

**“Efecto de la solución nutritiva en el  
rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.)  
en dos sistemas hidropónicos: camas  
flotantes y aeroponía”**

**Israel Licea Zepeda**



**Universidad Autónoma  
de Querétaro  
Facultad de Ingeniería**

**“Efecto de la solución nutritiva en el  
rendimiento de lechuga (*Lactuca  
sativa*L.)en dos sistemas hidropónicos:  
camas flotantes y aeroponía”**

**Tesis**

**Que como parte de los requisitos para obtener el grado de**

**Profesional asociado en ingeniería de  
invernaderos**

**Presenta**

**Israel Licea Zepeda**

**Amealco Querétaro**



# Universidad Autónoma de Querétaro

## Facultad de Ingeniería

**Efecto de la solución nutritiva en el rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa L.*) en dos sistemas hidropónicos: camas flotantes y aeroponía.**

### TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:

**Profesional asociado en ingeniería de invernaderos**

Presenta:

**Israel Licea Zepeda**

Dirigido por:

**M en C. Magali Olivera Lòpez**

SINODALES

M en C. Magali Olivera Lòpez  
Presidente

Dr. Gilberto Herrera Ruíz  
Secretario

Dr. Enrique Rico García  
Vocal

M en C. Adán Mercado Luna  
Suplente

**Dr. Aurelio Domínguez Gonzáles**  
Director de la Facultad

  
Firma  
Firma  
Firma  
Firma  
Firma

**Dr. Irineo Torres Pacheco**  
Director de Investigación y  
Posgrado

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
Enero 2012  
México

## DEDICATORIAS

Le doy las gracias o Dios por esta oportunidad en la vida y le pido que siga iluminando mi camino para llegar a cumplir mis objetivos y metas.

Especialmente a ti papa J. Cruz Licea Márquez (q. en p. d.) que desde el cielo vez mis logros, a tí mama Teresa Zepeda Maldonado, por tu amor y apoyo incondicional.

A mis hermanos: Jesús Licea Zepeda, Maribel Licea Zepeda, Juan Carlos Licea Zepeda que Dios los cuide y los proteja.

A toda la familia Licea Zepeda por apoyarme y darme ánimos en todo momento.

A una persona muy especial en mi vida que siempre me apoyado en todo momento Gabriela Hernández Rodríguez.

A mis compañeros Mariana Hernández Maldonado, Herminio Miranda por su apoyo en el desarrollo de este proyecto.

A mis compañeros de Ing. Agroindustrial y a los que ya no están presentes les deseo lo mejor a todos.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Autónoma de Querétaro por sus atención y por esta gran oportunidad de seguir con mi formación académica y profesional.

A la Facultad de Ingeniería y a todo su personal que labora en la misma.

A mi asesor M en C. Magali Olivera López por todo el apoyo brindado para finalizar este proyecto.

A mis sinodales: Dr. Gilberto Herrera Ruíz, M en C. Adán Mercado Luna, Dr. Enrique Rico García.

A todos los que laboran en la Universidad Autónoma de Querétaro campus Amealco, especialmente a todos mis maestros que me han impartido sus conocimientos.

Gracias a Dios por permitirme concluir esta etapa en mi vida, y me de la dicha de seguir por el camino del conocimiento.

## INDICE

## PAG

<b>DEDICATORIAS.....</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>ii</b>
<b>INDICE.....</b>	<b>iii</b>
<b>INDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>v</b>
<b>INDICE DE CUADROS.....</b>	<b>vi</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>vii</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>viii</b>
<b>I.INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	3
<b>II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....</b>	<b>4</b>
2.1. Orígenes y distribución.....	4
2.2. El cultivo de la lechuga.....	5
2.2.1. Datos generales.....	5
2.2.2. Clasificación Taxonómica.....	5
2.2.3. Descripción botánica.....	6
2.2.4. Composición Química.....	7
2.2.5. El crecimiento de la lechuga.....	7
2.3. Requerimientos del cultivo.....	8
2.3.1 Temperatura.....	8
2.3.2. Luz.....	9
2.3.3. Humedad relativa.....	9
2.3.4. Calidad del agua para la solución nutritiva.....	9
2.3.5. Duración y cambio de la solución nutritiva.....	10
2.3.6 Conductividad eléctrica.....	10
2.3.7 pH En la solución nutritiva.....	11
2.3.8 Oxigenación de la solución nutritiva.....	12
2.4 Plagas y enfermedades.....	12
2.4.1 Plagas.....	13
2.4.2 Enfermedades Fisiológicas.....	12
2.5 Tipo de lechugas.....	14
2.6 Descripción de la Hidroponía.....	16
2.6.1 Definición de hidroponía.....	16
2.6.2 Hidroponía: ventajas y desventajas con respecto a la agricultura tradicional.....	17
2.6.3 Ventajas.....	17

2.6.4 Desventajas.....	18
2.6.5 Métodos de cultivo hidropónicos.....	19
2.6.6 Sistemas hidropónicos en agua.....	20
2.6.7 Sistema de Raíz Flotante.....	20
2.6.8 Sistema NFT.....	20
2.7 Aeroponía.....	21
2.7.1 Definición.....	21
2.7.2 Ventajas.....	22
2.7.3 Desventajas.....	23
2.7.4 Beneficios del oxígeno en las raíces.....	23
2.7.5 Cultivos libres de enfermedades.....	24
2.7.6 Agua y nutrientes.....	24
2.8 Generalidades de los sistemas aeropónicos.....	25
2.9 Objetivos e hipótesis.....	29
2.9.1 Objetivos generales.....	29
2.9.2 Objetivos particulares.....	29
2.9.3 Hipótesis.....	29
<b>III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>30</b>
3.1 Ubicación del área de investigación.....	30
3.2 Localización del proyecto.....	32
3.3 Sistemas evaluados.....	32
3.3.1 Descripción de los sistemas.....	33
3.4 Diseño experimental.....	33
3.5 Variables a medir:.....	33
3.5.1 Altura de la planta:.....	33
3.5.2 Diámetro de tallo de la planta.....	33
3.5.3 Rendimiento peso fresco por sistema.....	34
3.6 Manejo del experimento.....	34
3.6.1 Elaboración de las camas.....	34
3.6 Manejo del experimento.....	34
3.6.1 Elaboración de las camas.....	34
3.7 Material vegetal.....	36
3.7.1 Producción de plántula.....	37
3.7.2 Llenado de las charolas con el sustrato y siembra de la semilla de lechuga.....	37
3.7.3 Cuidado de las plántulas en el semillero.....	38
3.8 Trasplante.....	39
3.8.1 Aireación de la solución nutritiva en camas flotantes.....	40
3.8.2 Medición del pH.....	40

3.8.3 Medición de la conductividad eléctrica.....	40
3.8.4 Solución nutritiva.....	41
3.9 Sistema de control.....	42
3.9.1 Tamaño de muestra.....	42
3.9.2 Análisis de la información.....	43
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>43</b>
4.1 Altura de la planta.....	43
4.2 Diámetro de la planta.....	45
4.3 Longitud de raíz.....	46
4.4 Peso de las lechugas.....	48
<b>V. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>50</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>51</b>
<b>VII. SUGERENCIAS.....</b>	<b>52</b>
<b>VIII. GLOSARIO DE TERMINOLOGÍAS.....</b>	<b>52</b>
<b>IX. REFERENCIAS.....</b>	<b>54</b>
<b>X.ANEXOS.....</b>	<b>58</b>

## V.INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Amealco municipio del Estado de Querétaro.....	30
<b>Figura 2.</b> Invernadero Universidad Autónoma de Querétaro campus Amealco Fl.....	32
<b>Figura 3.</b> Bloques experimentales.....	33
<b>Figura 4.</b> Elaboración de las camas.....	34
<b>Figura 5.</b> Forrado de las camas con nylon negro.....	35
<b>Figura 6.</b> Sistema de riego sistema aeropónico.....	35
<b>Figura 7.</b> Modelo del sistema aeropónico.....	36
<b>Figura 8.</b> Depósito de la solución nutritiva.....	36
<b>Figura 9.</b> Variedad Vulcan.....	37
<b>Figura 10.</b> Lavado y desinfección de charolas.....	37
<b>Figura 11.</b> Llenado de las charolas con el sustrato y siembra de la semilla de lechuga.....	38
<b>Figura 12.</b> Plántula lista para trasplante.....	39
<b>Figura 13.</b> Trasplante en el sistema aeropónico.....	39
<b>Figura 14.</b> Medición de pH en la solución nutritiva.....	40
<b>Figura 15.</b> Medición de la CE en la fertilización química y orgánica.....	41
<b>Figura 16.</b> FertilizanteorgánicoMEGAplus.....	41
<b>Figura 17.</b> Sistema de control.....	42
<b>Figura 18.</b> Desarrollo en la altura en los 4 sistemas hidropónicos, camas flotantes y	

aeroponía.....	44
<b>Figura 19.</b> Desarrollo en la altura en camas flotantes y un patrón en suelo.....	45
<b>Figura 20.</b> Comportamiento en el diámetro de tres tratamientos Orgánico flotante, químico flotante, suelo.....	46
<b>Figura 21.</b> Desarrollo de la longitud de raíz en los 4 sistemas hidropónicos, Camas flotantes y aeroponía.....	47
<b>Figura 22.</b> Desarrollo de la longitud de raíz en camas flotantes y en suelo.....	48
<b>Figura 23.</b> Comportamiento en el peso fresco de lechuga en los 4 sistemas hidropónicos, Camas flotantes y aeroponía.....	49
<b>Figura 24.</b> Comportamiento en el peso fresco de lechuga en camas flotantes y en suelo.....	50
<b>Figura 25.</b> Fotografías durante el experimento.....	58
<b>Figura 26.</b> Sensores marca Watch Dog.....	59

## VI. INDICE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Composición química de la lechuga.....	7
<b>Cuadro 2.</b> Variedades de lechuga y descripción.....	15
<b>Cuadro 3.</b> Hidroponía Ventajas y desventajas con respecto a la agricultura tradicional.....	18
<b>Cuadro 4.</b> Colindancias del municipio de Amealco Qro.....	31
<b>Cuadro 5.</b> Aspectos geográficos, Amealco de Bonfil.....	31
<b>Cuadro 6.</b> Fertilizaciónorgánica.....	41
<b>Cuadro 7.</b> Fertilizaciónquímica.....	42
<b>Cuadro 8.</b> Prueba de tukey longitud altura.....	59
<b>Cuadro 9.</b> Prueba de tukey longitud diámetro.....	60
<b>Cuadro 10.</b> Prueba de tukey longitud raíz.....	60
<b>Cuadro 11.</b> Prueba de tukey rendimiento en peso fresco.....	60
<b>Cuadro 12.</b> Medias representativas de tres tratamientos. Orgánico flotante, químico flotante, suelo.....	61



## RESUMEN

El presente experimento se elaboró en un invernadero tipo baticenital de la Universidad Autónoma de Querétaro Campus Amealco ubicado en el municipio de Amealco, Querétaro, México.

El trabajo tiene como propósito evaluar el efecto de la solución nutritiva en el rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa L*) utilizando una solución nutritiva química y una orgánica, la nutrición orgánica se llevó a cabo con la aplicación del fertilizante comercial mega plus (con nanoencapsulados) y Carbo\_vit (Humus líquido mas aminoácidos y péptidos). En un sistema flotante y aeropónico, recirculando la solución nutritiva en cada sistema. Se evaluó la producción por unidad de superficie, con temperaturas promedio de 25° a 30 ° C las variables a medir fueron altura, diámetro, longitud de raíz de la planta. Se tomó lectura de pH y también se midió la temperatura del aire °C.

El mejor rendimiento se obtuvo en sistemas con fertilización química, alcanzando un rendimiento promedio 124.9grs, en cambio con la fertilización orgánica se presentó un rendimiento promedio de 47.1grs, esto indica que se obtuvieron lechugas muy pequeñas que no alcanzaron a desarrollarse completamente.

Sin embargo hoy en día los sistemas hidropónicos en camas flotantes son muy utilizados, ofreciendo varias ventajas sobre la producción convencional como son: alto rendimiento, mayor eficiencia en el uso del agua al poder recircular la solución nutritiva aprovechando al máximo los nutrientes.

**Palabras clave:** péptidos. Humus líquido, aminoácidos.

## SUMMARY

The present experiment was developed in to a baticenital greenhouse of the Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Amealco located in the town of Amealco, Querétaro, México.

This study aimed to evaluate the effect of nutrient solution on the performance of lettuce (*Lactuca sativa L.*) using a nutrient solution and an organic chemical, organic nutrition was conducted with the application of commercial fertilizer Mega Plus (with nanoencapsulados) and Carbo\_vit (Liquid Humus and Pecten with amino acids), in a floating system and aeroponics, recirculating the nutritive solution in each system. We evaluated the production per unit area, with temperatures averaging 25 to 30 °C, the measured variables were: height, diameter, root length. Air temperature in Centigrade, relative humidity, global solar radiation and pH readings were taken.

The best yield was obtained in systems with chemical fertilization, reaching an average yield 124.9grs, in contrast with organic fertilization present 47.1grs average performance, this indicates that very small lettuce obtained were not able to develop fully.

However today, hydroponic systems are widely used floating beds, offering several advantages over conventional production are: high performance, greater efficiency in water use to recirculate the nutrient solution to maximizing the nutrients.

**Keywords:** peptides. liquid humus. amino acids.

## INTRODUCCIÓN

En México, el sector agrícola está cambiando, antes se veía por muchos productores como una actividad de supervivencia por su pobre y limitado rendimiento, situación que afecta negativamente a la producción y abastecimiento de alimentos a la población. Hoy en día la meta es invertir en la producción agrícola para poder tener negocios rentables.

Las hortalizas han cobrado importancia, especialmente el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L.*) en el mercado local e internacional, por considerarse un cultivo hortícola rico en vitaminas y minerales y de muy fácil uso comestible. Siendo la lechuga un cultivo importante para los agricultores que cuentan con terrenos pobres en nutrientes, humedad, materia orgánica etc. Es importante proveer de alternativas a éstos para que puedan prescindir del uso directo de la tierra en la agricultura, tal como es el caso de los cultivos hidropónicos.

La creciente falta de superficie disponible para la agricultura en México a causa del minifundismo, la baja o nula calidad del suelo, pendientes excesivas; al igual que la falta de agua aprovechable por factores como pérdidas por evaporación, azolve de sistemas de almacenaje de agua, contaminación por industrias o aguas negras, entre otros, han ocasionado que se recurra a sistemas de cultivos alternativos atendiendo tanto a la demanda creciente de información como a la necesidad de promover cambios en los procedimientos productivos. Abordando la problemática para ello en la zona de Amealco de Bonfil se realizó una investigación en lechuga (*Lactuca sativa L.*) en dos sistemas hidropónicos: camas flotantes y aeroponía evaluando el rendimiento y el efecto de la solución nutritiva en cada sistema en condiciones de invernadero.

### 1.1 Antecedentes

La lechuga (*Lactuca Sativa L.*) Es ampliamente conocida y cultivada en todo el mundo, a través de numerosos tipos y variedades. Siendo la planta más importante entre las hortalizas de hoja que se consumen crudas (Giaconi, V . 1995). La lechuga ocupa un lugar

económicamente importante dentro de las hortalizas, demostrado por la gran demanda y exigencia que existe en los mercados consumidores. Es uno de los cultivos hortícolas de mayor importancia en la dieta humana y su consumo aumenta a medida que el hombre conoce sus propiedades.

El uso de invernaderos para la producción de hortalizas ha crecido en México rápidamente en los últimos años. Lo más importante para el éxito de estos agronegocios es incrementar la eficiencia de la producción, lograr mayor calidad y alta productividad, que está relacionado con las condiciones climáticas específicas de cada región (Castañeda, *et al.*, 2007 citado por Cesar Leopoldo Ruiz).

Los sistemas flotantes son empleados con mayor frecuencia para el cultivo de lechuga ya que se ha comprobado la eficiencia de la producción. Una de sus ventajas es lo económico de su instalación y la superficie disponible para almacenar la solución nutritiva. En áreas donde los materiales son limitados y los sistemas hidropónicos manufacturados no están disponibles, el sistema flotante puede ser un medio económico para la producción de cultivo (Sheik, 2006).

Según la literatura (Urrestarazu, 2004; Resh, 2001) el Dr. Merle Jensen desarrolló un prototipo de camas flotantes para el cultivo de lechuga, calculando que produciría 4.5 millones de lechugas por hectárea.

El sistema está conformado por bancadas de 60cm de ancho, 20cm de profundidad, y una longitud de 30m, que se disponen una junto a otras por su parte más larga. Por el lado estrecho se introducen unas unidades de cultivo flotantes individuales, donde se trasplantan las lechugas, que generalmente son cuatro.

La aeroponía, por su parte, cuenta con una de sus mayores ventajas frente a sistemas como el de camas flotantes, que es la óptima aireación de la raíz (Durán *et al.*, 2000), pese a esto no existen muchos estudios acerca del cultivo de lechuga u otras hortalizas de hoja en aeroponía. Sin embargo, se han dado buenos resultados en investigaciones enfocadas a la

producción de raíces. Otros estudios acerca del cultivo de raíces (Pagliarulo *et al.*, 2001; Hayden *et al.*, 2004) demuestran la mayor eficiencia de utilizar los sistemas aeropónicos ante los cultivos en suelo.

## **1.2 Justificación**

Dentro de la actividad agrícola en la región uno de los mayores problemas para la agricultura es que los campesinos se están dedicando a otra actividad que no es la agrícola, pues para ellos, sembrar una hectárea no es rentable, donde por falta de agua y créditos para el campo, la gente ha tenido que dejar sus tierras o rentarlas a los pequeños propietarios. Pero también la situación es un poco desfavorable para quienes producen en condiciones protegidas, dado que su producción se enfoca solo al cultivo de jitomate provocando que se sature el mercado, es por ello que se buscan alternativas para producir todo el año y pensando satisfacer las nuevas necesidades.

Lo anterior nos permite la oportunidad de producir hortalizas, como es el caso de la lechuga, que necesita para su normal desarrollo de suficiente humedad y una adecuada nutrición; sin embargo es posible desarrollar las hortalizas de porte bajo como la lechuga en sistemas hidropónicos y con un suministro de nutrientes en forma adecuada, aun en áreas no apropiadas para la agricultura o que no sean muy extensas.

En cuanto a la actividad primaria esta es muy importante en la economía municipal, sobretodo por los recursos acuíferos con que se cuenta. La agricultura ocupa a una gran mayoría de la población económicamente activa, subsecuentemente el comercio, las actividades de la transformación o industriales son realmente incipientes, de hecho apenas se registran una industrializadora de conservas y un tercio de empresas del ramo textil, que ocupan frecuentemente a mujeres; en cuanto a los jóvenes del género masculino se dedican al campo o emigran tanto a la ciudad de San Juan del Río, Pedro Escobedo o Querétaro así como a los Estados Unidos.

Por otra parte se emplea como narcótico y calmante. El consumo de hojas frescas se utiliza para aliviar el estreñimiento, la debilidad del estómago, la dispepsia y la mucosidad de la garganta y del pecho. Se dice que las hojas producen efectos refrescantes, tranquilizadores, fortificantes y aperitivos. Se usan para proporcionar un sueño tranquilo y reparador, pues tranquilizan y fortifican los nervios; además se utilizan para reducir el nivel de azúcar en la sangre, insomnio, debilidad de los nervios, dolor de muelas, inflamación de las encías, inflamaciones internas, dolores reumáticos, tos, catarro bronquial, resfrío y ronquidos.

Además de la problemática del suelo, existe la insuficiencia de agua. Por ejemplo, la precipitación es limitada o mal distribuida estacionalmente en el 50% del país, aparte de que existen pérdidas del 40 al 75% por evaporación y conducción por canales largos, y el azolve de sistemas de captación de agua a causa de la erosión y arrastre de sólidos, entre otros (Sánchez, 2004).

## **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.1 Orígenes y distribución**

Aunque su origen es incierto, se podría situar en Asia Central donde existen pinturas en cuevas donde destaca el cultivo de la lechuga que se remontan 4500 años a.C. El Historiador griego Herodoto registró que la lechuga era consumida por la familia real persa en 550 a.C. (Santich, 2004). Los griegos y romanos eran productores de lechuga y Teofrasto menciona 3 variedades de ésta (Nava, 1992). En el año 79 d.C. el escritor romano Plinio, describió 9 especies. Hace muchos años, la lechuga se conocía como un una planta que crecía en la maleza. Es una de las verduras más antiguas y ha sido utilizado en diferentes platos de comida por más de 4500 años. Cristóbal Colón trajo la lechuga al nuevo mundo donde se empezó a cultivar desde entonces. Las variedades actualmente cultivadas resultan de una hibridación entre especies distintas

## 2.2 El cultivo de lechuga

La lechuga es considerada la hortaliza de hoja por excelencia, dada su alta calidad culinaria como ensalada fresca. Se cultiva en todo el mundo bajo diferentes sistemas de cultivo, al aire libre y bajo invernadero, en suelo y también en hidroponía (Carrasco e Izquierdo, 1996).

### 2.2.1 Datos generales

**Familia: *Asteraceae Compositae* (Asterácea Compuesta).**

Nombre científico: (*Lactuca sativa* L).

Nombre común en algunos países latinoamericanos o de habla hispana: alface (Brasil).

Nombre común en inglés: Lettuce, cabbage lettuce, garden lettuce.

Nombre común en francés: Laitue

Nombre común en alemán: salat

Nombre común en italiano: insalata

Droga aprobada en algunos países: hojas de la planta florecida (herba lactucae).

### 2.2.2 Clasificación taxonómica

La lechuga es una planta anual de porte bajo, cuya clasificación según (Nava 1992) es la siguiente:

Reino: Vegetal

División: Embriofita

Subdivisión: Angiosperma

Clase: Dicotiledonea

Grupo: Metachlamydae

Orden: Campanulada

Tribu: Chicoreae

Género: *Lactuca*

Especie: *sativa*

### 2.2.3 Descripción botánica

La lechuga es una planta herbácea, anual y bianual, que cuando se encuentra en su etapa juvenil contiene en sus tejidos un jugo lechoso de látex, cuya cantidad disminuye con la edad de la planta. Se reporta que las raíces principales de absorción se encuentran a una profundidad de 5 a 30 cm. La raíz principal llega a medir hasta 1.80 m por lo cual se explica su resistencia a la sequía. Llega a tener hasta 80 cm de altura.

Las hojas de la lechuga son lisas, sin pecíolos (sésiles), arrosetadas, ovales, gruesas, enteras y las hojas caulinares, alternas, auriculado abrazadoras; el extremo puede ser redondo o rizado. Su color va del verde amarillo hasta el morado claro, dependiendo del tipo y el cultivar. El tallo es pequeño y no se ramifica; sin embargo cuando existen altas temperaturas (mayor de 26°C) y días largos (>12 hrs) el tallo se alarga hasta 1.20 m de longitud, ramificándose el extremo y recentando cada punta de las ramillas terminales una inflorescencia.

En lo que se refiere a la inflorescencia, ésta se constituye de grupos de 15 a 25 flores, las cuales están ramificadas y son de color amarillo. Las semillas son largas (4-5 mm), su color generalmente es blanco crema, aunque también las hay pardas y castañas; cabe mencionar que las semillas recién cosechadas por lo general no germinan, debido a la impermeabilidad que la semilla muestra en presencia del oxígeno, por lo que se han utilizado temperaturas ligeramente elevadas (20 a 30°C) para inducir la germinación. El fruto de la lechuga es aquenio, seco, y oblongo.



Hay aproximadamente 800 semillas por gramo en la mayoría de las variedades de lechuga y se puede adquirir como semillas propiamente dichas o como semillas peletizadas. Las semillas peletizadas consisten en semillas cubiertas por una capa de material inerte y arcilla. Una vez que el pellet absorbe agua, se rompe y se abre permitiendo el acceso inmediato de oxígeno para una germinación más uniforme y mejor emergencia. Alguna cubierta de la semilla requiere extender su rango de temperatura y su velocidad de germinación. Las semillas peletizadas mejoran la forma, el tamaño y la uniformidad de la semilla para tener plántulas más homogéneas y fácil de manipular. El tamaño aproximado de la mayoría de las semillas peletizadas es de 3,25 - 3,75 mm de ancho (Nava, 1992).

### 2.2.4 Composición química

Lactucina (lactona), lactucopirina, ácidos grasos, ácidos cítrico y málico, asparagina y otras sustancias.

Agua	94	g
<b>Contenido/100g</b>		
Energía	13.0	kcal
Calcio		
Proteína	1.4	g
Fósforo		
Grasa	0.2	g
Fierro	0.3	mg
Carbohidratos	2.3	g
Sodio	5.0	mg
Fibra		
Acido Ascórbico	8.0	mg
Vitamina A	1500	UI

**Cuadro 1.** Composición química de la lechuga.

### 2.2.5 El crecimiento de la lechuga

Estudios recientes comprueban que la temperatura de la zona radicular afecta el crecimiento de las lechugas. La temperatura óptima difiere entre géneros, especies y cultivares. La lechuga es un cultivo templado que se cultiva normalmente bajo clima fresco, siendo el rango de temperaturas más adecuada entre 15-20° C. Las experiencias muestran que cuando

se cultivan lechugas de estación fresca bajo condiciones tropicales, estas crecen pobremente.

Sin embargo, utilizando un sistema aeropónico los autores mostraron que 2 de 6 cultivares de lechuga iceberg podrían formar cabezas compactas bajo ambientes calurosos (24-39°) cuando la zona radicular fue enfriada a 15° C. En esta experiencia, los mismos autores mostraron que manteniendo la parte aérea de la lechuga en alta temperatura ambiente mientras que en sus raíces se enfriaron hasta 20 °C, se aumentó la tasa de fotosíntesis y la productividad en un 50% comparada con plantas cultivadas totalmente a temperatura ambiente cálida (Quin L., J. He & S.K. Lee 2002)

## **2.3 Requerimientos del cultivo**

**2.3.1 Temperatura:** Es uno de los factores ambientales más importantes. Si la temperatura es muy alta se produce la acumulación de látex amargo en las venas y una mala formación del cogollo, cuando se sobrepasan los 26°C por varios días se desarrolla el vástago floral (Whitaker, 1965; cit. por Nava, 1992).

El rango de temperatura óptima depende del tipo de variedad. En el caso de la lechuga de cabeza, requiere de una temperatura nocturna de 18°C y diurna de 17 a 19°C en días nublados, y 21 a 24°C en días soleados. En el caso de las variedades sin acogollar, necesitan temperaturas nocturnas de 10 a 13°C y 13 a 21°C durante el día (Resh, 2001).

Según (Nava 1992), la temperatura óptima cuando hay sol es de 20 a 22°C y cuando está nublado es de 15 a 16°C. Con poca iluminación y alta temperatura, se trastorna el balance nutricional, las hojas se adelgazan y los repollos son muy sueltos o no se forman. Las altas temperaturas (más de 25°C), después de transcurrido el periodo vegetativo, favorecen el rápido crecimiento del tallo floral, aumentando el porcentaje de producción normal. Con temperaturas nocturnas de 12 a 15°C y diurnas de 16 a 20°C se reduce el periodo de crecimiento y los costos de producción.

En el caso de variedades de cogollo son necesarias temperaturas nocturnas de 7.2 a 10°C, combinadas con temperaturas en días soleados de 12.8 a 26.7°C para el desarrollo de cabezas firmes y sólidas. Las temperaturas elevadas por las noches, durante la formación del cogollo, son el principal factor responsable de la falta de firmeza.

Una prueba realizada en la Utah State University se demostró que aunque la lechuga es cultivada dentro de un rango de temperatura de 20 a 25°C, en un ambiente con alto contenido de CO<sub>2</sub> (1200 umol mol<sup>-1</sup>) en una humedad relativa de 60 a 80% la temperatura óptima es de 28.5°C. (Frantz *et al.*, 2001).

El control de la temperatura, es una de las herramientas principales para disminuir el deterioro en postcosecha, debido a que las bajas temperaturas disminuyen la actividad enzimática y microorganismos responsables del deterioro, reducen el ritmo respiratorio, conservan las reservas consumidas en este proceso, retardan la madurez y reducen el déficit de presión de vapor entre el producto y el medio ambiente, disminuyendo la pérdida de agua por transpiración (López, 1992).

**2.3.2 Luz:** La lechuga es una planta muy exigente en relación a la cantidad de luz. En caso de escasez de luz, las hojas se adelgazan y la roseta formada y el cogollo, si se llega a formar, son muy sueltos y las plantas no alcanzan su peso característico (Nava, 1992). Por su parte, el exceso de luz provoca altas temperaturas que causan daños por el calor como tip burn (Sádaba, 2008).

**2.3.3 Humedad Relativa:** Se recomienda una humedad relativa de 60-80%, aunque se debe mantener a menos de 70% (Albright, 2004), ya que esto propicia el desarrollo de organismos patógenos. A mayor humedad relativa, el número y tamaño de las hojas es mayor (Nava, 1992).

### **2.3.4 Calidad del agua para la solución nutritiva**

El agua en hidroponía debe de ser potable de buena calidad y con bajos contenidos de cloro, el cual en concentraciones altas causa complicaciones en toxicidad a las plantas. Mediante el agua se proporciona a las plantas la solución nutritiva.

### **2.3.5 Duración y cambio de la solución nutritiva**

La vida útil de la solución de nutrientes depende principalmente del contenido de iones que no son utilizados por las plantas. La medida semanal de la conductividad eléctrica indicará el nivel de concentración de la solución (si es alto o bajo). La vida media de una solución nutritiva que haya sido ajustada por medio de análisis semanales suele ser de dos meses. En caso de no efectuarse dichos análisis se recomienda un cambio total de la solución nutritiva a las 4 a 6 semanas (Chang, M *et al.*, 2000).

**2.3.6 Conductividad eléctrica:** 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 en las etapas de post-almácigo y trasplante definitivo (Chang, M *et al.*, 2000).

Si la solución nutritiva supera el límite del rango óptimo de conductividad eléctrica se debe agregar agua o en caso contrario si se encuentra por debajo del rango óptimo deberá renovarse totalmente. La medición de este parámetro se puede realizar con un medidor portátil denominado conductivímetro, el cual debe calibrarse según las indicaciones de su proveedor, para evitar errores en el manejo de la solución.

Un ensayo se llevó a cabo en el Módulo Demostrativo de nuevas tecnologías hortícolas del Proyecto Hortícola de Rosario (33° X`S; 60 ° X`W), utilizando una estructura con las siguientes dimensiones: 46 m de largo, 4,7 m de ancho y 1,9 m de alto. Fue construido con caños estructurales y cubierto con polietileno térmico de 150 micrones de espesor. El suelo donde se realizó el ensayo, se encontraba totalmente modificado respecto a los originales, dado que tenía más de cincuenta años destinado a la horticultura al aire libre y tres años bajo cubierta; con un pH (1:2,5) superior a 9 (debido principalmente al alto contenido de

sodio) y la conductividad eléctrica (1:2,5) entre 0,4 y 0,5 dS/m. Encontrando que el pH del suelo tratado con azufre disminuye notablemente hasta el tercer muestreo y luego, a partir del cuarto se produce un aumento, pero que no alcanza a llegar a los valores iniciales, manteniéndose por debajo del resto de los tratamientos( Revista FAVE, 2005).

### **2.3.7 pH En la solución nutritiva.**

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.

Para disminuir el pH se agrega un ácido como ácido sulfúrico, ácido fosfórico o ácido nítrico y para aumentar el pH se debe adicionar una base o álcali como hidróxido de potasio o hidróxido de sodio (excepto para aguas con niveles significativos de sodio). Éstos ácidos y bases se deben utilizar diluidos a concentraciones de 1N. Se sugiere el uso de un pH metro o cinta de pH para el control de éste parámetro. Asimismo, se recomienda calibrar el pH metro con una solución tampón (buffer) antes de utilizarlo (Chang, M *et al.*, 2000).

Se realizó una investigación en el invernadero del Centro de Biotecnología Genómica del Instituto Politécnico Nacional en Reynosa, Tamaulipas, donde se empleó un sistema construido bajo el principio de la técnica de película de nutrientes evaluando varios cultivos como modelo recomendando para el cultivo de lechuga un pH de 6.0 a 6.5 (Aubert, C., 1997) y generalmente se recomienda para su control KOH y HNO<sub>3</sub> o HB<sub>3</sub> PO<sub>4</sub>, ya que éstos aportan nutrientes al mismo tiempo que reducen el pH.

El pH en el agua de recirculación durante el ciclo se fijó de 6.0 a 6.5 y se controló empleando KOH y HNO<sub>3</sub> cuando fue necesario. El pH y la conductividad eléctrica fueron monitoreados con medidores de pH y conductividad marca *Oakton Instruments* (Vernon Hill, IL). (Cuauhtémoc J. *et al.* 2005)

El trabajo de investigación se desarrolló en la Universidad Autónoma Chapingo, creando un equipo para optimizar el uso del agua que escasea en el campo y estableciendo 5 tratamientos, dos pH diferentes uno de 6.5 y otro de 7.0, así como la fertilización foliar de calcio e Hidroponía fertilizada de la forma recomendada. Se pudo observar gran diferencia entre las lechugas que estuvieron en condiciones de hidroponía óptima con pH de 6.5 y con todos los nutrientes aplicados en la forma recomendada por la literatura. Teniendo una mayor turgencia las que tenían calcio foliar y principalmente las de pH de 6.5. Las lechugas de hidroponía de pH de 6.5 en condiciones normales tenían mejor sabor y en segundo término estaba la de pH de 6.5 y que se le aplicó calcio vía foliar. En condiciones no tan agradables se obtuvo que las lechugas de pH de 7.0 tuvieron un sabor menos agradable (Ing. José Luis Hdez. 2010).

### **2.3.8 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 aparición de microorganismos. Una raíz sana y bien oxigenada debe ser blanquecina, de lo contrario ésta se torna oscura debido a 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, inyectando aire durante todo el día (Chang, M *et al.*, 2000).

El agua se cambia totalmente dependiendo de la coloración de la raíz o por la presencia de algas cada tres semanas. La aireación se realiza por lo menos una vez al día, preferiblemente por la mañana.

### **2.4 Plagas y enfermedades**

Como enfermedades criptógamas principales que afectan el cultivo en nuestro país están descritas el tumbado, causado por *Sclerotinia Sclerotiorum* y *Sclerotinia Minor*, incidiendo principalmente en los cultivos de otoño y primavera; el mildiu, ocasionado por *Bremia Lactucae*; la podredumbre gris, causada por *Botrytis Cinerea*. Entre los virus, la bibliografía cita como más importantes el mosaico de la lechuga y el virus del bronceado del tomate.

Existen enfermedades fisiológicas como el Tip Burn, cuyo síntoma es una quemadura en las puntas de las hojas jóvenes, causada por factores como temperaturas excesivas, estrés hídrico, bajo contenido de calcio en el suelo, que derivan en una deficiente traslocación de calcio hacia esa zona de la planta. Otra enfermedad fisiológica importante es la subida a flor prematura, causada principalmente por altas temperaturas en la etapa adulta.

Dentro de las deficiencias nutricionales podemos encontrar el Tip Burn citado anteriormente, la carencia de magnesio por excesiva fertilización con Potasio; en suelos alcalinos, pueden existir deficiencias de Zinc, Manganeso, Hierro y Boro. Las plagas más comunes que afectan el cultivo de lechuga son los pulgones (*Myzus persicae* y *Macrosiphum euphorbiae*), ocurriendo los ataques más importantes en otoño y primavera (Marotto, 2000).

#### **2.4.1 Plagas**

- \_Pulgón *Aphis* spp.
- \_Chicharrita *Empoasca* spp.
- \_Falso medidor *Trichoplusia* ni.
- \_Cenecilla polvorienta *Bremia lactucae*.
- \_Muerte por sclerotinia *Sclerotinia* minor.
- \_Pudrición por *Rhizoctonia solani*.
- \_Pudrición gris *Botrytis cinerea*.
- \_Mosaico de la lechuga

#### **2.4.2 Enfermedades Fisiológicas**

- Floración prematura. Altas temperaturas. Cultivares resistentes.
- Bordes quemados de las hojas (tip burn). Altas temperaturas con stress de agua (desbalance entre la transpiración y la absorción de agua. Cultivares resistentes.
- Nervadura central café (Brown rib). Días y noches cálidas y suelos de baja fertilidad. Cultivar resistentes y mantener una nutrición adecuada.

## 2.5 Tipo de lechugas

Hoy en día, la lechuga presenta una gran diversidad, dada principalmente por diferentes tipos de hojas y hábitos de crecimiento de las plantas. Esto ha llevado a diversos autores a distinguir variedades botánicas en la especie, existiendo varias que son importantes como cultivo hortícola en distintas regiones del mundo (Maroto, 2000).

<b>Variedad</b>	<b>Descripción</b>
Capistrano	Excelente tolerancia a la floración prematura 'bolt' y al quemado del borde de las hojas. Buena calidad general y color
Clemente	Comportamiento consistente por muchos años. Buen potencial de peso, cosecha uniforme, buena calidad de cabeza
Conquistador	Cabezas altas, verde brillante con buen llenado. Buen potencial de rendimiento. Adecuada para mercado fresco y corazones
Del Rey	Cabezas grandes, uniformes, vigorosas. Tolerante a la nervadura gruesa, al borde quemado de las hojas y a la floración prematura
Del Rio	Crecimiento vigoroso en tiempo frío. Excelente protección de la cabeza, cosecha uniforme, corazón corto
Black Seeded Simpson FAX	Variedad con muchos años en el mercado utilizada en zonas tropicales cálidas.
Climax FAX	Tolerante al frío. Cabezas muy firmes y grandes. Color verde. 95 días a maduración.
Esmeralda	Excelente tolerancia a floración prematura y al quemado de los bordes de las hojas. Notable potencial de peso. Variedad de amplia adaptación y de comportamiento consistente
Great Lakes 118	Cabezas grandes, verde oscuro, muy firmes. Cosechable todo el año y adaptable a muchas zonas del País.
Great Lakes 407 FAX	Variedad de gran adaptabilidad. Recomendable para siembras de Primavera, Verano y muy temprano en Otoño.
Greenday	Cabezas uniformes, buena retención. Tolerante al quemado de los bordes de las hojas
Grizzly	Cabeza grande con buena protección. Atractiva forma de violonchelo. Buen potencial de rendimiento
Krypton	Cabeza grande, hábito abierto. Excelente tolerancia a floración prematura y color verde excepcional
Magnum	Excelente color, gran adaptabilidad, buena para empaque. Cabezas densas, pesadas. Cosecha en temporada fresca
Mohawk	Cosecha uniforme. Excelente textura, atractiva forma de violonchelo
<b>Variedad</b>	<b>Características</b>
<b>ICEBERG - COSTA (USA)</b>	
Del Rey (PVP 9200023)	Cabezas grandes, uniformes, vigorosas. Tolerante a la nervadura gruesa, al borde quemado de las hojas y a la floración prematura (bolt)
El Dorado (PVP 9300014)	Maduración muy uniforme, excelente textura. Corazón corto y recto. Tolerante al floración prematura y al borde quemado de las hojas
Salinas 128	Vigorosa, Cabezas grandes, maduración uniforme
Sharpshooter (PVP 9700035)*	Excelente uniformidad de cosecha y potencial de rendimiento. Buena textura. Forma de violonchelo. Normalmente bajo costo de cultivo y cuidado. Patente USA No. 5,973,232
Sniper (PS 3879)	Buen tamaño de cabeza, cosecha uniforme, buena textura



Target (PVP 8900102)	Excelente color y adaptabilidad	
Tracer	Iceberg tipo Salinas de cabeza grande. Buen vigor en tiempo frío	
<b>ICEBERG - ZONA DESERTICA (USA)</b>		
Del Oro (PVP 9400181)	Cabezas grandes, excelente uniformidad de cosecha, notable forma de violonchelo	
Del Rio (PVP 9400202)	Crecimiento vigoroso en tiempo frío. Excelente protección de la cabeza, cosecha uniforme, corazón corto	
Diplomat (PVP 7900095)	Cabezas uniformes. Tolerante al borde quemado de las hojas	
Grizzly (PS 7328)	Cabeza grande con buena protección. Atractiva forma de violonchelo. Buen potencial de rendimiento	
Jackal (PS 0874)	Buena textura y color de las hojas. Atractiva forma de violonchelo	
Mohawk (PS 6386)	Cosecha uniforme. Excelente textura, atractiva forma de violonchelo	
PS 1265	Excelente tolerancia al quemado del borde de las hojas. Buena textura de las hojas. Cosecha tardía en siembras del desierto (California)	
Red Coach 74	Cosecha uniforme, comportamiento consistente. Crecimiento vigoroso, cabezas grandes, excelente textura	
Winterhaven	Crecimiento vigoroso, maduración muy uniforme, buen tamaño y textura. Comportamiento consistente, tolerante al frío	
<b>Variedad</b>	<b>Color</b>	<b>Características</b>
Grand Rapids TBR	Verde medio	Cultivo comercial y huerto familiar
Greenday (PVP 9700038)	Verde oscuro	Cabezas uniformes, buena retención. Tolerante al quemado de los bordes de las hojas
Krypton (PVP 9700037)	Verde oscuro	Cabeza grande, hábito abierto. Excelente tolerancia al 'bolt' y color verde excepcional
Red Line (PVP 9700036)	Rojo	Tolerante a floración prematura . Amplia ventana de cosecha, buen potencial de rendimiento
Red Sails (PVP 8400001)	Rojo oscuro	Cultivo comercial y huerto familiar. Premio AAS. Mantiene bien el color, tolerante a floración prematura
Royal Green (PVP 8700142)	Verde medio	Buen potencial de rendimiento, muy uniforme. Tipo Waldmann's Green de amplia adaptación. Tolerante al 'bolt' (floración prematura)
Tango	Verde intenso	Cultivo comercial y huerto familiar, para ensalada
<b>ROMAINE</b>		
Capistrano (PS 77393)	Verde oscuro	Excelente tolerancia al 'bolt' y al quemado del borde de las hojas. Buena calidad general y color
Clemente (PVP 9200022)	Verde oscuro	Comportamiento consistente por muchos años. Buen potencial de peso, cosecha uniforme, buena calidad de cabeza
Conquistador (PS 0136)	Verde oscuro	Cabezas altas, verde brillante con buen llenado. Buen potencial de rendimiento. Adecuada para mercado fresco y corazones
Parris Island COS 318	Verde medio	Durable, amplia adaptación. Tolerante al 'bolt' y al quemado de los bordes de las hojas
Romulus (PVP 9200011)	Verde medio	Durable, tolerante al 'bolt' y al quemado de los bordes de las hojas
Siskiyou (PS 5179)	Verde	Excelente potencial de peso. Buena calidad de hoja, alto porcentaje de 'blanching' para la industria de mercado fresco-cortada

**Cuadro 2.** Variedades de lechuga y descripción., (Nava, 1992)

## **2.6 Descripción de la Hidroponía**

### **2.6.1 Definición de hidroponía**

La **HIDROPONÍA** (hidros=agua y ponos=trabajo) es traducido literalmente como trabajo en agua y es una técnica de cultivo sin suelo. (*FAO\_RLC, 2000*). Este es remplazado por agua con los nutrientes minerales esenciales disueltos en ella. Las plantas toman sus alimentos minerales de las soluciones nutritivas, adecuadamente preparadas; y sus alimentos orgánicos los elaboran autotróficamente por procesos de fotosíntesis y biosíntesis. La producción sin suelo permite obtener hortalizas de excelente calidad y asegurar un uso más eficiente del agua y fertilizantes. Los rendimientos por unidad de área cultivada son altos, por la mayor densidad y la elevada producción por planta, lográndose mayores cosechas por año.

La hidroponía es una realidad técnica, posiblemente hoy en día sea el método más intensivo de producción de plantas; generalmente es de alta tecnología y de fuerte capital. En los últimos 20 años ha aumentado considerablemente el interés por el uso de esta técnica para producir cultivos hortícolas dentro de invernaderos.

Las hortalizas que se pueden producir en hidroponía es un producto sano, porque en su cultivo solo se emplean aguas limpias, y en el control de las plagas, se utilizan técnicas que no contaminen el ambiente ni dejan residuos dañinos en el producto cosechado (Marulanda 1992).

Está técnica viene siendo aplicada exitosamente en países desarrollados, y puede ser muy bien aplicada con tecnologías más sencillas en las ciudades dentro del contexto de la llamada agricultura urbana, principalmente en zonas de extrema pobreza, como una manera de favorecer el autoconsumo.

## 2.6.2 Hidroponía: ventajas y desventajas con respecto a la agricultura tradicional.

### 2.6.3 Ventajas

	<b>SUELO</b>	<b>HIDROPONIA</b>
<b>Lechugas/m<sup>2</sup></b>	<b>6-10</b>	<b>25-30</b>
<b>Lechugas/Ha</b>	<b>60,000-80,000</b>	<b>250,000-300,000</b>

<b>Cultivo en Tierra</b>	<b>Cultivo Hidropónico</b>
<b>Número de Plantas</b>	
Limitado por la nutrición que puede proporcionar el suelo y la disponibilidad de la luz.	Limitado por la iluminación; así es posible una mayor densidad de plantas iguales, lo que resulta en mayor cosecha por unidad de superficie.
<b>Preparación del Suelo</b>	
Barbecho, rastreo, surcado.	No existe preparación del suelo.
<b>Control de Malas Hierbas</b>	
Gasto en el uso de herbicidas y labores culturales	No existen y por lo tanto no hay gastos al respecto.
<b>Enfermedades y Parásitos del Suelo</b>	
Gran número de enfermedades del suelo por nemátodos, insectos y otros organismos que podrían dañar la cosecha. Es necesaria la rotación de cultivos para evitar daños.	Existen en menor cantidad las enfermedades pues prácticamente no hay insectos u otros animales en el medio de cultivo. Tampoco hay enfermedades en las raíces. No se precisa la rotación de cultivos.
<b>Agua</b>	
Las plantas se ven sujetas a menudo a trastornos debidos a una pobre relación agua-suelo, a la estructura del mismo y a una capacidad de retención baja. Las aguas salinas no pueden ser utilizadas, y el uso del agua es poco eficiente tanto por la percolación como por una alta evaporación en la superficie del suelo.	No existe stress hídrico; se puede automatizar en forma muy eficiente mediante un detector de humedad y control automático de riego. Se puede emplear agua con un contenido relativamente alto de sales, y el apropiado empleo del agua reduce las pérdidas por evaporación y se evita la percolación.
<b>Fertilizantes</b>	
Se aplican a boleo sobre el suelo, utilizando grandes cantidades, sin ser uniforme su distribución y presentando además considerables pérdidas por lavado, la cual alcanza en ocasiones desde un 50 a un 80%.	Se utilizan pequeñas cantidades, y al estar distribuidos uniformemente (disueltos), permiten una absorción más homogénea por las raíces; además existe poca pérdida por lavado.
<b>Nutrición</b>	
Muy variable; pueden aparecer deficiencias localizadas. A veces los nutrientes no son utilizados por las plantas debido a una mala estructura del terreno o a un pH inadecuado, del cual hay dificultad para muestreo y ajuste.	Hay un control completo y estable de nutrientes para todas las plantas, fácilmente disponible en las cantidades precisas. Además hay un buen control de pH, con facilidad para realizar muestras y ajustes.
<b>Desbalance de Nutrientes</b>	

Una deficiencia nutricional o el efecto tóxico de algunos elementos en exceso puede durar meses o años.	Este problema se soluciona en unos cuantos días.
<b>Calidad del Fruto</b>	
A menudo existe deficiencia de Calcio y Potasio, lo que da lugar a una escasa conservación.	El fruto es firme, con una capacidad de conservación que permite a los agricultores cosechar la fruta madura y enviarla, a pesar de ello, a zonas distantes. Algunos ensayos han mostrado un mayor contenido de vitamina A en los jitomates cultivados bajo técnicas hidropónicas, respecto a los cultivados en
<b>Esterilización del Medio</b>	
Vapor, fumigantes químicos, trabajo intensivo, proceso largo al menos dos o tres semanas.	Vapor, fumigantes químicos con algunos de los sistemas. Con otros se emplea simplemente Ácido Clorhídrico o Hipoclorito Cálcico. El tiempo para la esterilización es corto
<b>Costo de Producción</b>	
Uso de mano de obra, fertilizantes, fungicidas, insecticidas, preparación del suelo, etc.	Todas las labores pueden automatizarse, con la consiguiente reducción de gastos. No se usan además implementos agrícolas. En resumen: ahorro de tiempo y dinero en estos aspectos.
<b>Sustratos</b>	
Tierra.	Posibilidad de emplear diversos sustratos de reducido costo, así como materiales de desecho.
<b>Mano de Obra</b>	
Necesariamente se debe contar con conocimientos, o asesoría.	No se necesita, a pequeña escala, mano de obra calificada.

**Cuadro 3.** Hidroponía Ventajas y desventajas con respecto a la agricultura tradicional. (Nava, 1992).

## 2.6.4 Desventajas

Entre las desventajas se pueden señalar:

- El costo inicial para implementar un módulo de producción.
- El desconocimiento del manejo hortícola y de la técnica en sí. El éxito de la producción hidropónica depende más del conocimiento del manejo hortícola (siembra, riegos, control de plagas y enfermedades, etc.) que del conocimiento de la técnica en sí.

### **2.6.5 Métodos de cultivo hidropónicos**

Existen diferentes tipos de sistemas hidropónicos, desde los más simples, con funcionamiento manual o semiautomático, hasta los más sofisticados y completamente automatizados. No todo sistema es efectivo en todas las localidades.

Como toda inversión que se hace al comenzar un proyecto, los beneficios que puede brindar un centro de producción hidropónica, pueden obtenerse en el corto o mediano plazo. Un sistema hidropónico no será económicamente viable si no se le da una adecuada atención a la estructura del invernadero y a su ambiente.

Existen varios métodos de cultivo con diversos materiales que son utilizados como sustratos en hidroponía no se usa suelo, sustrato es todo material sólido que puede ser usado como un sustituto del suelo, de tal forma que sirva de medio de crecimiento artificial para la producción de plantas), los cuales sirven de contención de las raíces; entre estos métodos sobresale el cultivo en agua, grava, arena, aserrín, lana de roca, turba perlita, vermiculita, mezclas de dos o más de estos sustratos, NFT o flujo laminar de nutrientes, columnas y tubos.

Dependiendo de lo que se va a producir y su importancia económica es la selección del método de cultivo con el material adecuado como sustrato. Los recipientes donde se depositan los sustratos pueden ser: macetas y/o bolsas de plástico de capacidad adecuada para cada tipo de planta, también son utilizados tubos de PVC de 4 y 6 pulgadas de diámetro y longitud variable para el sistema NFT, tinas o contenedores rectangulares de 20 a 30 cm de profundidad con anchura de 20 hasta 120 cm y largo hasta 50 metros. Todo esto dependiendo de lo que se va a producir y de la técnica a seguir, siendo importante la impermeabilización si son construidos a base de concreto, cemento, ladrillo, madera y asbesto ya que al contacto de la solución nutritiva hay alteración del pH. Para elegir el sustrato óptimo se debe considerar que sea químicamente inerte, fácil de conseguir y de bajo costo, que no se descomponga o degrade con facilidad, que retenga humedad y que no sea salino.

### **2.6.6 Sistemas hidropónicos en agua**

Son sistemas hidropónicos por excelencia; las raíces de las plantas están en contacto directo con la solución nutritiva. Entre los sistemas más importantes y conocidos están:

#### **2.6.7 Sistema de Raíz Flotante:**

Este es un sistema hidropónico por excelencia porque las raíces de las plantas están sumergidas en solución nutritiva. Una plancha de poliuretano expandido actúa como soporte mecánico, tanto para la parte aérea de la planta (hojas y tallos) como para la parte subterránea (raíces).

Este sistema es muy utilizado en proyectos de hidroponía social en diferentes países latinoamericanos generalmente para producir cultivos de hojas, como diversas variedades de lechuga, albahaca, apio, menta, hierba buena, etc.

Para lograr una buena producción es muy importante airear la solución nutritiva; ésta se puede hacer inyectando aire con una compresora, o manualmente utilizando las manos o algún batidor, por lo menos dos veces al día. Esta acción permite redistribuir los elementos nutritivos y oxigenar la solución. La presencia de raíces de color oscuro es un indicador de una mala oxigenación de la solución nutritiva y esto limita la absorción de agua y nutrientes, afectando el crecimiento y desarrollo de las plantas. (*DICTA, 2000*).

Uno de los sistemas hidropónicos utilizados con mayor frecuencia para la producción de lechuga son las camas flotantes ya que se ha comprobado la eficiencia de producción.

#### **2.6.8 Sistema NFT:**

El término NFT son las iniciales de Nutrient Film Technique (Técnica de la película nutriente). El principio del sistema consiste en recircular la solución nutritiva por medio de una electrobomba a través de tuberías de distribución, hacia una serie de canales de PVC de superficie plana (Carrasco1996). Los canales están apoyados sobre mesas o caballetes, y tienen una ligera pendiente que facilita la circulación de la solución nutritiva a lo largo de

ellos. Luego la solución nutritiva se recolecta en una tubería de drenaje conectada con el tanque.

La electrobomba funciona continuamente durante las 24 horas del día. Por los canales recorre una película o lámina de apenas 3 a 5 mm de solución nutritiva. Como es un sistema cerrado, también se le conoce como sistema de recirculación continua. Este flujo continuo de solución nutritiva mantiene a las raíces en contacto permanente con la solución, lo cual permite una buena oxigenación de las raíces y un suministro adecuado de nutrientes minerales esenciales para las plantas.

Este sistema hidropónico es muy usado para la producción de hortalizas de hoja como lechuga y albahaca. También se puede producir tomate, melón y pepino pero, por razones de costos, se prefiere producir estos cultivos con el sistema de riego por goteo con sustrato embolsado.

## **2.7 Aeroponía**

**2.7.1 Definición:** Aeroponía es el proceso de cultivar plantas en un entorno aéreo o de niebla sin hacer uso de suelo. La palabra "aeroponía" viene de los términos griegos *aero* y *ponos* que significan respectivamente aire y trabajo. Los cultivos aeropónicos difieren de los convencionales cultivos hidropónicos y crecimiento *in vitro*.

El principio básico de la aeroponía es hacer crecer las plantas en un entorno cerrado o semicerrado, pulverizando las raíces colgantes y el bajo tallo con una disolución acuosa rica en nutrientes. Las hojas y corona, a menudo llamadas dosel, se extienden hacia arriba. Las raíces de la planta están separadas por la estructura de apoyo. El entorno de las raíces está limpio de enfermedades o plagas de tal modo que las plantas pueden crecer más saludable y rápidamente que plantadas en la tierra. Sin embargo, dado que la mayor parte de los entornos aeropónicos no están perfectamente sellados al exterior, plagas y enfermedades son aún una amenaza.

La aeroponía es el sistema hidropónico más moderno.

- El primer sistema aeropónico fue desarrollado por el Dr. Franco Massantini en la Universidad de PIA (Italia), lo que le permitió crear las denominadas "columnas de cultivo".
- Una columna de cultivo consiste en un cilindro de PVC, u otros materiales, colocado en posición vertical, con perforaciones en las paredes laterales, por donde se introducen las plantas en el momento de realizar el trasplante.
- Las raíces crecen en oscuridad y pasan la mayor parte del tiempo expuestas al aire, de ahí el nombre de aeroponía.
- Por el interior del cilindro una tubería distribuye la solución nutritiva mediante pulverización media o baja presión.

### **2.7.2 Ventajas**

- La principal ventaja que aporta la aeroponía es la excelente aireación que el sistema proporciona a las raíces, uno de los factores limitantes con los que cuenta la hidroponía.
- Basta tan solo considerar que la cantidad de oxígeno disuelto en el agua se mide en mg/L, o partes por millón (ppm), siendo de 5-10 mg/L a 20° C, mientras que la cantidad de oxígeno disuelto en el aire se mide en porcentaje (21%), lo que nos indica que la concentración de oxígeno en el aire es del orden de 20.000 veces más elevada que la concentración del mismo gas disuelto en el agua.
- La principal ventaja ecológica de los aeropónicos es la conservación de agua y energía. Comparado con los hidropónicos, los aeropónicos ofrecen unos requerimientos de agua y energía menores por cada metro cuadrado de cultivo.
- Los principales inconvenientes que presentan los sistemas aeropónicos tradicionales son: el costo elevado de la instalación y las obstrucciones de las boquillas de



pulverización que pueden producirse si no se dispone de presión suficiente y una instalación adecuada.

### **2.7.3 Desventajas**

- Depende de energía eléctrica constante.
- Si hay un mal manejo de solución nutritiva, se puede afectar la producción total del sistema.
- Si hay descuido en la higiene, las raíces de todas las plantas se pueden infectar con virus, bacterias y hongos. Se requiere un cuidado extremo con la higiene.

### **2.7.4 Beneficios del oxígeno en las raíces**

La presencia de oxígeno en la rizosfera (zona de las raíces) es necesaria para que haya un crecimiento saludable de la planta. Como los aeropónicos se cultivan con aire en combinación con micro gotas de agua, casi cualquier planta puede crecer hasta la madurez en el aire, siempre y cuando cuente con suficiente oxígeno, agua y nutrientes. Algunos cultivadores favorecen los sistemas aeropónicos sobre los hidropónicos debido a que la aireación aumentada de los nutrientes hace que llegue más oxígeno a las raíces de las plantas, estimulando su crecimiento y ayudando a prevenir la formación de patógenos. El aire limpio abastece de oxígeno, el cual es un purificador excelente para las plantas y el entorno aeropónico. Para que la planta tenga un crecimiento natural debe tener acceso sin restricciones al aire. Debe permitirse que las plantas crezcan de forma natural para un desarrollo fisiológico exitoso. Entre más confinado sea el sistema, mayor será la probabilidad de que la presión enferme la planta y al entero sistema aeropónico.

(<http://davidhuerta.typepad.com/blog/2011/03/que-es-aeroponia-what-is-aerophonics.html>).

### **2.7.5 Cultivos libres de enfermedad**

Los aeropónicos son capaces de limitar la transmisión de enfermedades dado que el contacto planta a planta es reducido y cada dosificación de componentes puede ser estéril. Las enfermedades pueden extenderse en entornos como tierra, agregados y otros. En la mayoría de invernaderos, estos entornos necesitan ser esterilizados después de cada cosecha. En muchos casos simplemente son descartados y reemplazados por nuevos.

Una ventaja sobresaliente de la tecnología aeropónica es que si una planta en particular se enferma, puede ser removida rápidamente de la estructura de soporte sin desestabilizar o infectar a las otras plantas. Debido al ambiente libre de enfermedades exclusivo de la aeroponía, muchas plantas pueden crecer a una mayor densidad (plantas por m<sup>2</sup>) en comparación con las formas más tradicionales de cultivo (hidroponía, suelo y NFT). Los sistemas comerciales de aeropónicos ofrecen herramientas especializadas para acomodar las crecientes raíces de los cultivos.

Describen la aeroponía como "método útil, simple y rápido para la pre-selección de los genotipos resistentes una plaga específica del semillero o la pudrición de la raíz."( TToit, L.J.oit, L.J.*et al.*, 2002).

### **2.7.6 Agua y nutriente**

Un equipo de aeroponía requiere el uso de rociadores, pulverizadores, nebulizadores u otros dispositivos para crear una fina niebla de solución, necesaria para entregar los nutrientes a las raíces. Los sistemas aeropónicos son normalmente sistemas de ciclo cerrado que proporcionan macros y micro-ambientes, adaptados para mantener un cultivo aéreo de forma constante y confiable. Se han desarrollado muchas innovaciones para facilitar la pulverización y la nebulización aeropónica. La clave para el desarrollo de las raíces en un entorno aeropónico es el tamaño de la gota de agua. En aplicaciones comerciales, suele utilizarse un hidro-atomizador de aire comprimido para crear una neblina presurizada que cubra zonas extensas de raíces.

El tamaño de la gota de agua es crucial para mantener el crecimiento aeropónico. Una gota demasiado grande significa menos oxígeno disponible para las raíces. Una gota muy fina, tales como las generadas por el nebulizador por ultrasonido, producen un exceso de pelo radical que no permite el desarrollo de las raíces laterales, que son la base de un sistema aeropónico. Muy importante es tener en cuenta la relación que existe con la solución nutritiva, debido a que ésta no debe tener contacto con la luz para que no exista la posibilidad de que se desarrollen algas que serán una competencia por los nutrientes con las plantas (Alvarado *et al.*, 2001).

En este sistema las plantas están creciendo en agujeros en láminas de (poliestireno expandido). El sistema aeropónico de estructura en forma de A tiene la forma de un triángulo equilátero y sirve para producir cultivos de hojas de poca altura. Las raíces de las plantas están suspendidas en el aire debajo de la lámina y encerradas en una cámara de aspersión. La cámara está sellada por lo que las raíces están en oscuridad y están saturadas de humedad. Un sistema de nebulización asperja periódicamente la solución nutritiva sobre las raíces. El sistema está normalmente encendido sólo unos cuantos segundos cada 2 a 3 minutos. Esto es suficiente para que las raíces se humedezcan y la solución nutritiva sea aireada. Generalmente este sistema hidropónico se utiliza más para fines ornamentales o decorativos que para fines comerciales porque sus costos de operación son relativamente altos. Una aparente desventaja de este sistema es el crecimiento desigual que resulta de las variaciones en la intensidad luminosa sobre los cultivos inclina (Barak *et al.*, 1996).

## **2.8 Generalidades de los sistemas aeropónicos.**

Si deseamos conservar la calidad ambiental que aún tiene nuestro territorio debemos incorporar pequeños cambios en las prácticas agrícolas y utilizar tecnologías apropiadas que provoquen impactos positivos en nuestro ambiente.

La aeroponía es el sistema hidropónico más moderno. El primer sistema aeropónico fue desarrollado por el Dr. Franco Massantini en la universidad de Pía (ITALIA), lo que

permitió crear las denominadas “columnas del cultivo” que consiste en un cilindro de PVC, u otros materiales colocados en posición vertical, con perforaciones en las paredes laterales, por donde se introducen las plantas en el momento en que se realiza el trasplante. (José M, *et al.*, 2000).

Lo definen como una columna de cultivo en un cilindro de PVC, u otros materiales, colocados en posición vertical, con perforaciones en las paredes laterales, por donde se introducen las plantas en el momento de realizar el trasplante en donde las raíces crucen en obscuridad y pasan la mayor parte del tiempo expuestas al aire, de ahí el nombre de aeroponía. Por el inferior del cilindro una tubería distribuye la solución nutritiva mediante pulverización media o baja presión. (Duran J.2000).

La aeroponía consiste en cultivos en contenedores donde las raíces se encuentran en una atmósfera saturada de humedad y fertirregadas continua o discontinuamente con una mezcla de agua y nutrientes en forma de pequeñas gotas o de aerosol (Zobel *et al.*, 1976; cit. por Urrestarazu, 2004).

Frente a los cultivos hortícolas tradicionales, instalados sobre un suelo normal, realizados frecuentemente al amparo de un sistema de protección (túneles o invernaderos), los cultivos sin suelo (hidropónicos o aeropónicos) aparecen como una alternativa imprescindible, para optimizar los beneficios que normalmente se consiguen con el empleo de estructuras que mejoran las condiciones medioambientales (Durán *et. al.*, 2000).

Dependiendo del medio en el que se desarrollan las raíces, los sistemas de cultivo sin suelo se pueden clasificar en tres grupos: cultivos en sustrato, cultivo en agua (hidropónicos) y cultivos en aire (aeropónicos). (Durán *et. al.*, 2000).

También se emplea en la propagación de plantas mediante esquejes, ya que permite un ambiente inocuo en las raíces y un enraizamiento más rápido (Berry, 1986) además de ahorrar tiempo y espacio, prevenir la propagación de enfermedades y eliminar el shock al trasplantar (Stoner, 1983).

Se realizó un estudio en el cual se comparó la producción de mini tubérculos de papa en un sistema hidropónico y uno aeropónico. Sus resultados mostraron que aunque en el sistema hidropónico se obtuvieron dos ciclos de producción y en el cultivo aeropónico solo se obtuvo uno además de tener un ciclo vegetativo prolongado, alto crecimiento vegetativo y formación retrasada de tubérculos, éste obtuvo un rendimiento mayor por planta de 70% y un número de tubérculos de 2.5 veces más alto (Ritter *et al.*, 2000)

Este sistema consiste en recircular la solución por una serie de canales de cloruro de polivinilo (PVC) de un diámetro de 4 a 6 pulgadas, el agua junto con la solución nutritiva circula por medio de los tubos mediante una bomba, los tubos están apoyados sobre mesas o armazón y tienen una ligera pendiente que facilita la circulación de la solución, la que posteriormente es reconectada y almacenada en un tanque, la cual es recirculada nuevamente (Dicta, 2000).

Otras investigaciones han sido referente a raíces medicinales como *Echinacea purpurea*, *Arcticum lappa* (Pagliarulo *et al.*, 2001) y *Zingiber officinale* (Hayden *et al.*, 2004). Estas investigaciones presentan las ventajas de la producción de raíces bajo sistema aeropónico comparadas con suelo, como:

- Material radicular limpio, libre de tierra, organismos del suelo o adulteración de contaminantes de plantas de distintas especies.
- Ciclos de cultivo acelerados debido a incrementado índice de crecimiento y maduración.
- Potencial para el incremento del rendimiento radicular y consistencia fotoquímica debido a la disponibilidad de uniformidad de nutrientes y de agua, además de riesgos reducidos de enfermedades.
- Densidad de plantación más alta al eliminarse la competencia por agua y nutrientes, y al usar una estructura en A-frame.

- Independencia del suelo local y condiciones climáticas externas cuando se cultiva en un ambiente controlado bajo invernadero.
- Control preciso de la zona radicular mediante la manipulación de la composición, la temperatura y la aplicación de la solución nutritiva.
- Posibles cosechas múltiples de raíz de un solo cultivo perenne.

Un sistema desarrollado en la Universidad de Arizona por el Dr. Merle Jensen ha sido el sistema aeropónico tipo A-frame. Fue probado con lechuga, espinaca y jitomate, aunque este último probó no ser económicamente viable.

El A-frame es una estructura formada por un par de paneles unidos por un extremo y extendidos en la base a una distancia acorde al ancho de las caras (por ejemplo si el ancho de las caras es de 1 m, se extienden a 1m, formando así un triángulo equilátero si es visto por uno de sus extremos. Estos paneles se encuentran sobre un recipiente de 25cm de profundidad, el cual contiene la solución nutritiva y el equipo de nebulizadores. Las caras inclinadas se ubican hacia el este y oeste. Los trasplantes son colocados en agujeros en los paneles distanciados a 18cm. Las raíces son suspendidas en el espacio cerrado y regadas en forma de vapor con la solución nutritiva. Una desventaja aparente de dicho sistema es el crecimiento disperejo a causa de las variaciones en la intensidad de luz sobre el cultivo inclinado (Jensen, 1980).

## **2.9 Objetivos e hipótesis**

### **2.9.1 Objetivos generales**

Evaluar el efecto de la fertilización química y orgánica en el rendimiento y calidad de un cultivo de lechuga en dos sistemas hidropónicos.

### **2.9.2 Objetivos particulares**

Evaluar el rendimiento y calidad en ambos sistemas mediante la medición y comparación estadística de las siguientes variables: Rendimiento peso fresco, diámetro de tallo, y altura de la planta.

### **2.9.3 Hipótesis**

El cultivo de lechuga en el sistema aeropónico tendrá mejor rendimiento y calidad en peso y tamaño, con una nutrición orgánica que el sistema en camas flotantes.

## METODOLOGÍA

### 3.1 Ubicación del área de investigación.

El municipio de Amealco de Bonfil se ubica al sureste de la capital Queretana, cuenta con una superficie de 711.4303 km<sup>2</sup>., se incluye en la Región Sur dentro de la Regionalización para el Desarrollo de la entidad, Sin embargo, a diferencia de los municipios que la integran, Amealco guarda ciertas diferencias que hacen peculiar tanto su desarrollo como su economía, precisamente debido a sus características geográficas y a su población, ya que alberga a un considerable número de personas indígenas de la etnia otomí.



**Figura 1.** Amealco municipio del Estado de Querétaro

Una de las características que diferencian a Amealco de la Región Sur es que se encuentra ubicado a 2, 620 metros snm, que es la mayor altitud en la entidad, a una latitud norte de 20° 11'08" y a una longitud oeste de 100° 08'38", puede decirse que un 30% del territorio se encuentra entre los 2,500 y 3 mil metros, sobretodo la parte centro oeste, el resto del territorio se encuentra entre los 2 y 2,500 msnm. Se muestra en la **Figura 1.** Amealco municipio del Estado de Querétaro.



Por el territorio de Amealco cruza una sierra o cordillera con pequeñas montañas que a su vez conforman laderas suaves asociadas con lomeríos, áreas que han favorecido la práctica y desarrollo de la agricultura que además de contar con un clima más frío, permite que la humedad de los suelos se conserve, lo que ha venido a favorecer al manejo y a los rendimientos de los cultivos. Precisamente el municipio está considerado como una de las que alberga mayores almacenamientos subterráneos del vital líquido. Esta disponibilidad de agua favorece la producción agrícola.

<b>AL NORTE</b>	Municipio de San Juan del Río y Huimilpan
<b>AL SUR</b>	Con los Estados de México y de Michoacán
<b>AL OESTE</b>	Con el Estado de México
<b>AL ESTE</b>	Con el Estado de Michoacán

**Cuadro 4.** Colindancias del municipio de Amealco Qro.

<b>CLIMA</b>	Templado Subhúmedo con lluvias en verano, C (w).
<b>TEMPERATURA MEDIA ANUAL</b>	Promedio: 15° C, registros que van de los 13 a los 17°C
<b>PRECIPITACION ANUAL MEDIA</b>	Registros que van de los 600 a los 800 milímetros

**Cuadro 5.** Aspectos geográficos, Amealco de Bonfil.

(Estación Meteorológica SJR, Qro. CNA. Anuario Estadístico, Estado de Querétaro 2010, INEGI).

### 3.2 Localización del proyecto

La ubicación específica del proyecto Universidad Autónoma de Querétaro Campus Amealco. Carretera Amealco Temascalcingo km 1. El experimento se realizó en el invernadero tipo batiscénital.



**Figura 2.** Invernadero Universidad Autónoma de Querétaro campus Amealco FI.

#### Municipio de Amealco de Bonfil

LONGITUD	100° 08' 38"
LATITUD	20° 11' 08"
ALTITUD	2,620 msnm

### 3.3 Sistemas evaluados

Se evaluaron dos sistemas hidropónicos: Sistema A 1 sistema en camas flotantes y 1 sistema en aeroponía, sistema B 1 sistema en camas flotantes y 1 sistema en aeroponía.

### 3.3.1 Descripción de los sistemas.

Sistema A: fertilización orgánica.

Sistema B: fertilización química.

### 3.4 Diseño experimental

Para efectuar la presente investigación se utilizó el diseño de bloques al azar, con un arreglo en cuatro camas de Madera de (2m x 1m) con una profundidad de 10cm intercalando cada sistema.

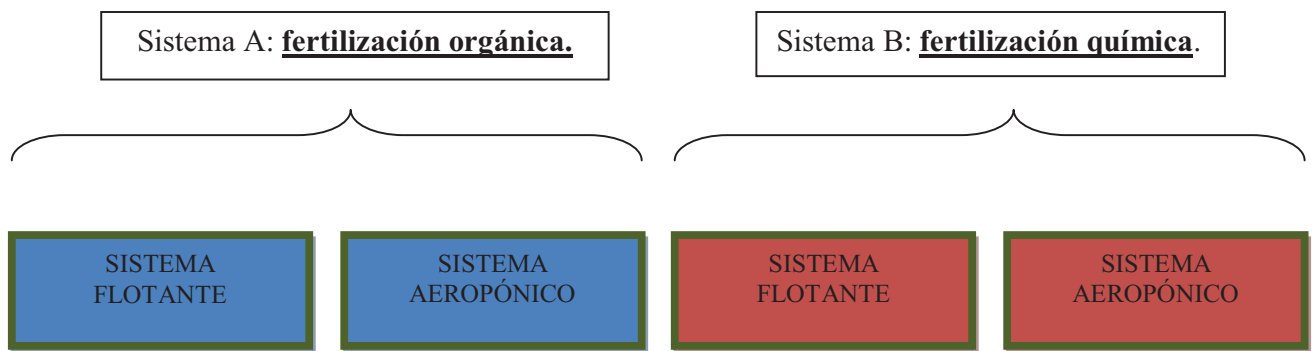


Figura 3. Bloques experimentales

### 3.5 Variable a medir:

**3.5.1 Altura de la planta:** Desde la base inferior de la planta (cuello) hasta la parte superior de la cabeza de lechuga se midió con una regla en centímetros la altura de cada lechuga seleccionada al azar de la cama (20 lechugas). Se registro de la altura en el formato para el registro de datos de las variables evaluadas

**3.5.2 Diámetro de tallo de la planta:** Para medir el diámetro de la cabeza de lechuga se empleó como herramientas un Vernier digital marca truper. Se colocó en la base del tallo de cada una de las lechugas seleccionadas y se registro el diámetro en el formato para el registro de datos de las variables evaluadas.

### 3.5.3 Rendimiento peso fresco por sistema.

Las 20 lechugas se pesaron en una báscula con precisión de 0.01gr marca Sartorius con capacidad de 60Kg, para evaluar el rendimiento y poder determinar cuál es más eficiente.

### 3.6 Manejo del experimento

En términos generales el manejo de la investigación consistió en la elaboración de los sistemas, 2 sistemas en camas flotantes y 2 sistemas aeropónicos, la germinación de lechuga, la preparación de la solución nutritiva, llenado de camas con la solución nutritiva y trasplante de las lechugas y manejo.

#### 3.6.1 Elaboración de las camas

Se elabora las camas de madera con dimensiones de (2m x 1m) con una profundidad de 10cm, con base de acero se muestra en la **Figura 4**. Este mismo proceso será el mismo para elaborar las cuatro camas para cada sistema.



**Figura 4.** Elaboración de las camas.

Las cuatro camas estarán formadas por una base de madera con las dimensiones antes mencionadas, las tablas se clavaron de adentro de la cama hacia fuera, esto con la finalidad de evitar que las puntas de los clavos rompieran el nylon negro colocado en el interior de la misma se muestra en la **Figura 5**.



**Figura 5.** Forrado de las camas con nylon negro.

Posteriormente se procedió a realizar el sistema de riego para el sistema aeropónico conformado por 5 nebulizadores con área de riego de 40 cm y 4 nebulizadores con área de riego de 80 cm. Se muestra la **Figura 6**. Además cabe señalar que este sistema de riego se colocó en la parte superior de la pirámide realizando su función de riego hacia abajo a diferencia de muchos otros experimentos que se han desarrollado.



**Figura 6.** Sistema de riego sistema aeropónico.

El sistema aeropónico constará del A-frame formado con poliestireno expandible se muestra en la **Figura 7**. Colocado sobre una base de madera.



**Figura 7.** Modelo del sistema aeropónico.

Los sistemas hidropónicos (camas flotantes y aeropónicos), cuentan con un sistema de riego con tubería de PVC conectados entre si. Un sistema en camas flotantes y un sistema aeropónico con sus válvulas de paso respectivamente teniendo conectado en la misma, un filtro y una bomba de  $\frac{1}{4}$  Hp. Y un tinaco con capacidad de almacenamiento de 1100 L. Se muestra en la **Figura 8**. Donde desembogue a su vez la solución nutritiva con la finalidad de recircular la misma.



**Figura 8.** Depósito de la solución nutritiva.

### **.3.7 Material vegetal**

Material genético se utilizará semilla de lechuga variedad Vulcan se muestra el la **Figura 9**.

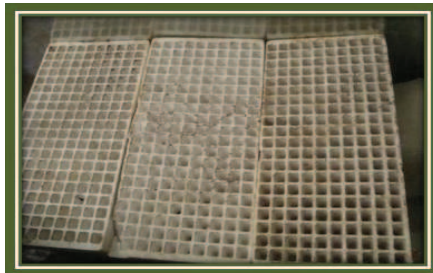


**Figura 9.** Variedad Vulcan.

### **3.7.1 Producción de plántula**

La lechuga inicialmente necesita más cuidado por lo tanto se siembra en almácigo que le ofrece las condiciones adecuadas para garantizar el nacimiento de las semillas y el crecimiento inicial de las plantas. Para el almácigo se utilizaron 2 charolas y como sustrato se utilizó peat moss, el procedimiento fue el siguiente:

Se comenzó con el lavado y desinfección de charolas para posteriormente germinar la semilla de lechuga tipo Vulcan se muestra en la **Figura 10**.



**Figura 10.** Lavado y desinfección de charolas

### **3.7.2 Llenado de las charolas con el sustrato y siembra de la semilla de lechuga**

Con sustrato de peat moss y un poco de agua se logra una mezcla homogénea, se procedió a colocarlo bien humedecido dentro de las charolas con 200 cavidades se muestra en la

**Figura 11.** Después se procedió a nivelar la superficie del sustrato con una tabla lisa de madera. Dentro de cada cavidad se colocó una semilla, después se procedió a tapar las charolas con una capa delgada de sustrato, se apelmazó suavemente con la palma de la mano y se regó con agua limpia, después se tapó el semillero con un plástico negro para retener más calor y acelerar la germinación, finalmente se monitoreó el desarrollo de la siembra durante 5 días período en que germinaron las semillas de lechuga.



**Figura 11.** Llenado de las charolas con el Sustrato y siembra de la semilla de lechuga

### **3.7.3 Cuidado de las plántulas en el semillero**

Los primeros 20 días las plántulas continuaron en las charolas y se regaron 2 veces al día con láminas muy pequeñas. Las semillas sembradas en las charolas germinaron a los 6 días después de la siembra y en este momento se retiró el plástico. A partir del sexto día de sembradas las semillas de lechuga y hasta el momento del trasplante del cultivo se procedió a nutrir diariamente con solución nutritiva.

A los 28 días después de la germinación, cuando la planta obtuvo al menos 4 hojas definitivas (sin contar los cotiledones) los almácigos se trasladaron se muestra en la **Figura 12.**





**Figura 12.** Plántula lista para trasplante.

### **3.8 Trasplante**

Las plántulas de lechuga se extrajeron del semillero manualmente tratando de no lastimar las raíces, luego cada una fue sumergida en agua limpia para eliminar los restos de sustrato presente en las raíces, posteriormente se colocaron en los sistemas flotantes, se introdujeron en los agujeros de las planchas de poliestireno expandible. De igual manera se procedió para el trasplante en el sistema aeropónico, poniéndole algodón alrededor de la raíz para brindarle un mayor soporte a la plántula en el sistema. Se muestra en la **Figura 13.**



**Figura 13.** Trasplante en el sistema aeropónico.

### 3.8.1 Aireación de la solución nutritiva en camas flotantes

Se colocó una bomba para pecera con capacidad para 200 L. En cada uno de los sistemas en camas flotantes, por lo que se conectó día y noche a la energía eléctrica. Para lograr una adecuada aireación de la solución nutritiva.

### 3.8.2 Medición del pH

Al momento de aplicar por primera vez la solución nutritiva en las camas se midió el pH de la solución nutritiva, encontrándose éste en 6.6 en la fertilización química, en la fertilización orgánica en 7.2. Una vez por semana se revisó el pH de la solución nutritiva por medio de pH metro (Brian *et al.*, 2001). Se muestra en la **Figura 14**.



**Figura 14.** Medición de pH en la solución nutritiva.

### 3.8.3 Medición de la conductividad eléctrica

La medición de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva. Se realizó al inicio del ciclo, y una vez por semana después del trasplante de las plantas de lechuga, en la fertilización química, y en la fertilización orgánica se muestra en la **Figura 15**. Como se aprecia el contenido de sales dentro de la solución nutritiva se mantuvo dentro del rango óptimo (1.5 a 2.5 mS/cm) recomendado para el crecimiento adecuado de cultivos hidropónicos, por lo que no fue necesario aplicar agua pura a la solución nutritiva

CE Fertilización química	CE Fertilización orgánica
1.9 mS/cm	1.7 mS/cm
2.3 mS/cm	1.9 mS/cm
2.4 mS/cm	2.2 mS/cm
2.5 mS/cm	2.4 mS/cm

**Figura 15.** Medición de la CE en la fertilización química y orgánica

### 3.8.4 Solución nutritiva

Se utilizarán dos tipos de fertilización, una orgánica, para una cama flotante y un sistema aeropónico utilizando el fertilizante comercial MEGAplus y humus líquido de lombriz se muestra en la **Figura 16**, y otra química, para la segunda cama flotante y segundo sistema aeropónico, la cual estará basada en la solución Steiner como se muestra en el cuadro 9.



**Figura 16.** Fertilizante orgánico MEGA plus.

½ Litros	Mega plus
2 Litros	Carbo_vit (Humus liquido mas aminoácidos y péptidos).

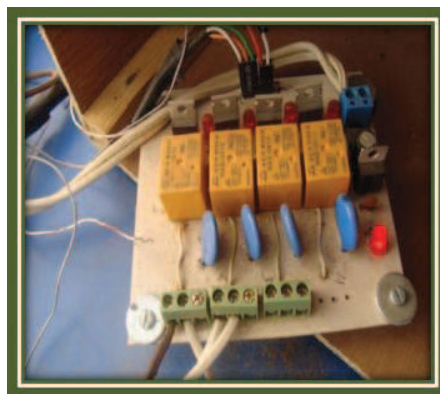
**Cuadro 6.** Fertilización orgánica.

Nitrato de calcio. Ca (NO <sub>3</sub> )	1374.57 gr.
Nitrato de potasio. KNO <sub>3</sub>	232.67 gr.
Fosfato Monopotasico. MKP	330.60 gr.
Sulfato de potasio. K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	96.95 gr.
Sulfato de magnesio. MgSO <sub>4</sub>	182.55 gr.
Quelato de magnesio.	3.84 gr.
Quelato de zinc.	1.07 gr.
Quelato de fierro.	3.84 gr.
Quelato de cobre	1.6 gr.

**Cuadro 7.** Fertilización química.

### 3.9 Sistema de control

Se elaboró un programa de automatización empleando el software Turbo C y realizar el circuito electrónico correspondiente como se muestra en la **Figura 17**. En el caso de del sistema aeropónico dicha solución será aplicada mediante riegos de 20 segundos cada 3min y al mismo tiempo se recirculará en ambos sistemas.



**Figura 17.** Sistema de control.

**3.9.1 Tamaño de muestra:** 20 plantas seleccionadas al azar de cada uno de los bloques experimentales. Dichas mediciones se hicieron 2 veces por semana.

### 3.9.2 Análisis de la información

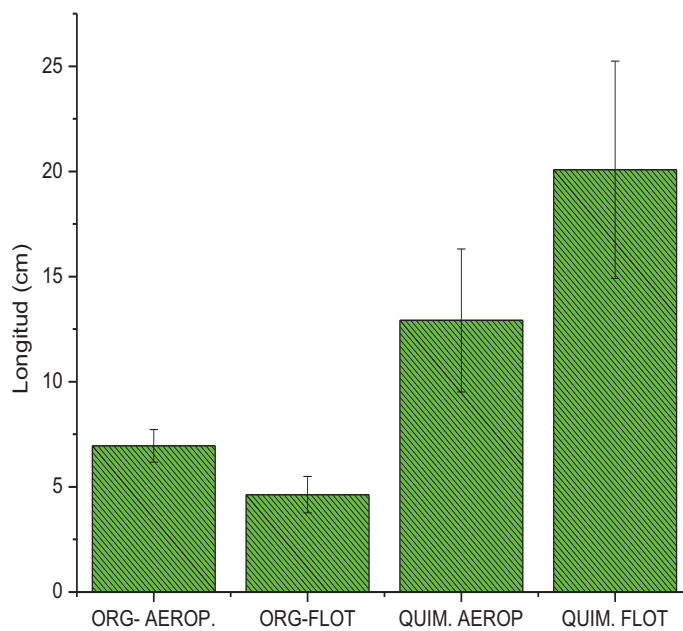
Las variables evaluadas, altura y diámetro de lechuga, así como rendimiento de lechuga por unidad experimental fueron sometidas al análisis de varianza en el paquete estadístico OriginPro 8®. Los resultados de cada tratamiento y repetición se les hizo la prueba de Tukey con una significancia de  $P < 0.05$ . A fin de establecer que tratamiento ofreció mejores condiciones para las variables evaluadas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Altura de la planta:

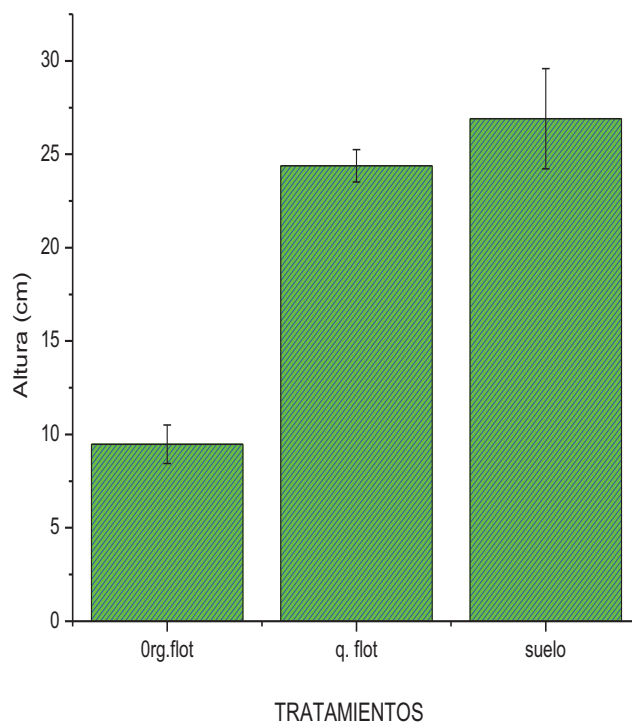
Los resultados obtenidos en dicho experimento se muestran a través de figuras señalando el comportamiento de cada uno de los bloques experimentales. Dichas plantas seleccionadas al azar durante su ciclo. Los resultados de cada tratamiento y repetición se les hizo la prueba de Tukey con una significancia de  $P < 0.05$ .

De acuerdo con la **Figura 18**. Se observa gráficamente que el sistema químico flotante tiene el mayor crecimiento promedio, y en segundo lugar se muestra con una menor variación el sistema químico aeropónico, por último con una gran diferencia significativa se observa que los sistemas con fertilización orgánica fue muy insignificante comparado con la fertilización química. Debido al utilizar dos fertilizaciones química y orgánica en cada sistema, en la misma solución y en la cantidad requerida por la planta, lo que permitió que cada lechuga absorbiera mayor cantidad de nutrientes en la fertilización química, y en la fertilización orgánica crecieran de manera distinta.



**Figura 18.** Desarrollo en la altura en los 4 sistemas hidropónicos Camas flotantes y aeroponía.

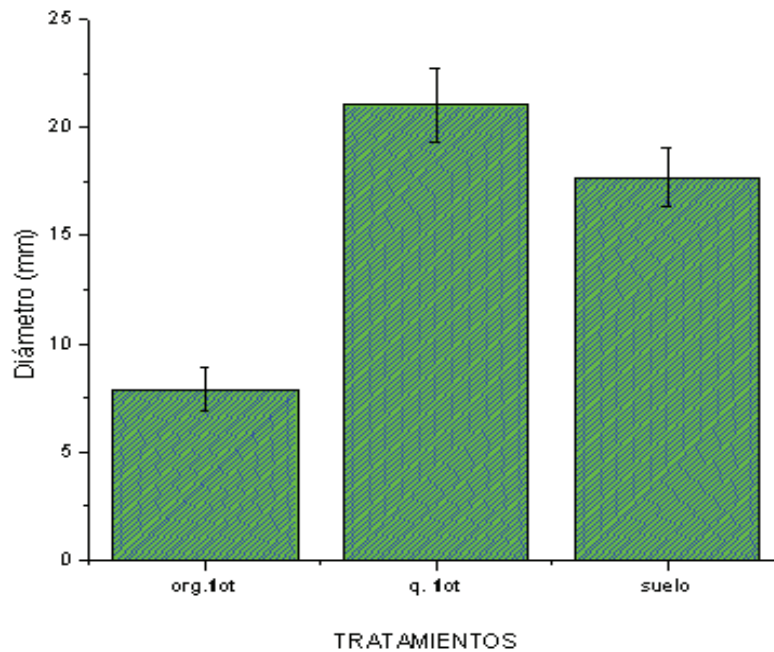
De acuerdo con la **Figura 19**. Se observa gráficamente su comportamiento durante todo el cultivo. Los resultados de cada tratamiento y repetición se les hizo la prueba de Tukey con una significancia de  $P < 0.05$ . Dicha prueba nos representa que durante el ciclo no fueron homogéneos los bloques experimentales. La altura de la hortaliza se midió en forma semanal, se observó un mayor impacto en el tratamiento en suelo, con una media de 26.9cm y una D.standar de 2.67914; respecto al tratamiento químico flotante, con una media de 24.38524cm y una D.standar de 0.8640, y se observa gráficamente que el tratamiento orgánico flotante presento una gran diferencia significativa comparado con los otros dos tratamientos. Esto se debió a las condiciones climáticas en las que se encuentra cada sistema y a su fertilización por ende, se desarrollaron con mayor tamaño y turgencia las hortalizas en suelo al tener mejores condiciones.



**Figura 19.** Desarrollo en la altura en camas flotantes y un patrón en suelo.

#### 4.2 Diámetro de la planta:

De acuerdo con la **Figura 20**. El diámetro se midió en forma semanal, se observó un mayor desarrollo en el tratamiento químico flotante, con una media de 21.025mm y una D.standar de 1.6727; respecto al tratamiento en suelo con una media de 17.69mm y una D.standar de 1.33621, y se observa nuevamente que el tratamiento flotante orgánico presento una gran diferencia significativa comparado con los otros dos sistemas.

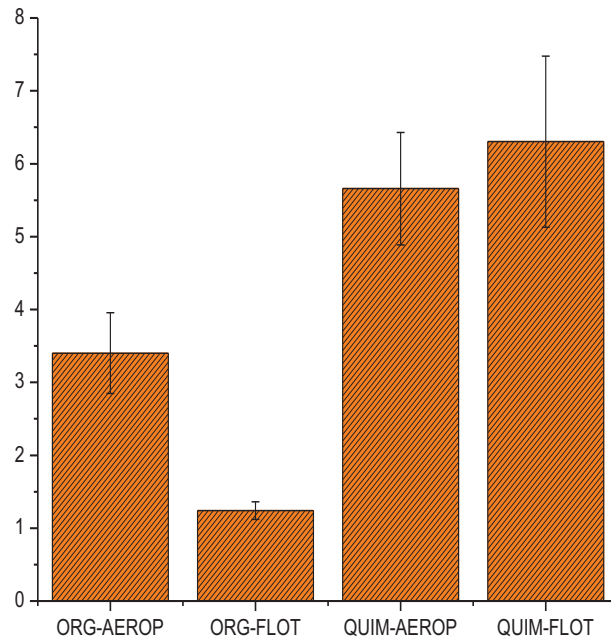


**Figura 20.** Comportamiento en el diámetro de tres tratamientos Orgánico flotante, químico flotante, suelo

### 4.3 Longitud de raíz:

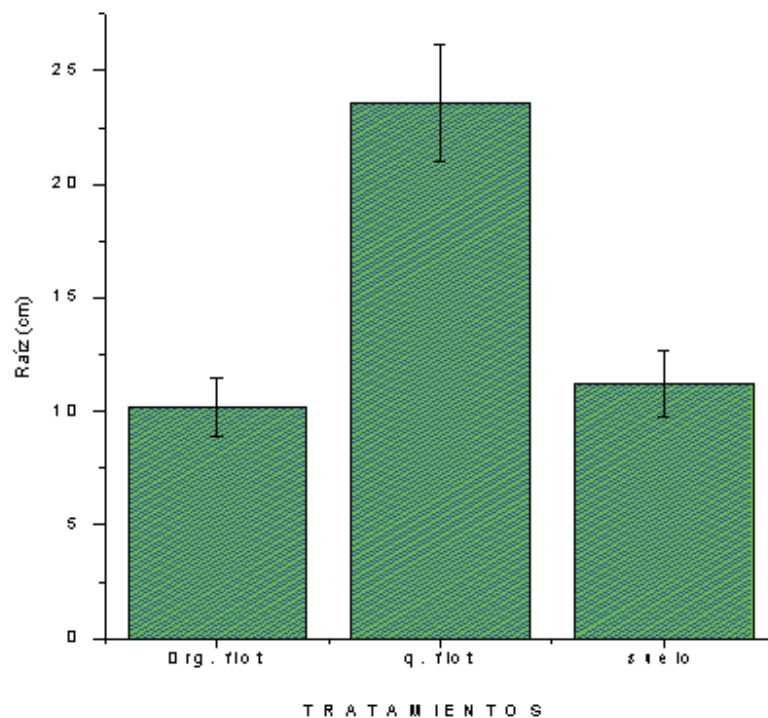
De acuerdo con la **Figura 21**. El comportamiento de longitud de la raíz en los 4 bloques experimentales. Se presento que durante el ciclo no fueron homogéneos los bloques experimentales. Gráficamente se muestra que el sistema químico flotante obtuvo mayor longitud de raíz promedio comparado con los demás sistemas, a su vez se nota que el sistema químico aeropónico fue similar, a diferencia con el sistema orgánico flotante se observa un crecimiento menor debido a no tener una adecuada oxigenación y una precipitación en la solución nutritiva.





**Figura 21.** Desarrollo de la longitud de raíz en los 4 sistemas hidropónicos Camas flotantes y aeroponía.

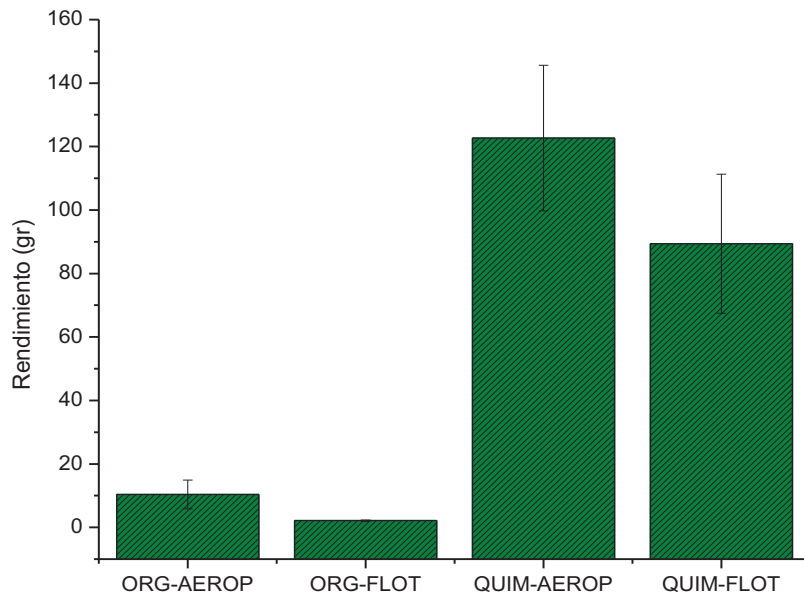
De acuerdo con la **Figura 22**. Se presenta el desarrollo obtenido en cada uno de los tratamientos, se encontró que el sistema químico flotante, tiene una gran diferencia significativa con una media de 23.6125cm respecto a los otros dos tratamientos debido a que la raíz está en contacto con el agua, y estadísticamente iguales el tratamiento orgánico flotante, con una media de 10.2cm, y el tratamiento en suelo con una media de 11.19cm, teniendo este último una pequeña área húmeda, al regarse con un sistema por goteo, siendo el predominante el sistema químico flotante.



**Figura 22.** Desarrollo de la longitud de raíz en Camas flotantes y en suelo.

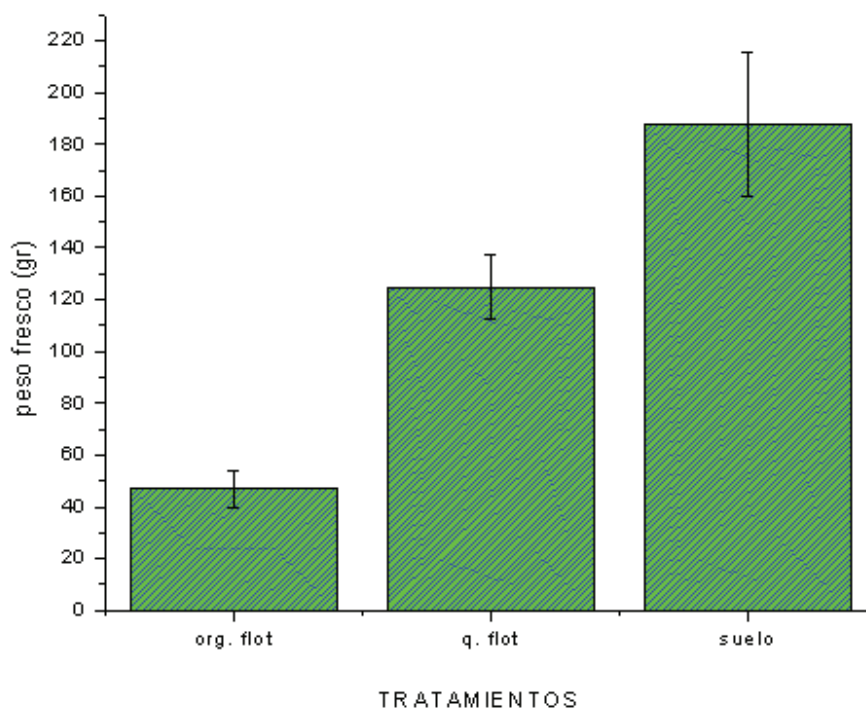
#### 4.4 Peso de las lechugas:

De acuerdo con la **Figura 23**. Se observa el promedio en peso de los 4 bloques experimentales. Plantas seleccionadas al azar durante su ciclo. El crecimiento de los sistemas fue diferente durante todo el ciclo debido a diferentes factores como las condiciones clima, por consecuencia se ve reflejado en el rendimiento de la lechuga, dando como resultado que el sistema químico aeropónico tiene concentrada la mayor cantidad de plantas con pesos de hasta 120grs, así mismo el sistema químico flotante tiene un rango menor en peso, siendo totalmente el sistema orgánico flotante, y el orgánico aeropónico los que obtuvieron el menor rendimiento debido a mezclar un fertilizante orgánico mega plus (con nano encapsulados) y Carbo\_vit ( Humus liquido mas aminoácidos y péptidos) en la solución nutritiva obstruyendo su desarrollo optimo y alimentación de la planta provocando lechugas muy pequeñas que no alcanzaron a desarrollar completamente,



**Figura 23.** Comportamiento en el peso fresco de lechuga en los 4 sistemas hidropónicos Camas flotantes y aeroponía.

De acuerdo con la **Figura 24.** Se muestra gráficamente el rendimiento obtenido en este cultivo de lechuga, De acuerdo a los resultados de cada tratamiento y repetición se les hizo la prueba de Tukey con una significancia de  $P < 0.05$ . Dicha prueba nos representa que durante el ciclo no fueron homogéneos los bloques experimentales. Dando como resultado que el sistema que obtuvo un mayor peso promedio en gramos con una media de 187grs fue en suelo, debido a su precocidad y a su nutrición y con un sustrato rico en materia orgánica, se observó que el tratamiento químico flotante mostro un menor rendimiento con una media de 124.9grs, esto indica que se obtuvieron lechugas muy pequeñas que no alcanzaron a desarrollar completamente, siendo el tratamiento flotante orgánico el que reporto el menor rendimiento en el cultivo por lo antes mencionado.



**Figura 24.** Comportamiento en el peso fresco de lechuga en camas flotantes y en suelo.

## CONCLUSIÓN

El peso promedio obtenido en dos sistemas hidropónicos fue de 200 gramos aproximadamente, esto indica que se obtuvieron lechugas muy pequeñas que no alcanzaron a desarrollar completamente.

El cultivo de lechuga en el sistema aeropónico obtuvo un rendimiento menor, en calidad peso y tamaño, comparado con el sistema en camas flotantes con un rendimiento promedio de 100grs.

La fertilización química presento un mejor efecto significativo en los sistemas flotantes y aeropónicos, sin embargo la fertilización orgánica reflejo un menor rendimiento y calidad de un cultivo de lechuga en los dos sistemas hidropónicos.

La fertilización orgánica no tiene efecto en el rendimiento del cultivo, si no se suministran adecuadamente en las cantidades requeridas los demás elementos.

La longitud de raíz, altura, diámetro y peso fresco, se vieron afectados por la fertilización orgánica al no suministran adecuadamente en las cantidades requeridas. Provocando la capacidad para asimilar una mayor cantidad de nutrientes y con ello mayor ganancia de peso, área foliar y calidad como sabor y turgencia

## **RECOMENDACIONES**

Tratar de que no haya ningún cultivo dentro del mismo sitio donde se está llevando la investigación y más si se trata de un cultivo contaminado de plagas o enfermedades, ya que puede causar daños en la calidad de las lechugas.

Se debe tener una fuente alterna de energía para prevenir cualquier problema que se pueda presentar durante en cultivo. La energía eléctrica es indispensable en este tipo de sistemas y prácticamente todo es automatizado si se desea obtener un buen resultado en sistemas aeropónicos

Que las condiciones climáticas sean las mismas para el cultivo.

Como consecuencia al no tener una fuente alterna de energía los sistemas aeropónicos químico flotante y aeropónico flotante se tuvieron serios problemas debido a fallas continuas en la energía eléctrica, propiciando así tener serios problemas de estrés hídrico en las lechugas, junto con las altas temperaturas hasta de 35 °C; incluso varias de ellas murieron afectando así su desarrollo y rendimiento.

## SUGERENCIAS

No es rentable utilizar este tipo de sistemas en poca escala debido al alto costo de producción (Energía eléctrica).

Se opto por utilizar sistemas flotantes (químico y orgánico) y un patrón en suelo, aumentando nuestro rendimiento, no obstante el patrón en suelo resulto tener el mayor rendimiento y calidad utilizando solución nutritiva standar para pepino, como otra alternativa al no ser muy exigente en suelo. Y aprovechar el resto de la solución utilizada en un cultivo de pepino.

Se pueden utilizar productos químicos y orgánicos en sistemas hidropónicos, siempre y cuando se tenga el conocimiento y cuidado suficiente para suministrarlos adecuadamente en las cantidades requeridas.

## GLOSARIO DE TERMINOLOGÍAS

**Aminoácidos:** Molécula orgánica que contiene los grupos amino y carboxilo. Son los monómeros de las proteínas. De su diversidad como del enorme número de combinaciones y longitudes resulta la enorme variedad de proteínas existentes.

**Fertilizante:** Es cualquier material orgánico o inorgánico, natural o sintético, que se adiciona al suelo con la finalidad de suplir en determinados elementos esenciales para el crecimiento de las plantas.

**Fertilización:** Aplicación de fertilizantes minerales u orgánicos a los cultivos. Cantidades de fertilizantes aplicados a un cultivo.

**Fertilizante foliar:** Abono cuyos elementos nutritivos se destinan a ser aplicados en solución diluida (normalmente por pulverización) a la masa foliar del cultivo.

**Fertilizante soluble:** Denominación convencional aplicable a los fertilizantes cuya alta solubilidad en agua permite usarlos en fertirrigación (riego fertilizante).

**Humus:** Materia orgánica bien descompuesta. Es una sustancia orgánica compleja de color café oscuro o negra, cuya composición exacta no se conoce. Constituye de 1/5 a 1/2 de la materia orgánica de la turba, compost, mantillo y estiércoles descompuestos de animales. La importancia del humus en el desarrollo de las plantas se debe principalmente a su elevada capacidad amortiguadora en una considerable variación de pH. Tiende a estabilizar la estructura del suelo, retiene una enorme cantidad de agua y tiene una elevada capacidad de intercambio de bases.

**Peat moss:** Es un sustrato de cultivo a base de turba de sphagnum de granulación fina, especialmente concebido para la germinación de las semillas y el crecimiento de las plántulas en semilleros.

**pH (Concentración de iones de hidrogeno):** El valor de pH o concentración de iones de hidrógeno de cualquier solución, suelo o compuesto, es simplemente un número que denota su grado de acidez o alcalinidad. Una solución neutra tiene un valor de pH 7,0; valores superiores a 7,0 indica alcalinidad, e inferiores a 7,0 indica acidez en escala logarítmica.

**Ppm (Partes por millón):** Unidades de peso de determinado elemento o sustancia, por un millón de unidades de peso de suelo. En el caso de líquidos, una unidad de peso del soluto en un millón de partes en peso de la solución.

**Quelatos:** Son compuestos orgánicos en forma de anillo, en los cuales los metales polivalentes como hierro, cobre, manganeso y cinc, se mantienen entre dos o más átomos en forma soluble, es decir, asimilable para las plantas.

**Solución nutritiva:** Sistema por el cual los elementos nutritivos se aportan en disoluciones a ciertos cultivos generalmente forzados o en intervalos

## REFERENCIAS

Alvarado, Chaves, F. y Anna, K. 2001. Seminario de Agronegocios: Lechugas hidropónicas. Universidad del Pacífico.  
<<http://www.upbusiness.net/upbusiness/docs/mercados/11>.

Barak, P., *et al.*, (1996). "Measurement of short-term nutrient uptake rates in cranberry by Aeroponics". *Plant, Cell and Environment*. 19: pp 237-242. University of Wisconsin-Madison.

Brian E. Whipker, Todd J. Cavins and William C. Fonteno, 2001. "1, 2, 3's PourThru", Florex.005, North Carolina State University.

Carrasco (1996). La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante ("NFT"). Talca, Chile. Universidad de Talca. pp105

Castañeda *et al.*, 2007. Citado por Cesar Leopoldo Ruiz Lévano, Fernando del Toro Sáltelo efecto del ethrel en la fisiología postcosecha del melón cultivado en hidroponía bajo condiciones de invernadero en Chapingo Mex.

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.

Cuauhtémoc Jaques Hernández *et al.* 2005. "Valoración productiva de lechuga hidropónica con la técnica de película de nutrientes (NFT)" Reynosa, Tamaulipas. Mex.

Dirección de ciencia y Tecnología Agropecuaria (dicta, 2000) innovación tecnológica. Guía de producción de lechuga: sistema raíz flotante.

<[http://www.sag.gob.hn/dicta/paginas/lechuga\\_hidroponica.htm](http://www.sag.gob.hn/dicta/paginas/lechuga_hidroponica.htm)>

Durán J (2000). El proyecto Aeroponía. Aeroponic Research.

<<http://www.aeroponic.it/esp/progetto.htm>>.

Durán, José M., *et al.* (2000). "los cultivos sin suelo: de la hidroponía a la aeroponía (i)". Vida Rural.: Universidad Politécnica de Madrid.



Frantz, J.M *et.al.* (2001). *wethoughtweknew how togrowlettuce: exploringthelimitsofcropproductivity*. Utah State University.

Giaconi, V.1995. Cultivo de Hortalizas. Undécima edición. Editorial Universitaria Santiago, Chile.337pp

Hayden, Anita l., *et al.* (2004). “Aeroponic cultivation of ginger (*zingiber officinale*) rhizomes”. *Acta hort.*: University of Arizona.

Ing. José Luis Miguel Hernández, 2010. “Cultivo de lechuga en hidroponía bajo invernadero” Chapingo, Mex. Enero del 2010

Jensen, Merle h. (1980). “Tomorrow's agriculture today”.*amer. veg. grower*28 (3): pp 16 - 19, 62, 63. University of Arizona.

José m, Cuaristo Martinez, Luis M. Navas, 2000. Los cultivos sin suelo de la hidroponía ala Aeroponía, departamento de producción vegetal. Fitotecnia, Universidad Politécnica de Madrid.

López, h. 1992. Principios básicos de la postcosecha de frutas y hortalizas. Santiago, FAO. 306p.

Maroto, J., Miguel. Baixauli, C. 2000. La lechuga y la escarola. Madrid, Mundi- prensa. 242p.

Marulanda .1992.La hidroponía popular. Investigación y progreso Agropecuario la platina (Chile) (72): 3-11.

Nava, Salvador. 1992. Producción intensiva de lechuga (*Lactuca Sativa*. L.) en hidroponía bajo invernadero. Universidad Autónoma de Chapingo: pp 4-11.

Pagliarulo, Christopher I., *et al.* 2001. Potential for greenhouse aeroponic cultivation of medicinal root crop. University of Arizona.

Quin I., J. he & S.K. Lee .2002 .Of lettuce (*Lactuca Sativa L.*) Growth to reciprocal root-zone temperature (rzt) transfer at different gorwth stage. Journal of horticultural science & biotechnology . 77 (6) 683-690.

Revista FAVE, 2005 Facultad de Ciencias Agrarias (UNR). Proyecto Hortícola Rosario. Manuscrito recibido el 29 de setiembre de 2005 y aceptado para su publicación el 27 de febrero de 2006

Resh, Howard M. 2001. Cultivos hidropónicos. España: Ediciones Mundi-prensa.

Ritter, E. *et al.* 2001. “Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers”. Potato research: España: instituto vasco de investigación y desarrollo agrario.

Sádaba, Salomón, *et al.*, 2008. “Cultivo hidropónico de lechuga”. Navarra Agraria: España: Fundación instituto técnico y de gestión agrícola.

Sánchez, F.2004. Conferencia de hidroponía: problemática agrícola de México. Universidad Autónoma de Chapingo.

Santich, Robert. 2004. “Lettuce- Fromwildweedtofunctionalfood”. *Hydroponics*. issue 78: sept-oct. Australia.

Sheikh, B. A.2006. Hydroponics: key to sustain agriculture in water stressed and urban environment. Sindh Agriculture University. Pakistan:

Toit, L.J., HG.W. Kirby y W.L.2002.Evaluation of an Aeroponics System to screen maize genotypes for resistance to fusarium graminearum seedling blight.”(*evaluación de un sistema aeropónico de un tamiz de genotipos del maíz y su resistencia a la plaga fusarium graminearum*)

Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe .FAO, 2000. Cuadernos de hidroponía escolar. FAO\_rlc (on line).

Urrestarazu, Miguel. 2004. Tratado de cultivos sin suelo. Ediciones Mundi-prensa. España.

<<http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/prodveg/hidro.htm>>.

## ANEXOS

### Fotografías durante el experimento.



Figura 25. Fotografías durante el experimento.

## Sensores utilizados

También se midió la temperatura del aire, humedad relativa y radiación solar global utilizando un datalogger y sensores marca Watch Dog. Estas variables serán medidas a cada cinco minutos como se muestra en la **Figura 28**.



**Figura 26.** Sensores marca Watch Dog

**Cuadros de la prueba de Tukey con una significancia de  $P < 0.05$ .**

Tukey Test									
		MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
2	1	14.90714	0.77393	27.23986	0	0.05	1	12.98823	16.82604
3	1	17.4219	0.77393	31.8351	0	0.05	1	15.50299	19.34081
3	2	2.51476	0.77393	4.59523	0.00841	0.05	1	0.59585	4.43367

Sig equals 1 indicates that the means difference is significant at the 0.05 level.

Sig equals 0 indicates that the means difference is not significant at the 0.05 level.

**Cuadro 8.** Prueba de tukey longitud altura.(Figura 19)

Tukey Test

	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
2 1	13.1375	0.61132	30.39179	0	0.05	1	11.62177	14.6532
3 1	9.8025	0.61132	22.67673	0	0.05	1	8.28677	11.3182
3 2	-3.335	0.61132	7.71506	2.60891E-5	0.05	1	-4.85073	-1.8192

Sig equals 1 indicates that the means difference is significant at the 0.05 level.

Sig equals 0 indicates that the means difference is not significant at the 0.05 level.

**Cuadro 9.** Prueba de tukey longitud diametro. (Figura 20)

Tukey Test

	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
2 1	13.4125	0.829	22.88084	0	0.05	1	11.35707	15.46793
3 1	0.99	0.829	1.68887	0.46673	0.05	0	-1.06543	3.04543
3 2	-12.4225	0.829	21.19196	0	0.05	1	-14.47793	-10.36707

Sig equals 1 indicates that the means difference is significant at the 0.05 level.

Sig equals 0 indicates that the means difference is not significant at the 0.05 level.

**Cuadro 10.** Prueba de tukey longitud raiz. (Figura 22)

Tukey Test

	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
2 1	77.8	8.07415	13.62693	0	0.05	1	57.78082	97.81918
3 1	140.6	8.07415	24.62655	0	0.05	1	120.58082	160.61918
3 2	62.8	8.07415	10.99963	3.1034E-8	0.05	1	42.78082	82.81918

Sig equals 1 indicates that the means difference is significant at the 0.05 level.

Sig equals 0 indicates that the means difference is not significant at the 0.05 level.

**Cuadro 11.** Prueba de tukey rendimiento en peso fresco. (Figura 25)

Variable	Orgánico. Flotante	Químico. Flotante	suelo
Peso fresco	47.1	124.9	187.7
Raíz	10.2	23.6125	11.19
Diámetro	7.8875	21.025	17.69
altura	9.4781	24.38524	26.9

**Cuadro 12.** Medias representativas de tres tratamientos  
Orgánico flotante, químico flotante, suelo