Tratada con rayos ultravioleta	Solución nutritiva ideal al 100%
8	Tratada con rayos ultravioleta	Líquido de lombriz al 100%
9	Tratada con rayos ultravioleta	50% líquido de lombriz + 50% solución nutritiva ideal

Parámetros evaluados durante el desarrollo del cultivo

Semanalmente se evaluaron los siguientes parámetros:

- pH y C.E (Combo pH & E.C Waterproof).
- Altura de la planta con regla de 30 centímetros.
- Consumo de agua con una probeta de 1000ml.

Cosecha

La cosecha se realizó de forma manual. La base de la planta se cortó con una navaja para separar la parte aérea y la parte de la raíz. Se realizó el día 23 de noviembre del 2010.

PARÁMETROS EVALUADOS AL FINAL DEL CULTIVO

Para cada uno de los tratamientos se evaluaron las siguientes variables en el cultivo.

Análisis de nutrientes asimilados en las lechugas

- El análisis de nutrientes se realizó en el Laboratorio del Patronato para la Investigación Agrícola del Estado de Coahuila.
- Nitrógeno se analizó mediante Kjeldhal.
- Fósforo por el método Ansa.
- Azufre con espectrofotómetro.
- Potasio, calcio, magnesio y micronutrientes por absorción atómica.
Boro mediante azometina H.

Análisis microbiológico de la planta de lechuga

El análisis microbiológico se realizó en el Laboratorio Químico Industrial en Saltillo, Coahuila. (E-mail laboratorioquimico@prodigy.net.mx).

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

Variabes agronómicas

- Se consideraron las siguientes:
- Peso fresco aéreo (PFA).
- Peso fresco de raíz (PFR).
- Número de hojas (NH).
- Longitud de raíz (LR).
- Peso seco aéreo (PSA).
- Peso seco de raíz (PSR).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Datos iniciales de los parámetros evaluados durante el desarrollo de la lechuga

Se midió la altura de plántula, el suministro de agua, el pH y la CE al momento de establecer las plántulas de lechuga de los 9 tratamientos bajo el sistema de raíz flotante. (Cuadro 4.1).

Cuadro 4.1. Datos iniciales de altura, suministro de agua, pH y CE de las plántulas de lechuga bajo el sistema de raíz flotante.

Solución nutritiva ideal al 100% (30 de septiembre del 2010)					
Tratamientos	T 1	T 4	T 7	media PH	media C.E
Altura media	1.5cm	1.63cm	1.27cm	6.21	2.92 dS/m
Litros de agua	23 L	23 L	23 L		
Líquido de lombriz al 100% (30 de septiembre del 2010)					
Tratamientos	T 2	T 5	T 8	media PH	media C.E
Altura media	2.05cm	1.7cm	1.82cm	7.92	1.74 dS/m
Litros de agua	23 L	23 L	23 L		
50% Líquido de lombriz + 50% de solución nutritiva ideal					
Tratamientos	T 3	T 6	T 9	media PH	media C.E
Altura media	2.67cm	2.32cm	1.77cm	6.85	2.37 dS/m
Litros de agua	23 L	23 L	23 L		

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

La conductividad eléctrica en el desarrollo de la lechuga

En el cuadro 4.2 y en la figura 4.1 se muestran los valores de CE de cada tratamiento (T) durante el desarrollo del cultivo de la lechuga.

Se puede observar en T1, T4 y T7 (con solución ideal al 100%), que la CE es poco elevada y fue subiendo durante el desarrollo de la planta, esto se debe a la presencia de bicarbonatos y a la fuente de nitrógeno (nitrato de calcio) que se suministró a la solución (Cuadros 3.4 y 3.5), además por la eutrofización durante el metabolismo celular de la planta y al desbalance de las concentraciones de iones presentes en el agua.

En este trabajo de investigación la CE de la disolución no dependió de los fertilizantes disueltos, sino de los iones que se produjeron tras su disolución, cada ion contribuyó proporcionalmente e individualmente a la CE de la disolución, 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 afirma Urrestarazu en el 2004.

La CE del T2, T5 y T8 (líquido de lombriz al 100%) fue la más baja en relación a los otros tratamientos, esto se debe a la baja concentración de sales presentes en el líquido de lombriz por litro $K= 1.99\%$ $N=1.255\%$ $P= 0.25\%$. Ya que valor de la conductividad eléctrica es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos, por lo tanto, cuanto menor sea dicha concentración menor será la conductividad eléctrica.

Las plantas de los tres tratamientos con esta solución dejaron de asimilar nutrientes a los 8 días después del trasplante, por lo tanto no hubo gasto de agua ni de nutrientes. La CE se mantuvo baja durante el experimento.

En el T3, T6 y T9 (50% de líquido de lombriz + 50% de la solución ideal) fueron más estables, incrementaron su CE durante todo el desarrollo de las lechugas, esto se debió al efecto del líquido de lombriz que no presenta una composición química cuantitativa estable, muestran una estructura espacial “amorfa” y por su periferia se encuentran grupos químicos reactivos de carácter ácido (OH y COOH) los cuales hacen posible que estas sustancias (humus), puedan absorber en su superficie agua y elementos nutritivos que pueden ser utilizados por las plantas. Se puede decir que actuó como quelato en las sales minerales, evitando la precipitación de los aniones con cationes. En estos tratamientos se observó inhibición de la eutrofización.

Cuadro 4.2. Valores de CE de los 9 tratamientos evaluados durante el desarrollo del cultivo de lechuga bajo el sistema de raíz flotante.

Agua de lluvia	C.E	30 sep.	8 oct	15 oct	22 oct	29 oct	5 nov	12 nov	20 nov
Sin tratar	T 1	3.2	3.24	2.95	2.8	3.4	3.34	3.7	4.24
Sin tratar	T 2	1.75	1.87	1.81	1.69	2.62	1.52	2.31	1.99
Sin tratar	T 3	2.3	2.64	2.55	2.48	3.04	2.45	2.95	3.15
Ozono	T 4	3.16	3.4	3.43	3.51	3.52	3.11	3.14	3.36
Ozono	T 5	1.74	1.92	1.85	1.72	3.01	1.98	1.83	1.97
Ozono	T 6	2.41	2.78	2.61	2.55	2.81	2.68	2.76	2.95
UV	T 7	2.4	3.19	3.37	2.97	3.4	3.31	3.55	3.87
UV	T 8	1.75	1.98	1.88	1.8	2.08	1.7	1.85	1.99
UV	T 9	2.4	2.66	2.43	2.64	2.73	2.64	3.08	3.32

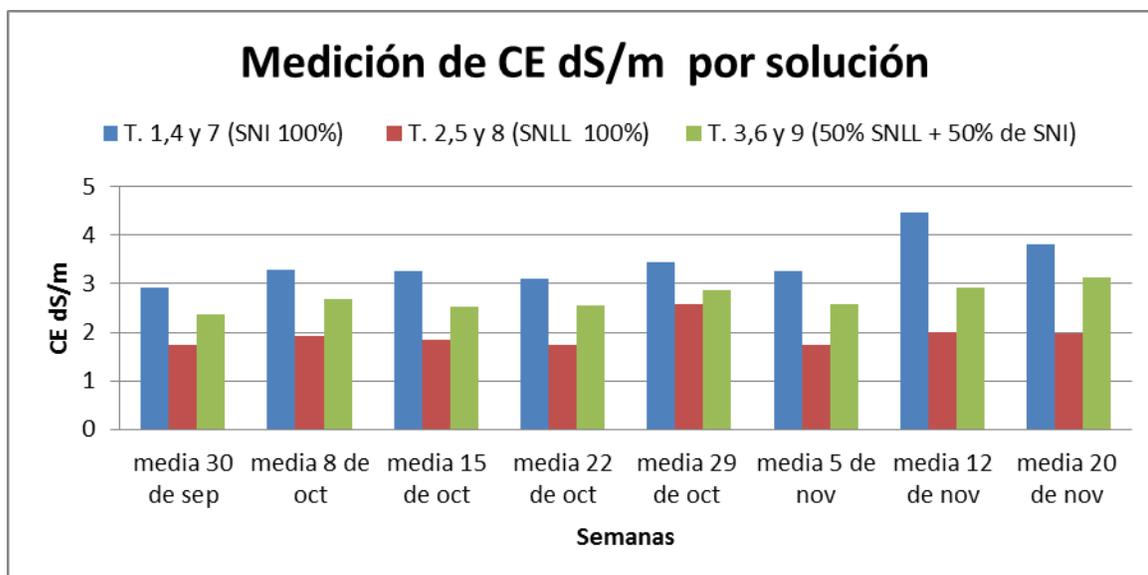


Figura 4.1. Valores de CE por tipo de solución nutritiva utilizada durante el desarrollo de la lechuga bajo sistema de raíz flotante.

pH en el desarrollo de la lechuga

El cuadro 4.3 y la Figura 4.2 muestran los valores de pH de los nueve tratamientos durante el desarrollo del cultivo bajo el sistema de raíz flotante.

En T1, T4 y T7 (solución nutritiva ideal al 100%) la solución se fue acidificando porque predominó 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^- , en 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 de agua.

En T2, T5 y T8 (líquido de lombriz al 100%) se mantuvo estable el pH, debido que el líquido de lombriz posee microorganismos y no combinarlo con otras sales evitó cambios significativos de pH. Las modificaciones entre los tres tratamientos se debieron al agua utilizada.

En T3, T6 y T9 (50 % líquido de lombriz y 50 % solución nutritiva ideal) el pH se mantuvo estable, el líquido de lombriz amortiguó la precipitación de iones en la solución.

Cuadro 4.3. Valores de pH de los 9 tratamientos evaluados durante el desarrollo del cultivo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante.

Agua de lluvia	pH	30 sep	8 oct	15 oct	22 oct	29 oct	5 nov	12 nov	20 nov
Sin tratar	T 1	5.95	5.91	5.64	5.63	4.65	3.81	3.08	3.44
Sin tratar	T 2	7.89	7.83	7.93	7.22	8.11	7.99	7.58	7.4
Sin tratar	T 3	6.96	7.25	7.34	8.17	6.6	6.8	6.23	6.55
Ozono	T 4	6.2	6	5.53	5.49	5.05	5.6	4.89	5
Ozono	T 5	7.97	7.76	7.77	8.04	7.98	7.87	7.29	7.57
Ozono	T 6	6.88	7.03	7.04	7.13	6.46	6.7	6.19	6.6
UV	T 7	6.48	6.08	5.94	5.96	5.11	3.8	3	3.1
UV	T 8	7.9	7.61	7.51	7.98	7.55	8.37	7.38	7.7
UV	T 9	6.7	7.24	7.03	7.01	6.15	6.57	6.19	6.61

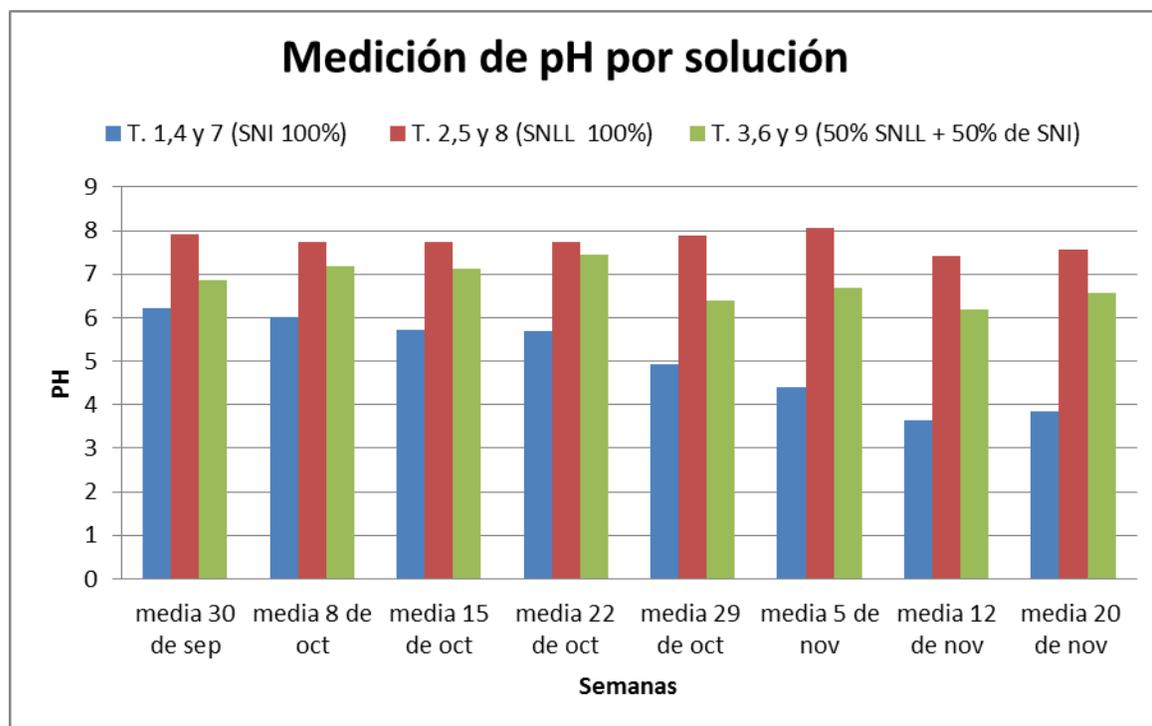


Figura 4.2. Valores de pH en los nueve tratamientos evaluados durante el desarrollo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante.

Altura de planta

La Figura 4.3 muestra el promedio de altura de la planta en centímetros por tratamiento bajo el sistema de raíz flotante, donde se muestra que los mejores resultados correspondieron al T9 con una altura promedio de 33.16 cm seguido por los tratamientos T3 con 31.7 cm, T1 con 30.33 cm, T6 con 28.8 cm y T7 con 24.5 cm y existió gran diferencia al compararlos con la altura promedio de los tratamientos T4 con 12.3cm, T8 con 5.4 cm, T5 con 5.3 cm y T2 con 4.4 cm.

Los tratamientos con las mayores alturas correspondieron al T9 (agua de lluvia tratada con UV más solución conformada con líquido de lombriz 50 % + solución nutritiva ideal 50 %) con altura de 33.16cm y al T3 solución conformada con agua de lluvia sin tratar más líquido de lombriz 50 % + solución nutritiva ideal 50 % y con altura de 31.71cm.

El T4 con agua de lluvia tratada con ozono y la solución nutritiva ideal 100% presentó bajas alturas de planta, 12.25 cm, y se debió a que el agua ozonizada elimina las sales de hierro y magnesio en forma de hidratos y destruye los sulfatos presentes y al esterilizarla por completo elimina microorganismos, es decir el agua solo sirvió como disolvente y fuente de oxígeno en la asimilación de iones por la radícula de la planta.

En T2, T5 y T8 el poco desarrollo se debió a la falta de nutrientes ya que el líquido de lombriz contiene bajos porcentajes de iones que la planta requiere para su desarrollo.

En la figura 4.4 muestra la altura, la CE y el pH de los 9 tratamientos durante el desarrollo de la lechuga en un sistema de raíz flotante.

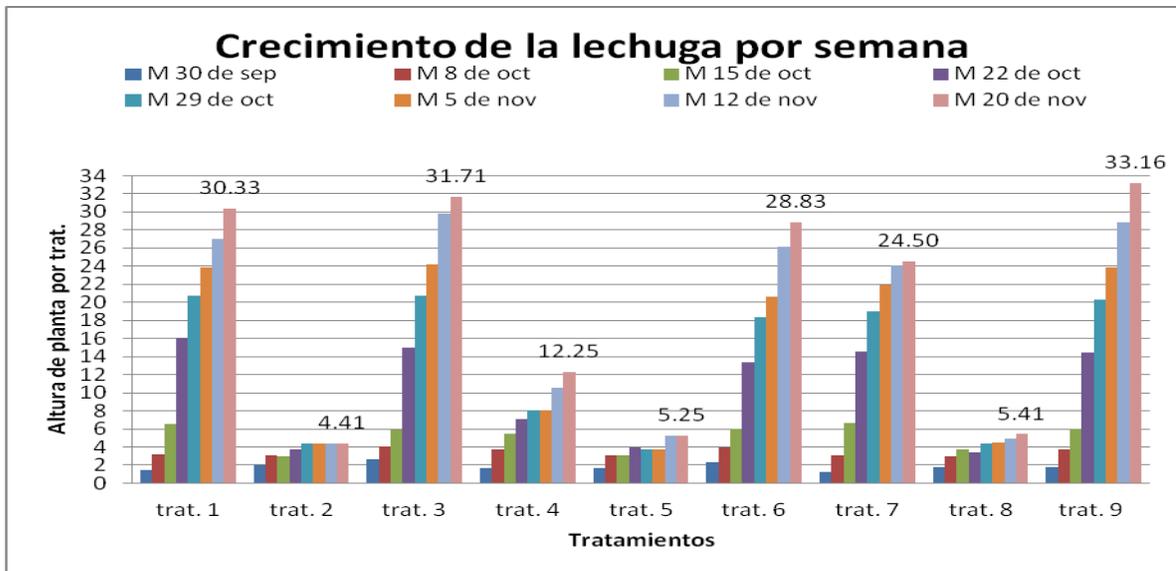


Figura 4.3. Altura de la planta (cm) en los 9 tratamientos evaluados durante el desarrollo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante.

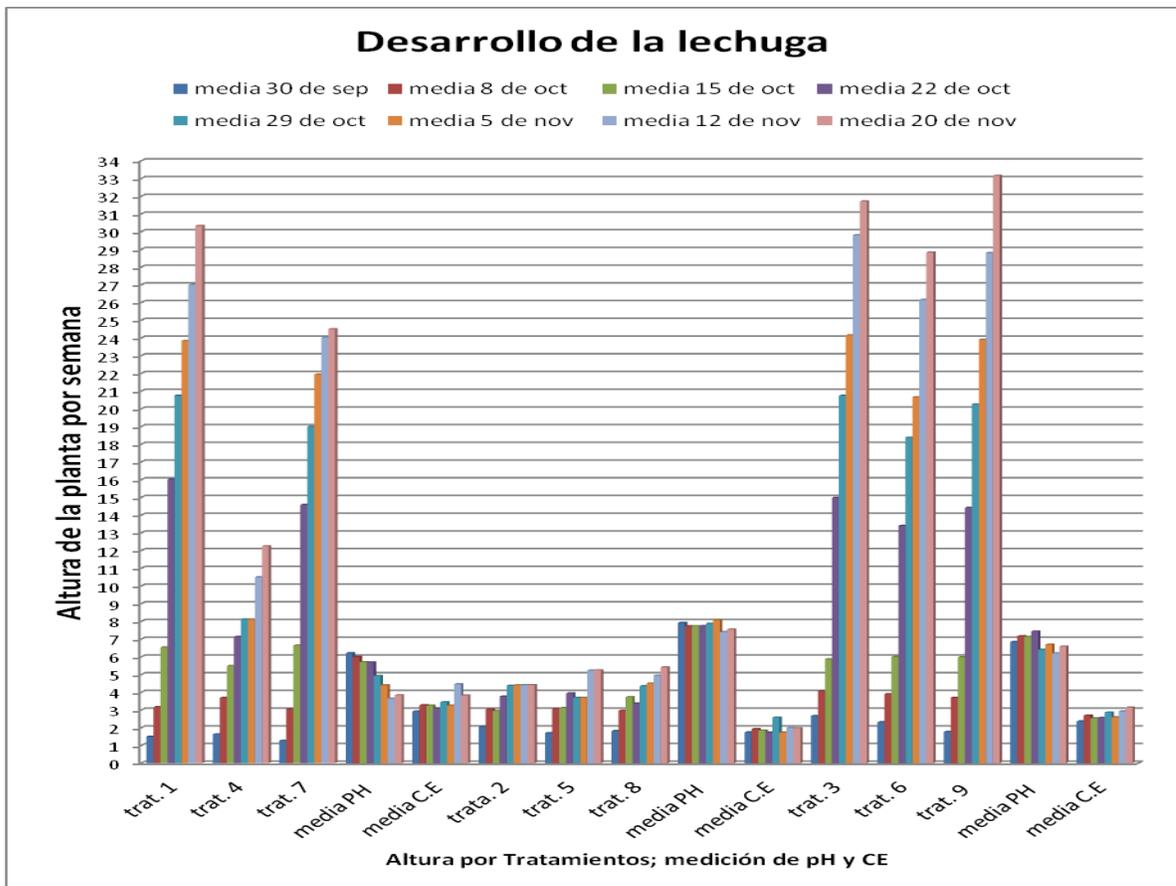


Figura 4.4 Altura de planta, valores de CE y pH en los 9 tratamientos evaluados durante el desarrollo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante.

Déficit de Presión de Vapor (DPV) en la lechuga

El DPV es un indicador de transpiración de la planta, cuanto mayor sea mayor será la transpiración de agua por parte de la hoja al aire, teniendo la plantan un desarrollo más favorable.

La Figura 4.5 muestra los valores de Déficit de Presión de Vapor durante el desarrollo de la lechuga. El DPV es variado durante el día dependiendo de la hora y el clima, en el desarrollo de la lechuga fue bajando a partir del primer día de noviembre, esto indica que las lechugas pudieron desarrollar más si se controlara este factor en el invernadero.

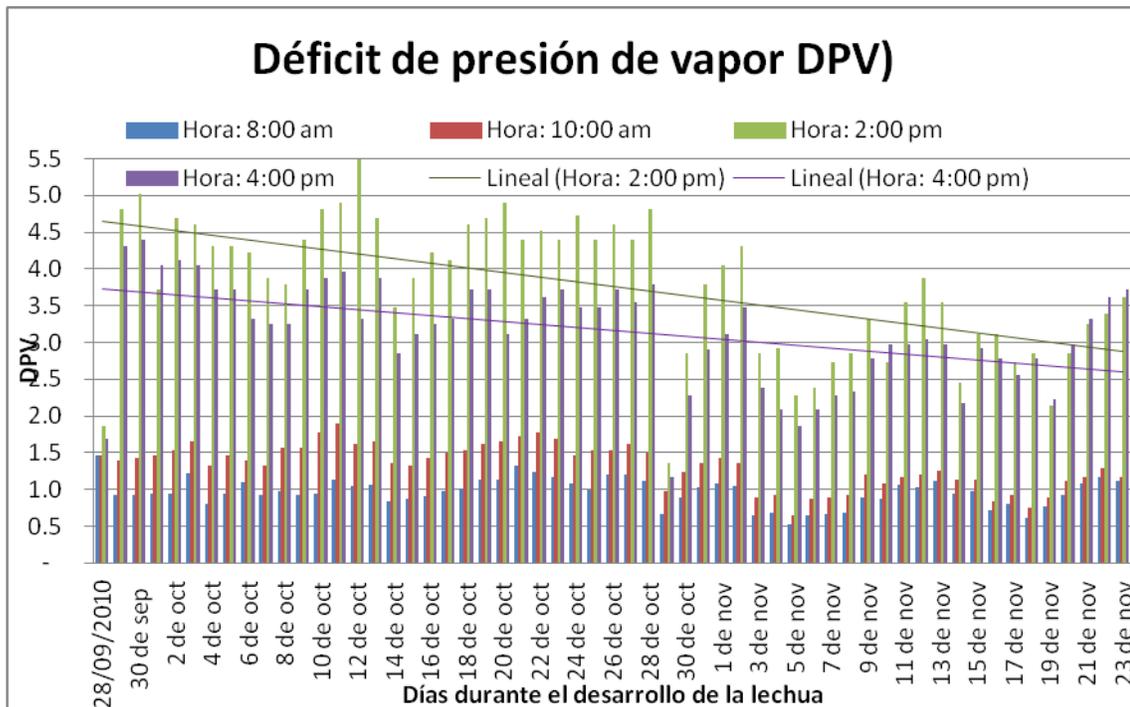


Figura 4.5. Déficit de presión de vapor durante el desarrollo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante.

El Cuadro 4.4 y Figura 4.6 muestran los valores del déficit de presión de vapor durante los días de máximo desarrollo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante comprendido del 17 al 29 de octubre, se observa que los valores de déficit

de presión de vapor durante el día fueron mayores a las 2.00 de la tarde y los menores a las 8.00 de la mañana.

En el apéndice se muestran los valores del déficit de presión de vapor desde el trasplante hasta la cosecha.

Cuadro 4.4. Valores del déficit de presión de vapor durante los días de máximo desarrollo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante.

Fecha	DPV Horas durante el día			
	8:00am	10:00 am	2:00 pm	4:00 pm
17 de oct	1.0	1.5	4.1	3.3
18 de oct	1.0	1.5	4.6	3.7
19 de oct	1.1	1.6	4.7	3.7
20 de oct	1.1	1.7	4.9	3.1
21 de oct	1.3	1.7	4.4	3.3
22 de oct	1.2	1.8	4.5	3.6
23 de oct	1.2	1.7	4.4	3.7
24 de oct	1.1	1.5	4.7	3.5
25 de oct	1.0	1.5	4.4	3.5
26 de oct	1.2	1.5	4.6	3.7
27 de oct	1.2	1.6	4.4	3.5
28 de oct	1.1	1.5	4.8	3.8

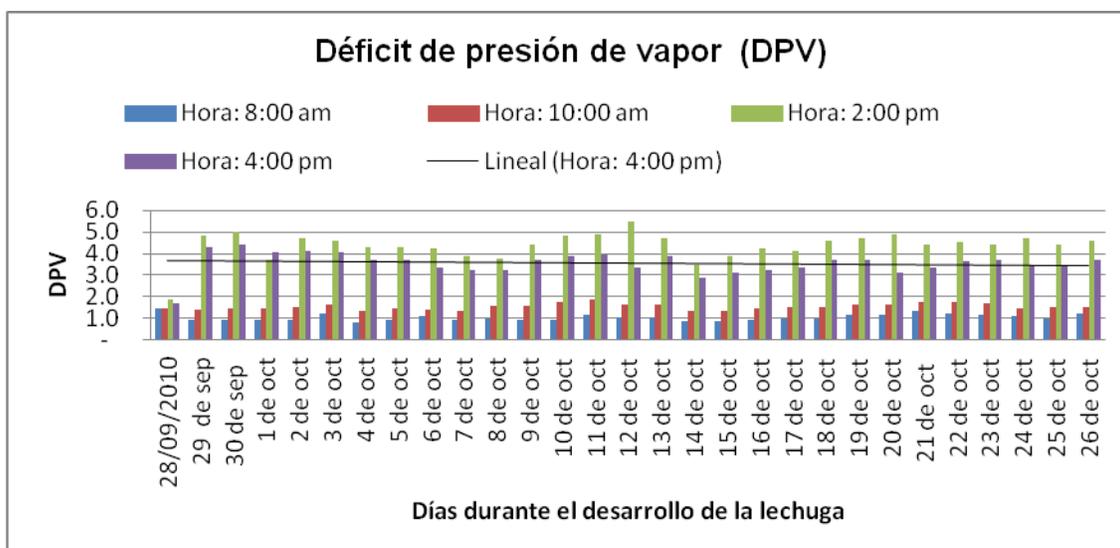


Figura 4.6. Valores del déficit de presión de vapor del 28 de septiembre al 26 de octubre durante el desarrollo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante.

La Figura 4.7 muestra los valores del déficit de presión de vapor durante el desarrollo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante donde se puede observar como fue disminuyendo a partir de los últimos días del mes de octubre al 23 de noviembre debido a las primeras eladas del frío del invierno.

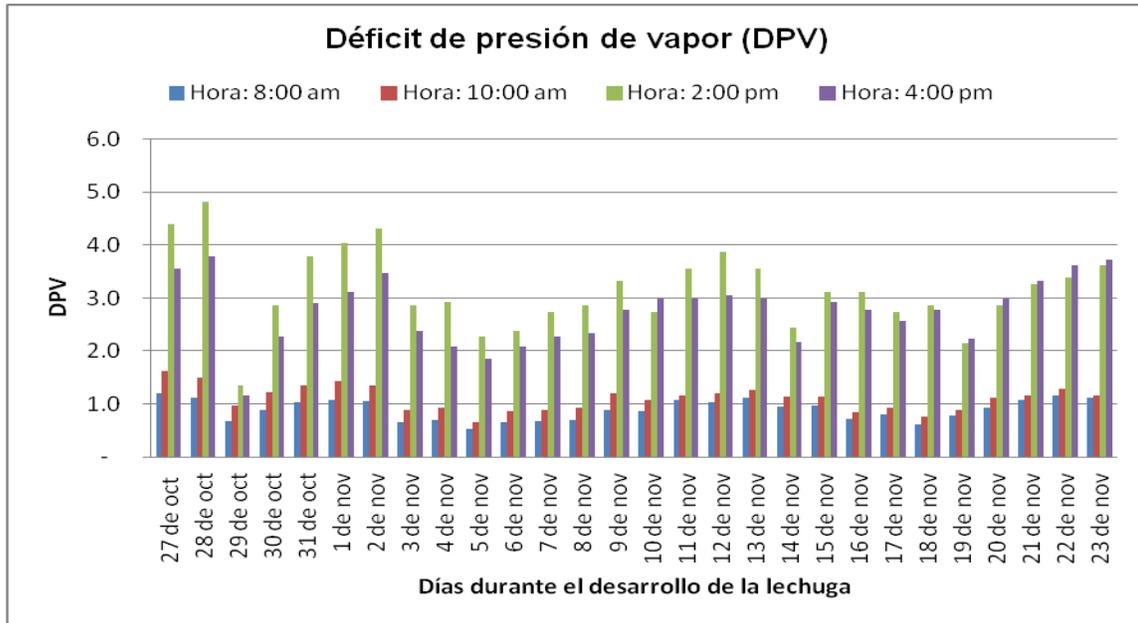


Figura 4.7 Valores del déficit de presión de vapor del 27 de octubre al 23 de noviembre durante el desarrollo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante.

Consumo de agua

El consumo de agua fue relacionado con la asimilación de nutrientes y desarrollo de la planta, por lo tanto los tratamientos con mayor consumo de agua fueron los de mayor calidad en producción, así mismo se relaciona con el peso aéreo verde y longitud de raíz. Se tomó como gasto de agua sólo lo que la planta asimiló con los nutrientes, ganando peso fresco en relación al consumo de agua por planta como lo muestra el cuadro 4.5, el drenaje (sobrante) no se tomó en cuenta, ésta agua se podría recircular con algún tratamiento antes de volverla a suministrar a algún cultivo.

Cuadro 4.5. Consumo de agua por tratamiento (suministro en litros) durante el desarrollo de la lechuga bajo el sistema de raíz flotante.

T*	30 sep.	22 oct.	5 nov.	20 nov.	Total	Resto	Por T*	Consumo/planta	g/L de PFA**
1	23	1	2	4	30	11.93	18.07	3.01	50.30
2	23	1	0	0	24	21.36	2.64	0.44	2.5
3	23	1	2	7	33	10.72	22.28	3.71	56.90
4	23	1	1	0	25	21.521	3.479	0.58	27.08
5	23	1	0	0	24	21.15	2.85	0.48	4.63
6	23	1	2	4	30	12	18	3	55.27
7	23	1	2	4	30	14.21	15.79	2.63	43.96
8	23	1	0	0	24	20.87	3.13	0.52	4.98
9	23	1	2	7	33	7.75	25.25	4.21	57.84

* Tratamiento, **Peso fresco aéreo.

Absorción total de nutrientes por planta de lechuga

En el Cuadro 4.6 se aprecian los valores de absorción total de nutrientes por planta de lechuga que se realizaron con la información generada en el análisis de tejido vegetal realizado por el Laboratorio del Patronato para la Investigación Agrícola del Estado de Coahuila.

El tratamiento con mayor absorción fue el nueve, agua de lluvia tratada con rayos UV y 50% de solución nutricional ideal + 50% de líquido de lombriz, es decir permitió la absorción de nutrientes por el acondicionamiento del agua de lluvia al tratarla con rayos UV, ya que mantiene las propiedades de los iones dejando inactivos a los microorganismos fecales (Orellana, 2005).

Cuadro 4.6. Absorción total de nutrientes en gramos por planta de lechuga bajo un sistema de raíz flotante.

ABSORCION TOTAL DE NUTRIENTES POR PLANTA DE LECHUGA EXPRESADO EN GRAMOS					
	Gramos por planta:				
	N	P	K	Ca	Mg
T9	0.455	0.0260	0.90	0.203	0.069
T3	0.371	0.0254	0.73	0.165	0.056
T6	0.353	0.0235	0.70	0.147	0.050
T1	0.391	0.0248	0.51	0.154	0.052
T7	0.294	0.0193	0.44	0.131	0.045
T4	0.040	0.0022	0.07	0.014	0.005
T8	0.004	0.0006	0.01	0.003	0.001
T5	0.002	0.0003	0.01	0.002	0.001
T2	0.002	0.0003	0.01	0.002	0.001

Análisis microbiológico del agua de lluvia y del tejido vegetal de la lechuga

Los resultados del análisis microbiológico del agua de lluvia para detectar coliformes fecales según la norma **NOM-112-SSA1** indicaron lo siguiente:

El agua de lluvia sin tratar reportó 920 NMP (número más probable de coliformes fecales).

El agua de lluvia tratada con ozono y el agua de lluvia tratada con rayos ultravioleta reportaron negativo.

Los resultados del análisis microbiológico de hojas de lechuga para detectar coliformes fecales según la norma **NOM-112-SSA1** muestran que: No hubo presencia de coliformes fecales cuando se analizó la lechuga a la cosecha (tejido vegetal) en todos los tratamientos probados, agua de lluvia sin tratar, agua de lluvia tratada con ozono y agua de lluvia tratada con rayos UV.

Variables evaluadas al final de la investigación

En el Cuadro 4.7 se presentan las diferencias entre las variables evaluadas: para peso fresco aéreo (PFA), peso fresco de raíz (PFR), número de hojas (NH), longitud de raíz (LR), peso seco aéreo (PSA), peso seco de la raíz (PSR) en lechuga producida bajo un sistema de raíz flotante, al final de la investigación, como se puede ver todas las variables tienen alta significancia en los 9 tratamientos probados, esto se debe a la formulación de las soluciones y a los tratamientos del agua de lluvia utilizada.

Cuadro 4.7. Valores de cuadrados medios de los 9 tratamientos.

FV	GL	PFA	PFR	NH	LR	PSA	PSR
T	8	57074.6**	1393.164**	106.250**	759.157**	172.466**	2.415
CV		98.802	99.376	35.0656	45.1824	94.4247	87.9098

FV=Fuente de variación, T=Tratamientos, CV=Coeficiente de variación, GL=Grados de libertad, **= altamente significativo.

Peso fresco aéreo

Se observa en el cuadro 4.7 que existió una alta significancia de esta variable, el coeficiente de variación 98.8 es muy alto nos indica la amplia dispersión de los valores (datos) con respecto al valor medio de PFA, esto se debió a las diferentes formulaciones de soluciones y los tratamientos al agua de lluvia. El T9 fue sobresaliente con una media de 243.4 g, que correspondió al

agua de lluvia tratada con rayos UV y la solución 50 % de líquido de lombriz + 50 % de la solución nutritiva ideal, seguido por el T3 con 211.3 g que correspondió a la misma solución pero el agua fue sin tratar, como lo muestra el cuadro 4.8.

Peso fresco de raíz

El peso fresco de raíz presentó el mismo comportamiento que el peso fresco aéreo, el T9 fue el mejor, con una media de 38 g seguido por el T3 con media de 32 g con un coeficiente de variación de 99.37. (cuadro 4.8).

Peso seco aéreo

El peso seco aéreo está correlacionado con las dos variables anteriores peso fresco aéreo y peso fresco de raíz, al igual el T9 con una media de 13 g fue el mejor valor, seguido por el T3 con una media de 10.6 g (cuadro 4.8).

Peso seco de raíz

Los mejores tratamientos para peso seco de raíz fueron el T9, el T1, el T6 y el T7, el rango se expandió ya que el desarrollo de las raíces se debe a la cantidad de células por el tejido epitelial/epidérmico en los tratamientos con mejor desarrollo de raíces, pero en contenido de fibra fueron parecidos en estos tratamientos, esto se basa en el porcentaje de agua 95 % que conforma a este cultivo. El coeficiente de variación de 87.91 refleja amplia dispersión de los valores de este parámetro con respecto a la media (cuadro 4.8).

Número de hojas

El número de hojas de los tratamientos 9, 3, 6, 1 y 7 fueron estadísticamente iguales. Los tratamientos T9, y T3 obtuvieron el mejor desarrollo en cuanto a producción y sanidad de las hojas. Presentó un coeficiente de variación de 35.06 lo que denota que todas las plantas presentaron valores parecidos en este parámetro (cuadro 4.8).

Longitud de raíz

Los mejores tratamientos para longitud de la raíz fueron T1 y T3, es decir, mostró igual tendencia que el PSR con significancia en el tratamiento uno y tres, como lo muestra el cuadro 19.

Cuadro 4.8. Prueba de Duncan para peso fresco aéreo (PFA), peso fresco de raíz (PFR), peso seco aéreo (PSA), peso seco de la raíz (PSR), numero de hojas (NH), longitud de raíz (LR), en lechuga bajo un sistema de raíz flotante.

T	PFA (g)	PFR (g)	PSA (g)	PSR (g)	NH (No.)	LR (mm)
9	243.4 ^a	38.0a	13.0a	1.6a	17.0a	36.7a
3	211.3ab	32.6ab	10.6ab	1.1b	16.5a	38.5a
6	165.8bc	26.2bc	9.4b	1.2ab	15.8a	31.0ab
1	151.5cd	25.5bc	9.9b	1.4ab	14.7a	38.2a
7	115.7d	17.7c	8.4b	1.2ab	15.0a	31.7ab
4	15.7e	2.9d	0.9c	0.3c	11.83b	25.5b
8	2.6e	0.6d	0.2c	0.1c	8.0c	14.5c
5	2.2e	0.5d	0.1c	0.1c	8.5c	13.8c
2	1.1e	0.2d	0.1c	0.1c	5.7d	10.0c

V. CONCLUSIONES

Las lechugas mejor desarrolladas, de mayor rendimiento, calidad nutricional, y de sanidad se produjeron con el tratamiento nueve, agua de lluvia tratada con rayos UV y elaborado con 50 % de líquido de lombriz + 50 % de solución nutricional ideal. El consumo promedio de agua por planta fue de 4.2 litros y una absorción total por planta de N-P-K-Ca y Mg de 0.46, 0.03 y 0.90, 0.20 y 0.07 g respectivamente.

El agua de lluvia tratada con ozono no es recomendada para riego, ya que por su efecto oxidante inactiva los iones presentes, lo que provocó un desorden en la nutrición y disminución en la producción de biomasa de la lechuga.

Aunque el líquido de lombriz no posea la fuerza iónica suficiente para la nutrición del cultivo de lechuga, resulta ser un excelente activador de la nutrición vegetal.

La solución nutritiva ideal sola presenta desventajas. Cuando se le combina con líquido de lombriz se potencia el efecto nutricional en lechuga.

El sistema de raíz flotante da una ventaja en el control del desarrollo de coliformes fecales en la lechuga al no estar en contacto la parte aérea con solución del medio.

VI. BIBLIOGRAFIA CITADA

- Barrios, A.N.E. 2004. Evaluación del cultivo de la lechuga, *Latuca sativa L.* bajo condiciones hidropónicas. Tesis profesional. Universidad de San Carlos. Guatemala.
- Cadahia, C. 1998. Fertirrigación cultivos hortícolas y ornamentales. Edición Mundi- prensa. Madrid. Barcelona.
- Gilsanz, J.C. 2007. Hidroponía. Programa Nacional de Producción Hortícola Est. Expt. Las Brujas.
- Gómez, M.A., Soria, B. 2000. La lechuga y la escarola. Cuaderno de agricultura.
- Howard, M.R. 2006. Cultivos hidropónicos. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, Barcelona.
- Orellana, J.A. 2005. Tratamiento de las aguas. Unidad Temática Nº 6. Ingeniería Sanitaria- Universidad Tecnológica Nacional. Argentina.
- Sádaba, S.J.A. *et al.*, 2008. Lechuga en Cultivo hidropónico. Septiembre - octubre 2008.
- Samperio, R.G. 2005. Hidroponía Básica, 15ª. Impresión. Editorial Diana. México.
- Sánchez, D.C.F., Escalante, R.E.R. 2006. Un sistema de producción de planta, hidroponía, principios y métodos de cultivo. Tercera reimpresión. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Soria, B.C. 2002. Cultivos sin suelos de hortalizas. Fundación Caja Rural Valencia. España.
- Urrestarazu, G.M. 2004. Tratado de cultivo sin suelo. Tercera edición, impreso en España.

Sitios de internet:

<http://es.wikipedia.org/wiki/Agua>

(Consultada el 1 de agosto del 2011).

<http://www.hortalizas.com/ehortalizas/?storyid=2430>

(Consultada el 3 de agosto del 2011).

<http://www.h2opoint.com/lluvia.php>
(Consultada el 3 de agosto del 2011).

www.drinking-water.org/html/es/Sources/Where-is-the-Earths-Water.html
(Consultada el 3 de agosto del 2011).

<http://www.aquatecna.com/index.asp?idp=651>
(Consultada el 5 de agosto del 2011).

<http://www.criotec-coolers.com/ozonadores-generadores-de-ozono.htm>
(Consultada el 5 de agosto del 2011).

Aporte de la lechuga a la salud <http://www.dietas.com/articulos/aporte-de-la-lechuga-a-la-salud.asp#ixzz1cfKI0Q9l>.

La lechuga. Escuela – Idea Sana – Fundación Eroski. 2005

http://www.google.com.mx/#sclient=psy-ab&hl=es&source=hp&q=Escuelas+Idea+Sana+EROSKI+Mayo+%E2%80%93+Junio+2005+%2F+%E2%80%93+Lechuga%E2%80%93&pbx=1&oq=Escuelas+Idea+Sana+EROSKI+Mayo+%E2%80%93+Junio+2005+%2F+%E2%80%93+Lechuga%E2%80%93&aq=f&aqi=&aql=1&gs_sm=e&gs_upl=1798778117987781011800232111101010101255125512-11110&bav=on.2,or.r_gc.r_pw.&fp=ca4914cf34a24826&biw=1366&bih=584
(Consultada el 6 de agosto del 2011).

Funcionamiento del Sistema de Purificación del agua de lluvia.

http://www.google.com.mx/#hl=es&q=analisis+de+agua+de+lluvia&oq=analisis+de+agua+de+lluvia&aq=f&aqi=&aql=&gs_sm=e&gs_upl=2355123551012769111101010101325132513-11110&bav=on.2,or.r_gc.r_pw.&fp=da4066427b175953&biw=1350&bih=571
(consultada el 8 de agosto del 2011)

<http://fitolechugaudca.blogspot.com/2010/11/origen-de-la-lechuga.html>
(Consultada el 10 de agosto del 2011)

<http://www.hortalizas.com/ehortalizas/?storyid=2430>

(Consultada el 20 de agosto del 2011)

<http://www.google.com.mx/search?q=efecta+de+la+CE+en+las+soluciones+nutritivas&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:es-ES:official&client=firefox-a>

(Consultada el 25 de agosto del 2011).

<http://www.lenntech.es/turbidez.htm#ixzz1V6dIDiqz>

(Consultada el 25 de agosto del 2011).

VII APENDICE I

Cuadro 20. Déficit de presión de vapor (DPV) durante el desarrollo de la lechuga.

Fecha	DPV Horas del día			
	8:00 am	10:00 am	2:00 pm	4:00 pm
28 de sep	1.5	1.5	1.9	1.7
29 de sep	0.9	1.4	4.8	4.3
30 de sep	0.9	1.4	5.0	4.4
1 de oct	0.9	1.5	3.7	4.0
2 de oct	0.9	1.5	4.7	4.1
3 de oct	1.2	1.7	4.6	4.0
4 de oct	0.8	1.3	4.3	3.7
5 de oct	0.9	1.5	4.3	3.7
6 de oct	1.1	1.4	4.2	3.3
7 de oct	0.9	1.3	3.9	3.3
8 de oct	1.0	1.6	3.8	3.3
9 de oct	0.9	1.6	4.4	3.7
10 de oct	0.9	1.8	4.8	3.9
11 de oct	1.1	1.9	4.9	4.0
12 de oct	1.1	1.6	5.5	3.3
13 de oct	1.1	1.7	4.7	3.9
14 de oct	0.8	1.4	3.5	2.9
15 de oct	0.9	1.3	3.9	3.1
16 de oct	0.9	1.4	4.2	3.3
17 de oct	1.0	1.5	4.1	3.3
18 de oct	1.0	1.5	4.6	3.7
19 de oct	1.1	1.6	4.7	3.7
20 de oct	1.1	1.7	4.9	3.1
21 de oct	1.3	1.7	4.4	3.3
22 de oct	1.2	1.8	4.5	3.6
23 de oct	1.2	1.7	4.4	3.7
24 de oct	1.1	1.5	4.7	3.5
25 de oct	1.0	1.5	4.4	3.5
26 de oct	1.2	1.5	4.6	3.7
27 de oct	1.2	1.6	4.4	3.5
28 de oct	1.1	1.5	4.8	3.8
29 de oct	0.7	1.0	1.4	1.2
30 de oct	0.9	1.2	2.9	2.3

31 de oct	1.0	1.4	3.8	2.9
1 de nov	1.1	1.4	4.0	3.1
2 de nov	1.1	1.4	4.3	3.5
3 de nov	0.7	0.9	2.9	2.4
4 de nov	0.7	0.9	2.9	2.1
5 de nov	0.5	0.7	2.3	1.9
6 de nov	0.7	0.9	2.4	2.1
7 de nov	0.7	0.9	2.7	2.3
8 de nov	0.7	0.9	2.9	2.3
9 de nov	0.9	1.2	3.3	2.8
10 de nov	0.9	1.1	2.7	3.0
11 de nov	1.1	1.2	3.5	3.0
12 de nov	1.0	1.2	3.9	3.0
13 de nov	1.1	1.3	3.5	3.0
14 de nov	0.9	1.1	2.4	2.2
15 de nov	1.0	1.1	3.1	2.9
16 de nov	0.7	0.8	3.1	2.8
17 de nov	0.8	0.9	2.7	2.6
18 de nov	0.6	0.8	2.9	2.8
19 de nov	0.8	0.9	2.1	2.2
20 de nov	0.9	1.1	2.9	3.0
21 de nov	1.1	1.2	3.3	3.3
22 de nov	1.2	1.3	3.4	3.6
23 de nov	1.1	1.2	3.6	3.7