

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Evaluación de Tres Sistemas Hidropónicos con la Producción de Lechuga
(*Lactuca sativa L.*)

Por:

KEVIN CEDILLO GARCIA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre de 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Evaluación de Tres Sistemas Hidropónicos con la Producción de Lechuga
(*Lactuca sativa* L.)

Por:


KEVIN CEDILLO GARCIA

TESIS

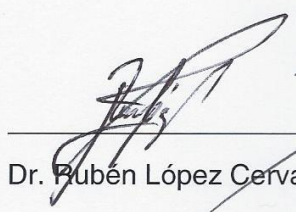
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. José Antonio González Fuentes

Asesor Principal


Dr. Rubén López Cervantes

Coasesor


M.C. Alfonso Rojas Duarte

Coasesor


Dr. Gabriel Gallegos Morales

Coordinador de la División de Agronomía

División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre de 2017

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi **ALMA TERRA MATER**, por haberme aceptado formar parte de ella y brindarme los conocimientos y herramientas para formarme en un ser profesionalista, gracias a cada docente que hizo parte de este proceso integral de formación.

A mi Asesor de Tesis el **Dr. José Antonio González Fuentes** por haberme brindado la oportunidad de realizar este trabajo de investigación y guiarme durante su desarrollo.

A mis Coasesores de Tesis

Al Dr. Rubén López Cervantes y al M.C. Alfonso Rojas Duarte por su apoyo y tiempo que me brindaron para poder culminar este trabajo.

DEDICATORIAS

A **mis padres Porfirio y Xóchitl** por su amor, consejos, comprensión y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia y el coraje para conseguir mis objetivos.

A **mis hermanos Enrique, Yarumi, Jenifer y Abisai** por su cariño que me han brindado.

A toda **mi familia**, que me ha apoyado y motivado durante todo este tiempo.

A **mis amigos y compañeros**, de la universidad, en especial quiero hacer mención a Alejandra Estudillo, Daniela Olaya, Alejandro Duarte, Marco Duarte, Esteban Alcocer, Moisés López, Javier Zaqueroz y Luis Ruiz, con lo que compartí grandes momentos de diversión y me llevo agradables recuerdos de ellos.

¡Buitres por Siempre!

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIAS.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	x
I.INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO GENERAL.....	4
HIPÓTESIS.....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Importancia económica del cultivo de lechuga.....	5
Origen del Cultivo.....	7
Descripción Botánica.....	7
Variedades de Lechuga.....	7
Valor Nutricional.....	8
Requerimientos Edafoclimáticos.....	10
Historia de la Hidroponía.....	11
Hidroponía.....	12
Sistemas Hidropónicos.....	13
Sistema NFT.....	13
Raíz flotante (balsas flotantes).....	13
Sistema en Sustrato Sólido.....	14
Cultivo en macetas Bentley (Bentley Containers System).....	14
Sistema de tubos verticales (hidroponía vertical).....	15
Sistema en barras y bolsas de cultivo (slabs).....	15
Sistema NGS.....	16
Sistema Aeropónico.....	16
Solución Nutritiva.....	16
Oxigenación de la Solución Nutritiva.....	17

	Pág.
Duración y cambio de la solución nutritiva	18
pH en la solución nutritiva	18
Ventajas y desventajas de los cultivos hidropónicos	18
Impacto social	20
III. MATERIALES Y METODOS.....	21
Localización del Área Experimental	21
Metodología	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
Peso fresco	27
Longitud de raíz	31
Diámetro de tallo	32
Número de hojas.....	36
Longitud de hojas.....	39
Peso seco	40
V. CONCLUSIÓN.....	43
VI. LITERATURA CITADA	44

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pagina
1.1	Producción mundial de lechuga.	6
1.2	Valor nutricional de la lechuga en 100 g de sustancia.	9
1.3	Solución Nutritiva utilizada para los sistemas hidropónicos.	25
1.4	Descripción de los tratamientos.	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1.1	Plántula de lechuga tipo orejona variedad Parris Island.	21
1.2	Sistema de producción hidropónica en bolis de fibra de coco.	23
1.3	Sistema de producción hidropónica NFT (Nutrient Film Technique).	23
1.4	Sistema de producción hidropónica en balsas flotantes.	24
2.1	Peso fresco de la lechuga var. Parris Island, en tres sistemas hidropónicos.	27
2.2	Relación entre en número de hojas y el peso fresco en el sistema hidropónico Bolis de fibra de coco.	29
2.3	Relación entre en número de hojas y el peso fresco en el sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique).	30
2.4	Relación entre en número de hojas y el peso fresco en el sistema hidropónico de Balsas o raíz flotante.	30
3.1	Longitud radicular de la lechuga var. Parris Island, en tres sistemas hidropónicos.	31
3.2	Diámetro del tallo de la lechuga var. Parris Island, en tres sistemas hidropónicos.	33
3.3	Relación entre el diámetro del tallo y la longitud de raíz en el sistema hidropónico Bolis de fibra de coco.	34
3.4	Relación entre el diámetro del tallo y la longitud de raíz en el sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique).	34
4.1	Relación entre el diámetro del tallo y la longitud de raíz en el sistema hidropónico de Balsas o raíz flotante.	35

4.2	Número de hojas de la lechuga var. Parris Island, en tres sistemas hidropónicos.	36
4.3	Relación entre el número de hojas y el diámetro del tallo en el sistema hidropónico Bolis de fibra de coco.	37
4.4	Relación entre el número de hojas y el diámetro del tallo en el sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique).	38
5.1	Relación entre el número de hojas y el diámetro del tallo en el sistema hidropónico de Balsas o raíz flotante.	38
5.2	Longitud de hojas de la lechuga var. Parris Island, en tres sistemas hidropónicos.	39
5.3	Peso seco de la lechuga var. Parris Island, en tres sistemas hidropónicos.	40
5.4	Relación entre el peso fresco y el peso seco en el sistema hidropónico Bolis de fibra de coco.	41
6.1	Relación entre el peso fresco y el peso seco en el sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique).	42
6.2	Relación entre el peso fresco y el peso seco en el sistema hidropónico de Balsas o raíz flotante.	42

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluaron tres sistemas hidropónicos con la producción de lechuga var. "Parris Island". Los sistemas hidropónicos utilizados para el desarrollo de esta investigación fueron: Bolis de fibra de coco, NFT (Nutrient Film Technique) y el sistema de Balsas o raíz flotante. Se utilizó una solución nutritiva Steiner al 100%, para todos los sistemas. El experimento se estableció en un diseño de bloques completos al azar, con la finalidad de evaluar los tres tratamientos generados por un arreglo factorial (3)(1)(1), es decir tres sistemas hidropónicos, una solución nutritiva, una variedad y cuatro repeticiones. Se evaluaron 6 variables en la planta de lechuga, las cuales fueron: peso fresco, longitud de raíz, diámetro del tallo, número de hojas, longitud de hojas y peso seco de la planta. La unidad experimental fue de 20 plantas evaluadas por sistema hidropónico. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias fue de acuerdo a la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$) utilizando el programa Statistical Analysis Systems (SAS) versión 9.0. Con el sistema hidropónico de bolis de fibra de coco, la lechuga presentó superior peso fresco, peso seco y diámetro del tallo; mientras que, en el sistema NFT (Nutrient Film Technique) se incrementó la longitud de raíz y el número de hojas y en los tres sistemas, la longitud de hojas no presento variación.

Palabras claves: Bolis de fibra de coco, NFT (Nutrient Film Technique), Balsas flotantes, Hidroponía, Lechuga.

I.INTRODUCCIÓN

El sector hortícola representa una actividad importante en México (Macías, 2010). México se encuentra entre los principales productores y exportadores de hortalizas en el mundo, se ubica en el cuarto lugar a nivel mundial y el primero en el continente (Financiera Rural, 2008). En promedio se obtienen 9.74 millones de toneladas de hortalizas anuales en una superficie sembrada de 563.63 miles de hectáreas y con un valor comercial de 36,909.88 millones de pesos anuales (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación - Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2010).

La lechuga es una de las hortalizas más cultivadas en todo el mundo con una producción mundial de 24.9 millones de toneladas donde más de la mitad se obtiene en los huertos chinos. México ocupa el noveno lugar a nivel mundial con 381,127 toneladas aportando el 1.5 por ciento del volumen total, con un rendimiento de 21.6 ton/ha; las principales entidades productoras son, Guanajuato con 112,922 ton, Zacatecas con 76,285 ton, Puebla con 65,436 ton, Aguascalientes con 52,325 ton y Querétaro con 27,554 ton. Estados Unidos es el principal comprador de lechuga mexicana: anualmente adquiere 136 mil toneladas (SAGARPA-SIAP, 2016).

Actualmente la agricultura convencional practicada en México está llegando al límite de sus posibilidades, debido a las restricciones en el uso del suelo; así mismo, la escasez continua del recurso hídrico y el nulo aumento de rendimiento por unidad de superficie provoca que haya poca tierra para incrementar la producción agrícola bajo la tradicional forma de cultivo que ha imperado por años en el país. Además, existe una población en continuo crecimiento cuyas necesidades alimentarias es importante satisfacer; por consecuencia, urge renovar los modelos y estándares de producción en México que es un país en desarrollo (Sánchez, 2010).

Los cultivos sin suelo o cultivos hidropónicos, surgen como una alternativa a la agricultura tradicional, cuyo principal objetivo es eliminar o disminuir los factores limitantes del crecimiento vegetal asociados a las características del suelo, sustituyéndolo por otros soportes de cultivo y aplicando técnicas de fertilización alternativas (Agrocom, 2012); incluso, en estos sistemas puede o no usarse un sustrato como soporte de las plantas (Urrestarazu, 2004). Con un sistema hidropónico, se puede favorecer el ambiente en que se desarrolla la raíz de las plantas y al mismo tiempo se minimizan los problemas que ocasiona un suelo, tales como la incidencia de plagas y enfermedades (Takahashi, 1984; Van, 2009) y cambios desfavorables en sus propiedades físico-químicas (Tüzel *et al.*, 2009).

Además, consiste en cultivar plantas utilizando como medio de cultivo una solución nutritiva, la cual contiene los nutrientes que las plantas requieren para su normal crecimiento y desarrollo; no obstante, en Latinoamérica el término hidroponía se utiliza también para referirse a los cultivos en sustratos sólidos como la perlita, fibra de coco, tezontle, etc. (Resh, 2001).

En lo que respecta a la hidroponía, hablando netamente de cultivos en agua, existen varios sistemas de producción como: Técnica de Flujo Laminar de Nutrientes (NFT), Camas profundas con mesas flotantes, nuevo sistema de cultivo (NGS); entre otros, que son derivadas de las antes mencionadas. Una de las técnicas más usadas a nivel mundial, es el NFT para el cultivo de hortalizas como la fresa, tomate, lechuga, pepino, pimiento, yerbas de olor, entre otras (Intagri, 2015).

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 son altos, por la mayor densidad y elevada producción por planta, lográndose mayores cosechas por año. El sistema de raíz flotante maximiza la utilización del área de cultivo, las hortalizas aprovechables por sus hojas que con frecuencia son cultivadas de esta forma son: lechuga, acelga, albahaca, apio, etc. Principalmente, porque estos cultivos tienen la capacidad de adaptar sus raíces,

absorbiendo eficientemente el oxígeno disuelto en la solución nutritiva (Barrios Arreaga, 2004).

En la actualidad gran cantidad de los productores que llevan a cabo una agricultura convencional buscan nuevas tecnologías de producción como lo son la horticultura protegida y la hidroponía, en la búsqueda de opciones tecnológicas que permitan enfrentar sus problemas productivos, en la mayoría de los casos, se han tenido experiencias poco alentadoras, debido a la falta de información en el proceso técnico de producción, desperdiciando así las oportunidades de una mejora en su metodología de producción en algunas hortalizas. Por lo anterior, el presente proyecto de investigación, pretende generar información básica con relación a la producción de lechuga hidropónica en tres sistemas, en productores con pequeñas superficies productivas y fuertes limitantes de suelo y agua.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar tres sistemas hidropónicos, con la producción de lechuga.

HIPÓTESIS

Con el uso de al menos un sistema hidropónico, se aumenta la producción de lechuga.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia económica del cultivo de lechuga

La lechuga es una de las hortalizas de hoja más importante y su popularidad ha aumentado en forma progresiva, en el mundo, por tratarse de un producto de consumo natural, de sabor agradable y de bajo contenido calórico (Vallejo Cabrera y Estrada Salazar, 2004).

La producción de lechuga a nivel mundial es de 24.976'32 toneladas, sobre una superficie de 1.158.979 hectáreas y un rendimiento medio de 2.16 kg por metro cuadrado. De los cuales más de la mitad corresponde a China, primer productor mundial, con 13.654'57 toneladas, el 54.64 por ciento del total, con 584.459 hectáreas y un rendimiento de 2.34 kg/m². El segundo productor a nivel mundial es EE. UU. Con 3.791'14 toneladas que es un (15'17%), contando con 107.240 hectáreas y 3'54 kg/m², seguida por India con 1.097'1 toneladas (4.4%), 172.432 hectáreas y 0'64 kg/m². España figura en cuarto lugar en la producción mundial de lechuga, con 902'94 toneladas (3.6%), 33.868 hectáreas y 2'67 kg/m². La quinta posición está ocupada por Italia, que ha producido 709'37 toneladas Sobre 32.991 hectáreas, obteniendo un rendimiento medio de 2'15 kilos por metro cuadrado. México ocupa el noveno lugar en la producción mundial alcanzando una producción de 406.678 de toneladas aportando el 1.62 % (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2014).

Para el 2016 México volvió a ocupar el noveno lugar a nivel mundial con 381,127 toneladas aportando el 1.5% del volumen total, con un rendimiento de 21.6 ton/ha, las principales entidades productoras son Guanajuato con 112,922 ton; Zacatecas con 76,285 ton; Puebla con 65,436 ton; Aguascalientes con 52,325 ton; y Querétaro con 27,554 ton (SAGARPA-SIAP, 2016).

Cuadro 1.1. Producción mundial de lechuga

País	Puesto	Toneladas	Hectáreas	Kg/m2
China	1	13.654.570	584.459	2.34
EE. UU	2	3.971.140	107.240	3.54
India	3	1.097.102	172.432	0.64
España	4	902.941	33.868	2.67
Italia	5	709.373	32.991	2.15
Japón	6	577.800	21.300	2.71
Turquía	7	451.485	19.100	2.36
Irán	8	407.616	12.606	3.23
México	9	406.678	18.974	2.14
Alemania	10	341.505	14.061	2.43
Francia	11	297.111	10.732	2.77
Iraq	12	138.337	6.921	2.00
Reino Unido	13	135.300	6.381	2.12
Australia	14	122.589	7.925	1.55
Egipto	15	113.185	4.541	2.49
Corea del sur	16	108.732	4.029	2.70
Canadá	17	100.880	4.369	2.31
Níger	18	90.227	4.078	2.21
Chile	19	89.544	6.674	1.34
Holanda	20	89.000	3.500	2.54
Otros		1.351.202	82.798	1.63
Total		24.976.317	1.158.979	2.16

Fuente: (FAOSTAT, 2014)

Origen del Cultivo

La lechuga como cultivo se originó probablemente en la cuenca mediterránea, una prueba evidente de la existencia de una forma primitiva de lechuga, casi silvestre a partir de la lechuga silvestre *Lactuca serriola* L., comúnmente llamada lechuga espinosa. Los primeros informes escritos mencionan que la lechuga aparecía en las mesas reales de Persia en el año 550 (a. C) posteriormente fue descrita por autores griegos como Hipócrates, quien en el año 430 (a. C). Le atribuyo propiedades medicinales; Aristóteles en el año 356 (a. C) y Galeano quien en el año 164 después de J. C describió como una hortaliza popular. La lechuga fue popular en la antigua roma y se cultivaron varias formas. (Davis, et al., 2002)

Descripción Botánica

Es una planta anual y autógama (se autopolinizan). Perteneciente a la familia *compositae* y cuyo nombre botánico es *Lactuca sativa* L (Servicio Insular Agrario, 2012). Vallejo y Estrada (2004), dicen que posee una raíz, que no llega nunca a sobrepasar los 25 cm de profundidad, es pivotante, corta y con ramificaciones. Las hojas están colocadas en roseta, desplegadas al principio en unos casos siguen así durante todo su desarrollo (variedades romanas) y en otros se acogollan más tarde. El borde de los limbos puede ser liso ondulado o aserrado. El tallo es cilíndrico y ramificado. Su inflorescencia son capítulos florales amarillos dispuestos en racimos o corimbos y las semillas están provistas de un vilano plumoso.

Variedades de Lechuga

Botánicamente, en *Lactuca Sativa* L. se distinguen cuatro variedades botánicas: (Maroto Borrego, 2000)

Lactuca Sativa var *longifolia* Lam: Son aquellas lechugas que se aprovechan por sus hojas, estas forman un verdadero cogollo, que tiene una forma generalmente aovada u oblonga, por la adaptación a una estación

determinada se pueden clasificar lechugas de invierno (Romana Larga Encarnada, Romana Larga Verde, Gorrión, Inverna, Valladolid, etc), y lechugas de primavera verano (Tres Ojos Verde, Tres Ojos blanca, Romea, Rubia de Verano, etc.).

Lactuca Sativa var inybarcea Hort: Son aquellas que poseen hojas sueltas y dispersas.

Lactuca Sativa var augustana Irish: Estas lechugas se caracterizan por que la parte comestible es el tallo, sus hojas son puntiagudas y lanceoladas.

Lactuca Sativa var capitata Lam: Se caracterizan por formar un cogollo apretado de hojas. La forma de sus hojas suele ser ancha, orbicular (lechugas acogolladas), por la consistencia de sus hojas se pueden dividir en dos grupos las de hoja consistente (Garavan, Salinas, Halcon, Padrina, Montemar, Batavia, Astral, etc), y las de hoja mantequilla (Trocadero, Ravel, Corine, Elsa, Reina de Mayo, Clarion, Mirena, Aprilia, etc.).

El modo de crecimiento de la lechuga determina su clasificación en tres grupos principales. Lechugas que forman cabezas apretadas, firmes, que se conocen como lechugas arrepolladas o repolludas (Crisp Head). Lechugas que forman una cabeza, no tan firme, suelta, que se conocen como tipo mantequilla (Butter Head) o lisa, con hojas serosas. Lechugas que forman un manojo de hojas semiabierto, de hoja alargada, denominadas cos o romanas y existen lechugas de hojas sueltas, que no forman cabeza, conocidas como lechugas foliares (Alzate & Loaiza, 2010).

Valor Nutricional

La lechuga es un producto que tiene un alto contenido en agua y además posee un bajo valor energético, por lo que se puede utilizar en dietas hipocalóricas. Es rica en antioxidantes como la vitamina A, C, E, B1, B2, B3 y 10 minerales (fósforo, hierro, calcio, potasio). Las hojas de la lechuga tienen

propiedades diuréticas, ya que estimulan la eliminación de líquidos desde el organismo. Este producto ayuda a mejorar la circulación sanguínea y además ayuda a reducir los niveles de colesterol en la sangre. El ácido fólico que aporta la lechuga contribuye a tratar o prevenir anemias. Tiene efectos tranquilizantes, por lo tanto, calma los nervios y controla los problemas de insomnio (Servicio Insular Agrario, 2012).

El aporte de calorías de esta hortaliza es muy bajo, mientras que en vitamina C es muy rica; las hojas exteriores tienen más cantidad de esta vitamina que las interiores. También resulta una fuente importante de vitamina K; por lo tanto, protege de la osteoporosis. Otras vitaminas que destacan en la lechuga son la A, la E y el ácido fólico. Así mismo, aporta mucho potasio y fósforo y está compuesta en un 94% de agua (Alzate & Loaiza, 2010).

Cuadro 1.2. Valor nutricional de la lechuga en 100 g de sustancia

Carbohidratos (g)	20.
Hierro (mg)	7.5
Proteínas (g)	8.4
Niacina (mg)	1.3
Lípidos (g)	1.3
Riboflavina (mg)	0.6
Calcio (g)	0.4
Tiamina (mg)	0.3
Fósforo (mg)	138.9
Vitamina A (UI)	1155
Vitamina C (mg)	125.7
Calorías (cal)	18

Fuente: (SAGARPA, 2015)

El valor nutritivo de la lechuga difiere según su variedad. La lechuga en general provee fibra, carbohidratos, proteína, y una mínima cantidad de grasa, tiene acción antioxidante, lo cual está relacionado con la prevención de enfermedades cardiovasculares e incluso cáncer (Noreña Jaramillo, *et al.*, 2016).

Requerimientos Edafoclimáticos

La temperatura de germinación de la semilla oscila entre 20 y 26 °C, con óptimas de 24 °C. Bajo estas condiciones las plántulas emergen en dos a cuatro días. (Noreña Jaramillo, *et al.*, 2016) La lechuga es un cultivo que se adapta mejor a las bajas temperaturas que a las altas, por lo cual se cultiva especialmente en las regiones templadas y subtropicales. El clima óptimo para el cultivo está en alturas entre 1.800 y 2.400 msnm, (Noreña Jaramillo, *et al.*, 2016). La temperatura óptima para su crecimiento oscila entre 18 a 23 °C, durante el día y 7 a 15 °C durante la noche, como temperatura máxima se puede considerar los 30 °C y como mínima puede soportar temperaturas de hasta – 6 °C. Tiene un requerimiento de agua relativamente alto, y la humedad relativa para su mejor desarrollo es de 60 al 80% aunque puede tolerar menos del 60% (Jaques Hernández y Hernández M, 2005).

El requerimiento de horas luz en la lechuga llega a hacer de una intensidad de 8 watt m⁻² con una duración de 14 a 15 horas luz. Este cultivo para su mejor desarrollo requiere de una humedad relativa del 60 al 80 %, aunque puede tolerar humedades menores a 60 % (Maroto Borrego, 2000).

Es una especie medianamente tolerante a la salinidad (entre 4 y 10 mmho) y a la acidez. El pH óptimo está entre 6.5 y 7.5. (Vallejo Cabrera & Estrada Salazar, 2004) Valores de pH menores de 5.5 originan un pobre desarrollo y valores por encima de 7.3 son el límite para un buen crecimiento (Noreña Jaramillo, *et al.*, 2016).

Historia de la Hidroponía

Los Jardines Colgantes de Babilonia (hacia el siglo VI a. de C.) construidos por el rey Nabucodonosor II para complacer a su esposa Amytis, son considerados hoy una de Las Siete Maravillas del Mundo y además el primer cultivo hidropónico del que la humanidad tenga conocimiento (Matos, 2011).

Asimismo, los Jardines Flotantes de China son considerados hidropónicos, al igual que los cultivos de los Antiguos Egipcios a orillas del Río Nilo realizados mediante rústicos esquemas hidropónicos (Matos, 2011).

Otro ejemplo de los orígenes de la hidroponía son los Jardines Flotantes de los Aztecas, llamados chinampas. Las chinampas eran balsas construidas con cañas y bejucos, que flotaban en el lago de Tenochtitlán (México), estas se llenaban con lodo extraído del fondo poco profundo del lago, rico en materiales orgánicos que suministra los nutrientes requeridos por las plantas; las raíces traspasaban el fondo de la balsa y extraían directamente del lago el agua necesaria para su desarrollo. Entre las chinampas había canales por los cuales fluía el agua (Matos, 2011).

La palabra Hidroponía fue sugerida por W.F. Gericke, profesor de la Universidad de California, a quien le corresponde el mérito de haber comenzado en 1938 a realizar los primeros cultivos comerciales sin suelo (Resh, 2006).

Hidroponía

La palabra Hidroponía se deriva del griego Hydro (agua) y Ponos (Labor trabajo) lo cual significa literalmente trabajo en agua. Esta definición se usa en la actualidad para describir todas las formas de cultivo sin suelo (Resh, 2006).

La palabra hidroponía significa plantar, entre otras, verduras y vegetales en agua o materiales distintos al suelo, también se le conoce como la agricultura del futuro (Alpízar, 2006).

Muchos de los métodos hidropónicos actuales emplean algún tipo de cultivo o sustrato, tales como grava, arenas, piedra pómez, aserrines, arcillas, carbones, cascarilla de arroz, etc. A los cuales se les añade una solución nutritiva que contiene todos los elementos esenciales necesarios para el normal crecimiento y desarrollo de la planta (Resh, 2006).

El cultivo hidropónico en un principio era solamente en agua, posteriormente a éste le adicionaban elementos nutrientes (Alpízar, 2006; Resh, 2006).

La hidroponía es una ciencia joven, habiendo sido usada bajo una base comercial desde hace solamente cuarenta años; no obstante, aún en este relativamente corto periodo de tiempo, ha podido adaptarse a diversas situaciones, desde los cultivos al aire y en invernadero a lo altamente especializados en submarinos atómicos para obtener verduras frescas para la tripulación, esto es una ciencia espacial, pero al mismo tiempo pueden ser usados en países subdesarrollados del Tercer Mundo para proveer una producción intensiva de alimentos en áreas limitadas (Alpízar, 2006; Resh, 2006).

Sistemas Hidropónicos

Existen diferentes sistemas de cultivo sin suelo (hidroponía), de los cuales se derivan en tres clasificaciones todo depende del ambiente en el que se desarrollan las raíces. Son sistemas que por excelencia la raíz está en contacto directo con la solución nutritiva, algunos sistemas hidropónicos se pueden definir conforme el material utilizado dependiendo del cultivo (Montero *et al.*, 2006).

Sistema NFT

El sistema de recirculación de solución nutritiva NFT (Nutrient Film Technique), se desarrolló en el Glasshouse Crop Research Institute, Inglaterra, en la década de los sesenta. El principio de este sistema hidropónico consiste en la circulación constante de una lámina fina de solución nutritiva que pasa a través de las raíces del cultivo, sin pérdida o salida al exterior de la solución nutritiva, por lo que se constituye como un sistema cerrado. La densidad de plantas en el caso de cultivo de lechuga, bajo este sistema es de 22 a 24 plantas por metro cuadrado según el cultivar. El tiempo aproximado de trasplante a cosecha es de 25 a 40 días. La solución nutritiva se debe tener en un rango de conductividad de 1.5 a 2.5 mS·cm⁻² y un pH de 5.5 a 6, siendo el consumo de solución de aproximadamente 0.25 litros/planta. En este cultivo el canal es de porte bajo y con un ancho de 6 cm (Carrasco, 2004).

Raíz flotante (balsas flotantes)

El cultivo de lechuga es rentable cuando se maneja mediante un sistema de hidroponía profunda (balsas flotantes). Este sistema permite la obtención de materia prima de primera calidad, favoreciendo una reducción en la contaminación microbiológica y contenido de nitratos (Gonella *et al.*, 2003; Zanin *et al.*, 2009).

Dentro de los sistemas alternativos de producción para hortalizas de hoja bajo condiciones hidropónicas se encuentra el cultivo de lechuga en mesas flotantes o hidroponía profunda, que consiste en colocar contenedores con solución nutritiva y un soporte para las plantas, que generalmente es una placa de unicel (poliestireno expandido), la cual cubre totalmente la solución, además de tener orificios donde se colocaran las plantas, dado que la raíz de la planta está inmersa en una capa delgada de agua, la cual tiene los nutrimentos en forma disuelta para que la planta los aproveche, dicha solución debe estar continuamente en movimiento para aportar oxígeno a la raíz; sin embargo, por esta condición existe el riesgo de desarrollar problemas fitosanitarios que es necesario controlar para lo cual se utilizan mecanismos de esterilización a base de ozono y luz ultravioleta que eliminan hongos y bacterias que pueden dañar la planta a nivel de raíz (Carrasco, 2004).

Sistema en Sustrato Sólido

La solución nutritiva atraviesa el sustrato de arriba abajo, por percolación, los sustratos pueden ser orgánicos o inorgánicos. Entre los sustratos inorgánicos más utilizados y aptos para cultivos hidropónicos, se encuentran: arena, grava, piedra volcánica y ladrillo molido. En cuanto a sustratos orgánicos, se encuentran: el aserrín, la cascarilla de arroz, fibra de coco y carbón vegetal.

Es un sistema en el cual se usan sustratos sólidos los cuales sirven para brindar un balance entre los poros que retengan la solución y que los poros de mayor magnitud proporcionen oxígeno a la raíz y de soporte para la planta. Existen distintas técnicas en los cultivos en sustratos.

Cultivo en macetas Bentley (Bentley Containers System)

Esta técnica de producción hidropónica el Doctor Bentley que se publicó por primera vez en 1974 y responde a la idea de implementar métodos más

económicos en este tipo de producción hidroponía, donde se utilizan bolsas de polietileno, donde el sistema de riego se realiza con un riego por goteo.

Sistema de tubos verticales (hidroponía vertical)

Son cultivos verticales en tubos de polietileno rellenos de sustratos ligeros, de dimensiones de 0.5 a 2 metros, estos pueden ser soportados por la estructura del invernadero o realizando un soporte individualmente , el riego se realiza de la misma manera utilizando el principio del riego por goteo, este sistema puede recircular la solución nutritiva dejando drenar los tubos, este tipo de sistema se acopla perfectamente a cultivos de porte bajo, es decir, que su crecimiento sea determinado y no muy robusto, se pueden emplear para una producción decorativa y estética.

Sistema en barras y bolsas de cultivo (slabs)

Esta técnica se desarrolló en Dinamarca y Suecia, para la producción de hortalizas y plantas de ornato de alto valor comercial, en sustratos que se comercializan listos para su uso en bolsas de plástico, estos se colocan en hileras sobre canaletas donde se conduce el exceso de la solución nutritiva para poderla reutilizar donde se usa el riego a través de espaguetis.

El primer sustrato utilizados fue la lana de roca y actualmente se usa la fibra de coco y espuma fenólica entre otras, esta última ha demostrado ahorros significativos de más del 50% en el consumo de la solución nutritiva entre otros beneficios como un adelanto en la fructificación y grados Brix en la producción. (Montero *et al.*, 2006)

Sistema NGS

El sistema NGS es una modalidad de cultivo hidropónico desarrollado en 1991 caracterizado por la ausencia de sustrato; es decir se trata de un cultivo hidropónico puro, en el que las raíces se desarrollan en una disolución nutritiva recirculante (DNR) que circula por un circuito cerrado lo que permite un ahorro muy significativo de agua y fertilizantes, da este sistema un carácter ecológico y de respeto al medio ambiente. La DNR ocurre por la liberación de la solución nutritiva en el centro de dos láminas de polietileno que están colocadas en forma de “V” desde el momento que es liberada hasta que se llenan las dos láminas de polietileno y las raíces aprovechan al máximo (Durán, 2005).

Sistema Aeropónico

Este sistema por su cuenta toma ventajas en comparación que el de raíz flotante, el cual tiene la óptima aireación de la raíz (Durán, 2000). El principio básico de este sistema es hacer crecer las plantas realizando una micro aspersión creando una pulverización acuosa rica en nutrientes, la parte aérea de la planta permanece hacia arriba, las raíces están separadas de la estructura de apoyo, el entorno de las raíces se encuentra libre de plagas y enfermedades, por lo cual el desarrollo del cultivo es más favorable y eficiente por lo que no recibe alteraciones sobre su crecimiento en comparación a las desarrolladas en suelo.

Solución Nutritiva

La SN es la base de la alimentación de las plantas y para su óptimo desarrollo los nutrientes minerales se incorporan en agua. La solución más reconocida es la del Dr. Abram A. Steiner, que consiste en agua con oxígeno y los nutrimentos esenciales en forma iónica (Alpi y Tognoni, 1999; Alpizar, 2006; Barbado, 2005; Resh, 2006; Matos, 2011).

La SN debe tener seis macronutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. Estos pueden ser aportados por medio de tres sales orgánicas: nitrato cálcico, fosfato potásico y sulfato magnésico. También es necesaria la presencia de siete micronutrientes: hierro, cobre, zinc, manganeso, boro, molibdeno y cloro (Alpi y Tognoni, 1999; Alpízar, 2006; Barbado, 2005; Resh, 2006; Matos, 2011).

Comúnmente las plantas absorben estos elementos del suelo por medio de las raíces. Sin embargo, en la hidroponía no se utiliza el suelo, razón por la cual es necesario aplicar la solución nutritiva que contiene los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas (Alpi y Tognoni, 1999; Alpízar, 2006; Barbado, 2005; Resh, 2006; Matos, 2011).

La cantidad de nutrientes que requieren las plantas depende de la especie, variedad, etapa fenológica y condiciones ambientales (Alpi y Tognoni, 1999; Alpízar, 2006; Barbado, 2005; Resh, 2006; Matos, 2011).

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 como hongos y bacterias. Una raíz sana y bien oxigenada debe ser de color blanquecino e lo contrario ésta se torna oscura debido a la muerte del tejido radicular (Alpízar, 2006; Resh, 2006; Maroto, 2008).

La oxigenación de la solución nutritiva puede ser de manera manual, sin embargo es recomendable la utilización de implementos como bombas sumergibles, las cuales inyectan aire durante periodos programados en base a las necesidades del cultivo (Alpízar, 2006; Resh, 2006; Maroto, 2008).

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 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 dicho análisis (como C.E. Y pH) se recomienda un cambio total de la solución nutritiva entre las 4 o 6 semanas (Urrestarazu, 2004). En el caso del cultivo de lechuga, la etapa definitiva dura 4 semanas y no se cambia la solución nutritiva durante este tiempo (Barbado, 2005; Arcos y Narro, 2009).

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, será alcalina cuando el valor es mayor a 7 y neutra con valor a 7. La disponibilidad de nutrientes varía de acuerdo al pH de la solución, por eso es recomendable mantenerlo dentro de un rango que va de 5.5 a 6.5 (Urrestarazu, 2004; Barbado, 2005; Arcos y Narro, 2009).

Ventajas y desventajas de los cultivos hidropónicos

Los sistemas de cultivos hidropónicos como cualquier sistema de producción agrícola presentan ventajas y desventajas, las cuales a continuación se mencionan:

Ventajas:

- Los cultivos están exentos de problemas fitopatológicos relacionados con enfermedades producidas por los hongos del suelo, lo que permite reducir el empleo de sustancias desinfectantes, algunas de las cuales están siendo cada vez más cuestionadas y prohibidas.
- Reducen el costo de energía empleado en las labores relacionadas con la preparación del terreno para la siembra o plantación.

- Mayor eficiencia del agua utilizada, lo que presenta un menor consumo de agua por kilogramo de producción obtenida.
- Respecto a los cultivos establecidos sobre un suelo normal, los cultivos hidropónicos utilizan los nutrientes minerales de forma más eficiente.
- El desarrollo vegetativo y productivo de las plantas se controla as fácilmente que en los cultivos tradicionales realizados sobre un suelo normal.
- Admite la posibilidad de mecanizar y robotizar la producción.
- Permite aprovechar suelos o terrenos no adecuados para la agricultura tradicional.
- Crecimiento rápido y vigoroso de las plantas, ya que el agua, así como los nutrientes están mejor balanceados y disponibles.
- Producción intensiva y escalonada, lo que permite mayor número de cosechas por año.
- Altos rendimientos en comparación con los sistemas de producción en suelo.

(Nuez, 1999; Barrios, 2004; Barbados, 2005)

Desventajas

- El costo inicial elevado por concepto de infraestructura e instalaciones que integran el sistema.
- Elevado consumo de energía eléctrica en épocas de invierno.
- Se requiere mano de obra calificada para las diferentes etapas en el proceso de producción.
- Problemas fitosanitarios por el uso de agua de riego de mala calidad.
- Contaminación de acuíferos por manejo inadecuado de agroquímicos.
- Riesgo a la salud humana por el manejo y la aplicación inadecuada de agroquímicos.

(Nuez, 1999; Barrios, 2004; Barbados, 2005)

Impacto social

Los cultivos hidropónicos permitirán abastecer la demanda de alimentos a una población, independientemente de los cambios climáticos que puedan ocurrir y a la vez posibilita la relación entre consumidores y productores, logrando así superar las dificultades que aquejan a numerosas familias, la mayoría de las veces con necesidades básicas insatisfechas. Hoy en día la problemática económica, imposibilita el acceso de alimentos y se debe destacar que esta técnica permite cultivar en sitios y lugares no aptos, no producen ningún impacto negativo sobre el ambiente, los productos son de alta calidad, sanos y con altos rendimientos. (Dorado, 2009)

III. MATERIALES Y METODOS

Localización del Área Experimental

El presente trabajo, se llevó a cabo en un invernadero localizado en el centro comunitario de la colonia Pueblo Insurgentes con dirección en la calle Lázaro Cárdenas s/n en Saltillo, Coahuila, con coordenadas de 25°26'39'' Latitud Norte y 101°00'49'' Longitud Oeste. La zona cuenta con temperatura media anual de 19.8 °C, con una precipitación media anual de 443.5 mm, el tipo de clima es Bwhw (x') (e), es muy seco, semicálido con invierno fresco extremo, presencia de lluvia en verano superior al 10 por ciento del total anual, con una altitud aproximada de 1785 msnm. Dicho trabajo inicio en el mes de septiembre del año 2015 y culmino en noviembre del mismo.

Metodología

El material vegetal utilizado en el presente trabajo, consistió en plantas de lechuga tipo orejona de la variedad Parris Island (Figura 1.1).



Figura 1.1 Plántula de lechuga tipo orejona variedad Parris Island.

Se establecieron tres sistemas de producción hidropónica:

El primer sistema fue en Bolis de fibra de coco o también llamados placas de fibra de coco, consiste en el uso de un sustrato como soporte de la planta, en este caso fibra corta de coco, tamizado, lavado, esterilizado y empacado en forma de láminas en bolsas de polietileno (Figura 1.2). En este sistema la solución se localizaba en un tinaco con capacidad de 450 litros, la cual era conducida a través de tuberías primarias y secundarias que descargaban la solución en los bolis por medio de goteros en forma de spaguetti de manera dosificada, proporcionando el riego en la cantidad necesaria por día a la planta.

El segundo sistema fue el NFT (Nutrient Film Technique), consistió en un sistema en estructura A, en el cual la solución nutritiva se conduce por medio de una tubería de PVC de 4" pulgadas con una pendiente del 1% entre el principio y el final de la tubería, dicha solución nutritiva descargaba en un contenedor con capacidad de 100 litros, la cual volvía a recircular por el sistema con ayuda de una bomba de agua sumergible colocada dentro del contenedor (Figura 1.3). Los canales de cultivo cuentan con orificios destinados al trasplante de las lechugas, están soportados por una base de metal rígido sobre el suelo, con una separación entre ellas y sostienen fijamente los canales para evitar depresiones y con ello un estancamiento de la solución o deficiente fluidez de la misma.

Y por último el sistema en balsas flotantes que consistía en un contenedor de madera cuyas dimensiones eran de 2.70 X 1.20 m con una profundidad de 0.25 m. El cajón de madera se forro con un plástico negro, posteriormente fue llenada con la solución nutritiva, a una capacidad de 200 litros (Figura 1.4). Las plantas fueron sostenidas por placas de unicel perforadas y para proporcionar oxigenación a la raíz, se utilizaron bombas de aire de una salida.



Figura 1.2 Sistema de producción hidropónica en bolis de fibra de coco.



Figura 1.3 Sistema de producción hidropónica NFT (Nutrient Film Technique).



Figura 1.4 Sistema de producción hidropónica en balsas flotantes.

Manejo de cultivo

La plántula de lechuga se obtuvo de una casa semillera y el trasplante se realizó cuando las plántulas alcanzaron una altura promedio de 15 cm y cuatro hojas verdaderas, dicho trasplante se llevó a cabo el día 26 de septiembre del 2015. Las plántulas fueron colocadas en canastillas de plástico para hidroponía de 1 pulgada 3/4, sujetando la plántula mediante foami agrícola a la base interior de la canastilla y una tira de tela que iba del tallo hacia más allá de la raíz para proporcionarle ayuda a la planta de absorber la solución nutritiva.

Después de esto las plántulas se colocaron en cada uno de los sistemas hidropónicos, tanto en las bandejas de Poliestireno perforado del sistema en balsa flotante, como en los canales de cultivo de PVC con orificios del sistema NFT. En el caso del sistema mediante bolis el trasplante fue directo de la charola a las placas de fibra de coco.

A partir del trasplante la solución se reponía cada 7 días en cada uno de los sistemas y fue hasta llegar a cosecha que se repuso cada 3 días; Esto ocasionaba modificaciones en el pH y conductividad eléctrica, por lo que se monitoreaban mediante un potenciómetro y un conductímetro, se ajustaba el pH a 5.8 y C.E. de 1.5 ds/m.

Cuadro 1.3. Solución Nutritiva utilizada para los sistemas hidropónicos.

Macro elementos en Meq/L						CE 1.5 ds/m pH 5.8-6				
Aniones						Cationes				
	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
Solución nutritiva	6.0	0.75	1.79	-	-	0.5	3.5	-	-	-
Agua	-	-	1.46	5.45	-		-	5.2	2.25	-
Aporte	6.0	0.75	0.33	5.45	-	0.5	3.5	-	-	-

Micro elementos en ppm					
Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
0.04	0.0015	-	0.00061	0.057	0.00184

Variables evaluadas

El experimento se mantuvo durante 41 días después del trasplante. Al final del ciclo del cultivo se tomaron 5 plantas por repetición para evaluar las siguientes variables: peso fresco de la planta, longitud de raíz, diámetro del tallo, número de hojas, longitud de hojas, peso seco de la planta

El peso fresco de la planta se determinó con el apoyo de una balanza digital con sensibilidad de 0.1 g y capacidad de 5 kg.

El largo de la raíz y longitud de hojas se determinaron mediante una regla graduada en cm. El número de hojas también se evaluó contando manualmente, y el diámetro del tallo se determinó utilizando un vernier, estos datos se tomaron al momento de cosechar la planta. El peso seco de la planta fue determinado después de la cosecha, primero se colocaron las plantas individualmente en bolsas de papel estraza, después fueron llevadas al laboratorio del departamento de horticultura, donde se colocaron dentro de una estufa de secado, a una temperatura constante de 70° C.

Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento se estableció en un diseño de bloques completos al azar, con la finalidad de evaluar los tres tratamientos generados por un arreglo factorial (3)(1)(1), es decir tres sistemas hidropónicos, una solución nutritiva, una variedad y cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de 20 plantas evaluadas por sistema hidropónico. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias fue de acuerdo a la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$) utilizando el programa Statistical Analysis Systems (SAS) versión 9.0.

Cuadro 1.4. Descripción de los tratamientos

	Sistema hidropónico	Solución nutritiva	Variedad
T1	Bolis de fibra de Coco	100%	Parris Island
T2	NFT (Nutrient Film Technique)		
T3	Balsas flotantes		

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Peso fresco

En el peso fresco de la lechuga se puede reflejar la calidad de la planta, ya que es una combinación de atributos entre los que se incluyen la apariencia visual (frescura, color), textura (crujiente, firme) y sabor (gusto, olor).

De acuerdo a los resultados obtenidos, se encontraron diferencias significativas en el Peso fresco, donde la lechuga tuvo mejor respuesta en el tratamiento uno (T1= Bols de fibra de coco) superando al tratamiento dos (T2= NFT) y tres (T3= Balsas flotantes), mostrando un rendimiento mayor de 121.85 a 127.07 gramos en las plantas en comparación con el T2 y T3. Posiblemente el rendimiento en bols de fibra de coco se deba a la retención de humedad y aireación que hay a través del sustrato, mostrando este sistema abierto beneficios favorables en el peso fresco de la planta (Figura 2.1).

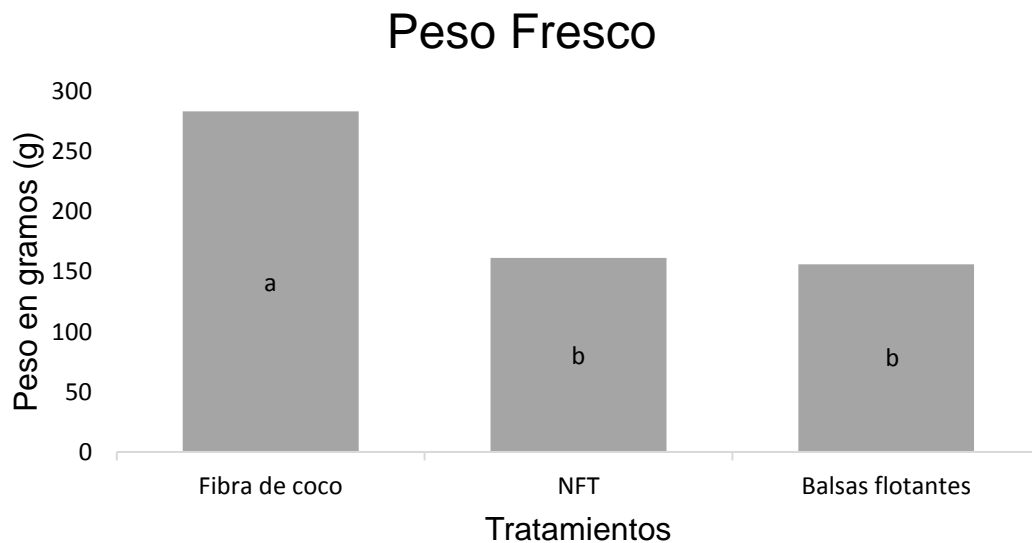


Figura 2.1. Peso fresco de la lechuga var. Parris Island, en tres sistemas hidropónicos.

Como lo menciona en su trabajo de investigación con plántulas de lechuga, Gutiérrez, *et al.*, (2011) al final del experimento (40 dds), que en la mezcla 75:25 de fibra de coco con tezontle o perlita, obtuvo los mayores resultados en las variables: Peso de la materia fresca aérea (PMFA), Peso de la materia seca aérea (PMSA), Peso de la materia fresca de la raíz (PMFR) y Peso de la materia seca de raíz (PMSR). También Guerrero, *et al.*, (2014) al final de su trabajo de investigación en lechuga hidropónica, al evaluar sustratos, en sus resultados obtuvo el mejor rendimiento por planta en la mezcla 70:30 de fibra de coco y cascarilla de arroz, el cual dio plantas con mejor desarrollo fisiológico.

Así mismo en la fibra de coco ocurre una alta capacidad de retención de humedad gravimétrica (240%) y volumétrica (98%), y un espacio poroso total de 88%. De acuerdo con (Ansorena, 1994), estas son las condiciones óptimas para el desarrollo de los cultivos.

Por otra parte, Moreno Pérez, *et al.*, (2015), al evaluar la producción de lechuga hidropónica en invernadero (39 ddt) en sus resultados, el sistema de raíz flotante presentó significativamente mayor peso fresco y seco por planta respecto a los tratamientos con y sin recirculación de la solución nutritiva en camas rellenas con sustrato de tezontle.

Sin embargo, Silber y Bar-tal (2008) mencionan que la acumulación de biomasa de las plantas crecidas en sistemas hidropónicos se atribuye a que no hay limitaciones de agua para la raíz y se mantiene más estable la concentración de nutrientes en la rizosfera, ya que los cambios en concentración ocurren lentamente por la gran cantidad de solución nutritiva presente por planta.

La siguiente gráfica nos muestra la relación entre el número de hojas y el peso fresco de la planta en el tratamiento uno (T1= Bolis de fibra de coco), la cual nos indica que entre mayor sea el número de hojas, el peso fresco incrementará (Figura 2.2).

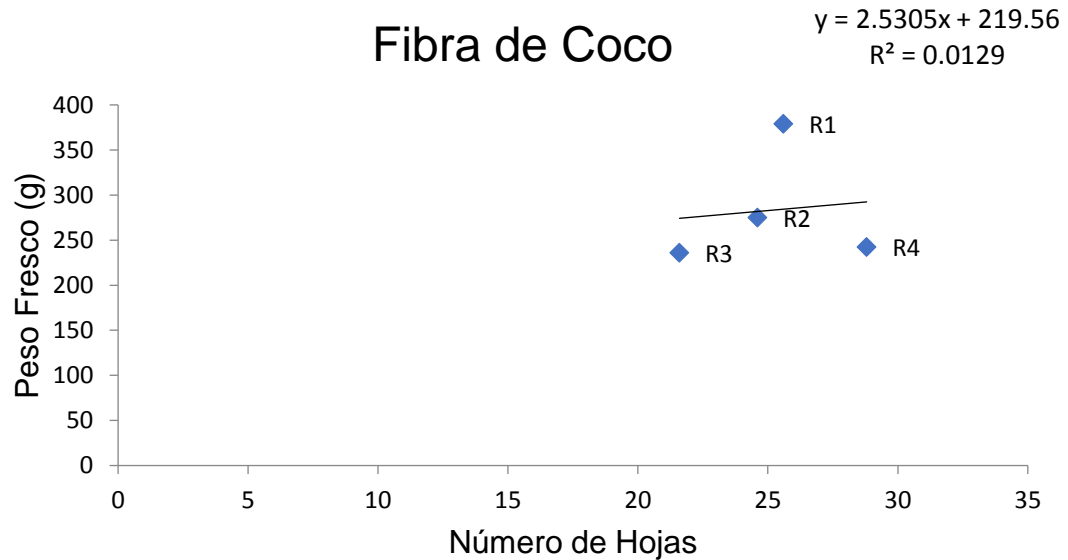


Figura 2.2. Relación entre en número de hojas y el peso fresco en el sistema hidropónico Bolis de fibra de coco.

De igual manera se muestra la relación entre el número de hojas y el peso fresco de la planta en el tratamiento dos (T2= NFT), la cual también nos indica que entre mayor sea el número de hojas, el peso fresco incrementará (Figura 2.3).

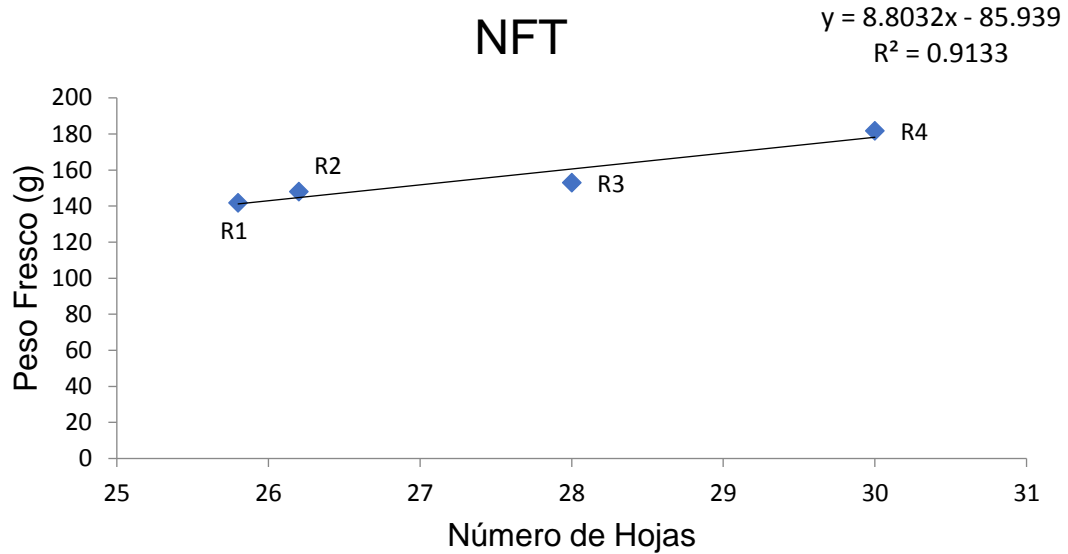


Figura 2.3. Relación entre en número de hojas y el peso fresco en el sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique).

Al igual que en las gráficas anteriores, la relación entre el número de hojas y el peso fresco de la planta en el tratamiento tres (T3= Balsas flotantes), nos indicó que entre mayor sea el número de hojas, el peso fresco incrementará (Figura 2.4).

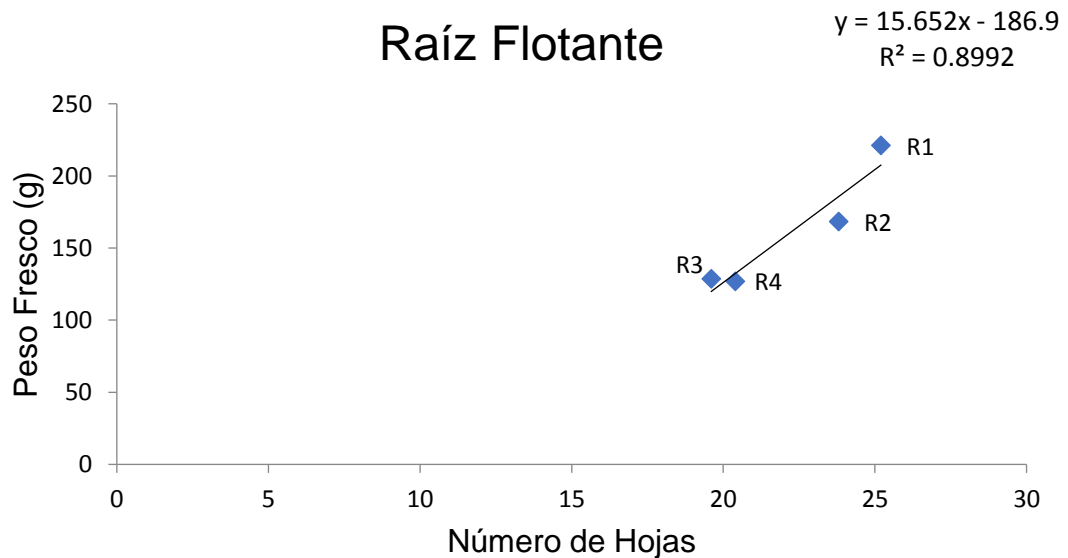


Figura 2.4. Relación entre en número de hojas y el peso fresco en el sistema hidropónico de Balsas o raíz flotante.

Longitud de raíz

La raíz es una estructura de suma importancia para las hortalizas, ya que es la encargada de suministrar agua y nutrientes a la planta que luego servirán para la fotosíntesis y generación de energía para su supervivencia.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la lechuga en el tratamiento dos (T2=NFT) mostro mayor efecto significativo en la variable Longitud de raíz, superando al tratamiento tres (T3= Balsas flotantes) con una diferencia de 31.90 cm en la longitud de raíz de las plantas. En el tratamiento uno (T1= Bolis de fibra de coco) se obtuvo un resultado inferior a comparación con el tratamiento tres con una diferencia numérica de 7.10 cm de longitud menos. (Figura 3.1).

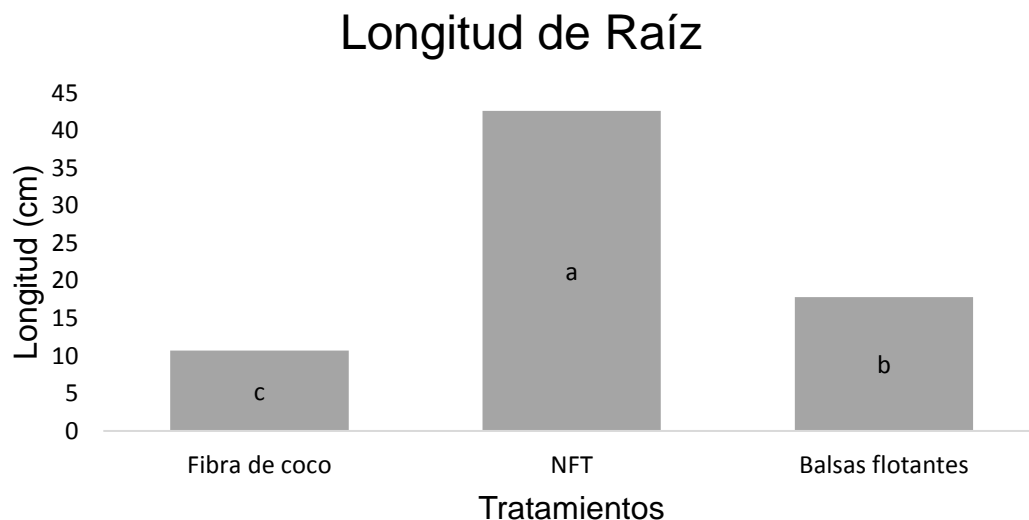


Figura 3.1. Longitud radicular de la lechuga var. Parris Island, en tres sistemas hidropónicos.

Estos resultados son similares a los establecidos por Cruz (2016), que evaluó tres variedades de lechuga (White Bostón, Great Lakes, Grand Rapids Tbr) en el sistema de raíz flotante y NFT (Nutrient Film Tecnique) donde hubo diferencia significativa en esta variable, mostrando mejores resultados el sistema NFT en la longitud de raíz.

Fonteno (1996), menciona que cuando el medio presenta un porcentaje mayor al 40% de aireación, esto hace que las raíces tengan buena disponibilidad de oxígeno, lo que favorece los procesos de división celular, y por lo tanto, al crecimiento de las raíces, dando lugar a que la parte aérea de la planta tenga mejor actividad, debido a que se incrementa la producción de esqueletos de carbono y de ATP, importantes para la formación de proteínas, almidón, sacarosa, fructanos, ácidos nucleicos y lípidos.

Diámetro de tallo

El tallo es la parte de la planta que crece en sentido contrario al de la raíz, de abajo hacia arriba, y de él se sostienen las hojas. También conduce el agua y nutrientes desde las raíces hasta las hojas.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la lechuga en el tratamiento uno (T1= Bolsas de fibra de coco) mostro mayor efecto significativo en la variable Diámetro de tallo. Los tratamientos uno (T1= Bolsas de fibra de coco) y dos (T2= NFT) obtuvieron resultados numéricamente mayores en comparación con el tratamiento tres (T3= Balsas flotantes) con una diferencia de 0.55 cm con respecto al tratamiento uno que fue el que mayor resultado obtuvo con un promedio de 1.78 cm de diámetro del pedúnculo a comparación con el tratamiento tres que arrojó 1.22 cm. (Figura 3.2).

Diámetro del Tallo

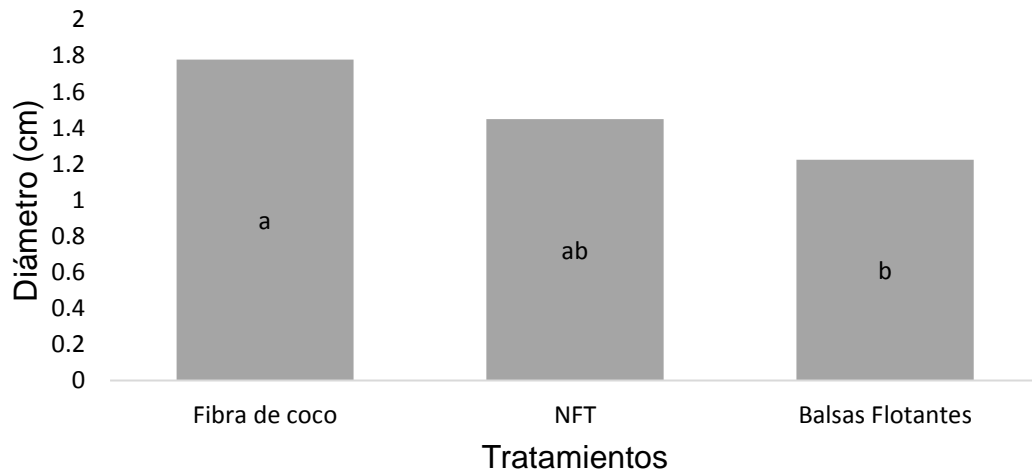


Figura 3.2. Diámetro del tallo de la lechuga var. Parris Island, en tres sistemas hidropónicos.

Estos resultados son distintos a los establecidos por (Sánchez del castillo, *et al.*, 2014) que evaluando el rendimiento de pepino cultivado en hidroponía con y sin recirculación de la solución nutritiva, mostró 46 ddt que el diámetro del tallo tendió a ser mayor en el sistema de Raíz flotante con respecto a las bolsas y camas de cultivo rellenas con sustrato de tezontle.

Singh y Sainju (1998), menciona que el crecimiento de las plantas en altura y diámetro del tallo es dependiente del aporte de agua, nutrientes, energía y aire que un medio pueda aportarle.

La siguiente gráfica nos muestra la relación entre el diámetro del tallo y la longitud de raíz de la planta en el tratamiento uno (T1= Bolsas de fibra de coco), la cual nos indica que entre mayor sea el diámetro del tallo, la longitud de raíz es menor (Figura 3.3).

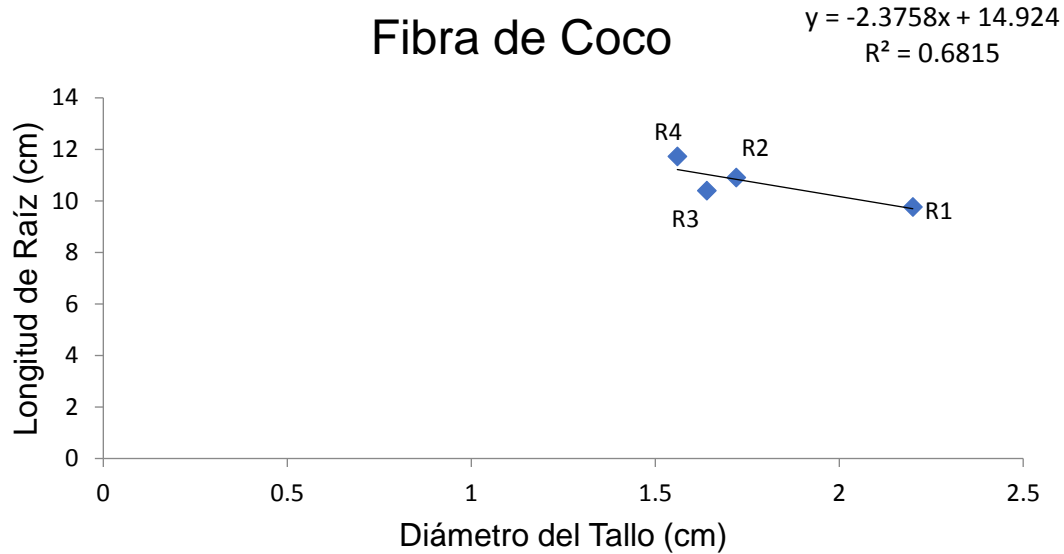


Figura 3.3. Relación entre el diámetro del tallo y la longitud de raíz en el sistema hidropónico Bolis de fibra de coco.

De igual manera se muestra la relación entre el diámetro del tallo y la longitud de raíz de la planta en el tratamiento dos (T2= NFT), la cual también nos indicó que entre mayor sea el diámetro del tallo, la longitud de raíz es menor (Figura 3.4).

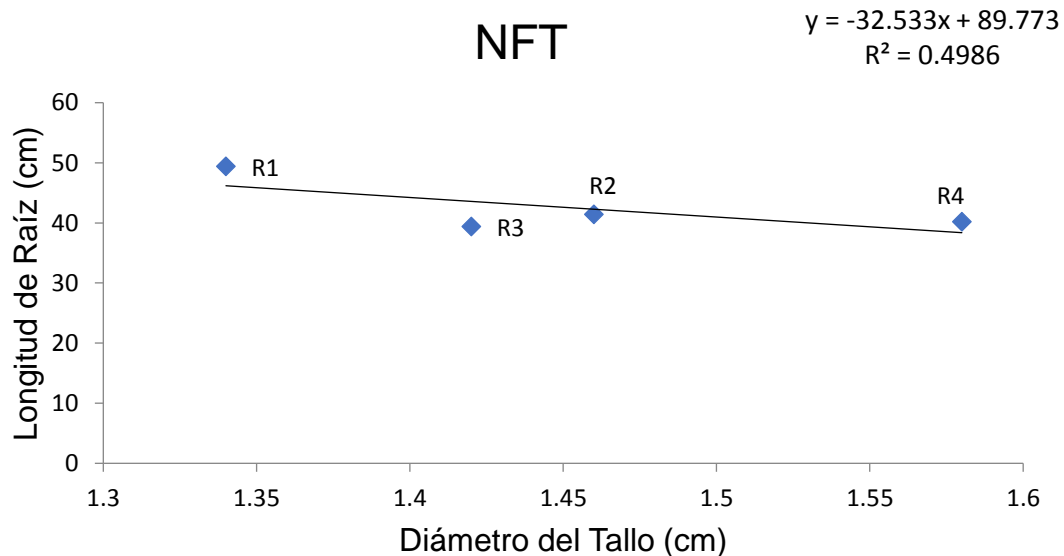


Figura 3.4. Relación entre el diámetro del tallo y la longitud de raíz en el sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique).

A diferencia de lo anterior, el tratamiento tres (T3= Balsas flotantes) nos indica que entre mayor sea el diámetro del tallo, mayor será la longitud de raíz (Figura 4.1).

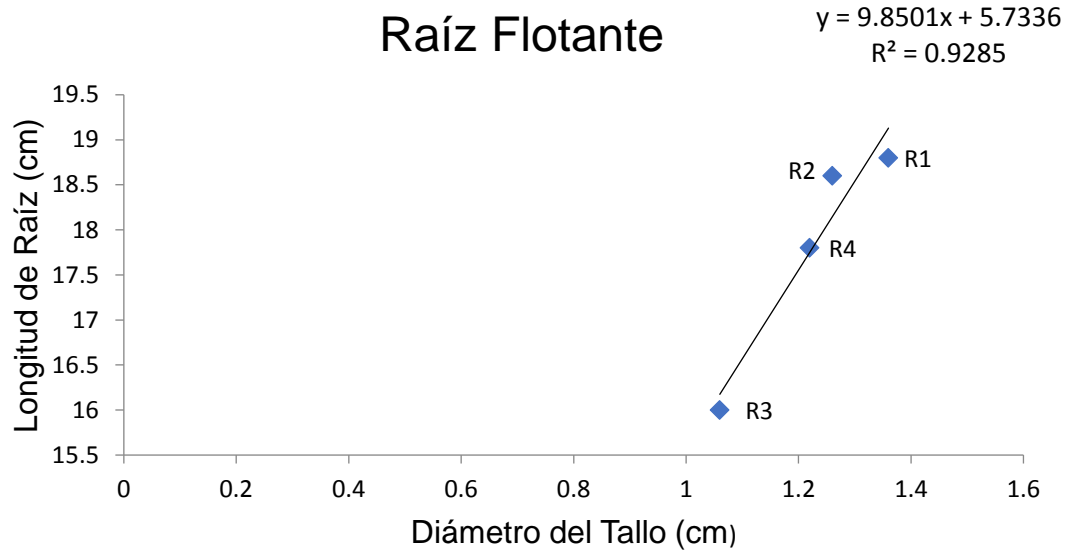


Figura 4.1. Relación entre el diámetro del tallo y la longitud de raíz en el sistema hidropónico de Balsas o raíz flotante.

Número de hojas

Las hojas de una planta son las responsables de tres importantes funciones: respiración, fotosíntesis y transpiración. Es en esta parte de la planta que ocurre la fotosíntesis, proceso metabólico mediante el cual captan la luz para transformar la materia inorgánica existente en materia orgánica, que les servirá para crecer y desarrollarse. Cuando una planta recibe agua en exceso, comienza a transpirar, a través de los estomas de las hojas.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la lechuga en el tratamiento dos (T2= NFT) mostro mayor efecto significativo en la variable Número de hojas. Los tratamientos uno (T1= Bolis de fibra de coco) y dos (T2= NFT) obtuvieron resultados numéricamente mayores en comparación con el tratamiento tres (T3= Balsas flotantes) con una diferencia de 5.25 hojas con respecto al tratamiento dos que fue el que mayor resultado obtuvo con un promedio de 27.5 hojas en las plantas a comparación con el tratamiento tres que arrojó 22.25 hojas (Figura 4.2).

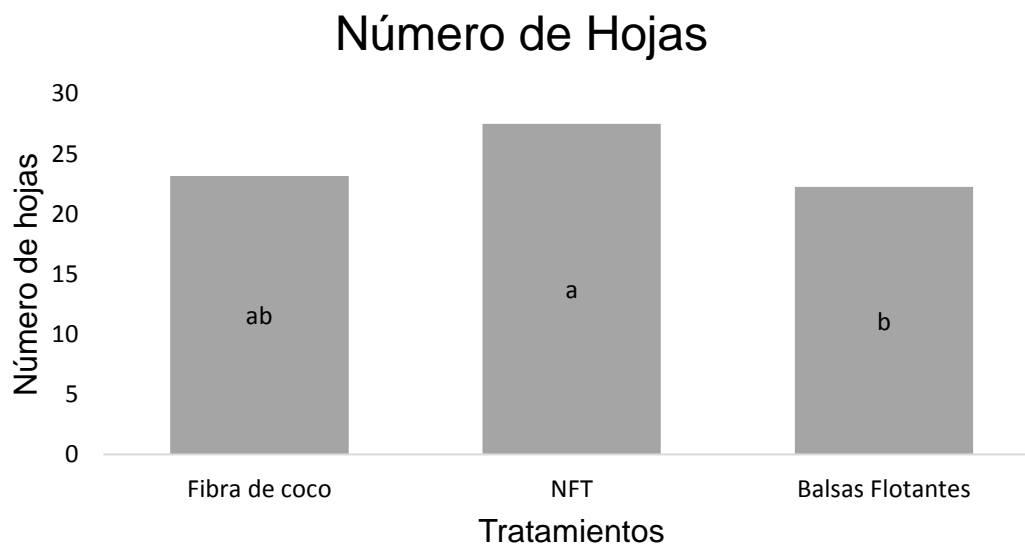


Figura 4.2. Número de hojas de la lechuga var. Parris Island, en tres sistemas hidropónicos.

Estos resultados son similares a los establecidos por Moreno, *et al.*, (2015), al evaluar la producción de lechuga tipo mantequilla cultivada en camas de cultivo rellenas de tezontle como sustrato con y sin recirculación de la solución nutritiva, y en raíz flotante, donde 24 ddt no hubo diferencia significativa para la variable número de hojas.

Marschner (2002), señala que las hojas, al ser el principal órgano sintetizador de carbohidratos de la planta deben tener un buen medio o sustrato que le garantice un suministro adecuado de nutrientes.

La siguiente gráfica nos muestra la relación entre el número de hojas y el diámetro del tallo de la planta en el tratamiento uno (T1= Bolis de fibra de coco), la cual nos indica que entre mayor sea el número de hojas, el diámetro del tallo será menor (Figura 4.3).

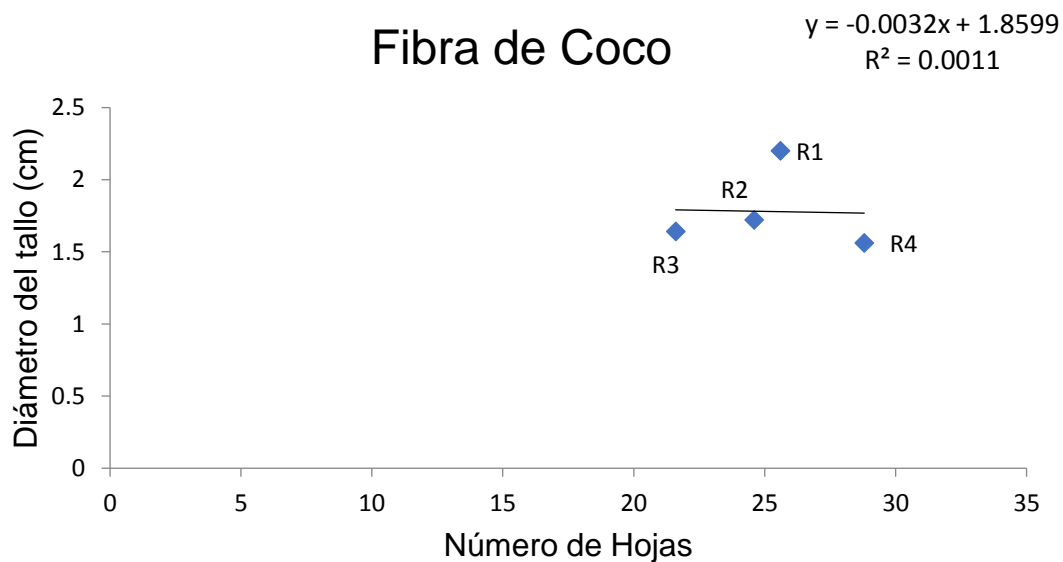


Figura 4.3. Relación entre el número de hojas y el diámetro del tallo en el sistema hidropónico Bolis de fibra de coco.

La gráfica de relación entre el número de hojas y el diámetro del tallo de la planta en el tratamiento dos (T2= NFT), nos indicó que entre mayor sea el número de hojas, mayor será el diámetro del tallo (Figura 4.4).

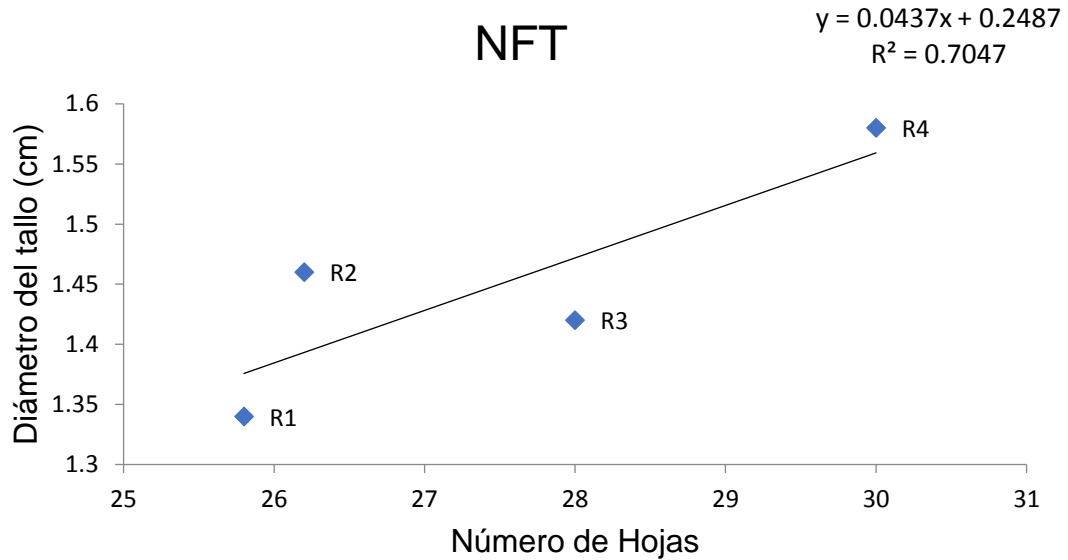


Figura 4.4. Relación entre el número de hojas y el diámetro del tallo en el sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique).

Al igual que en la gráfica anterior, la relación entre el número de hojas y el diámetro del tallo de la planta en el tratamiento tres (T3= Balsas flotantes), nos indicó que entre mayor sea el número de hojas, mayor será el diámetro del tallo (Figura 5.1).

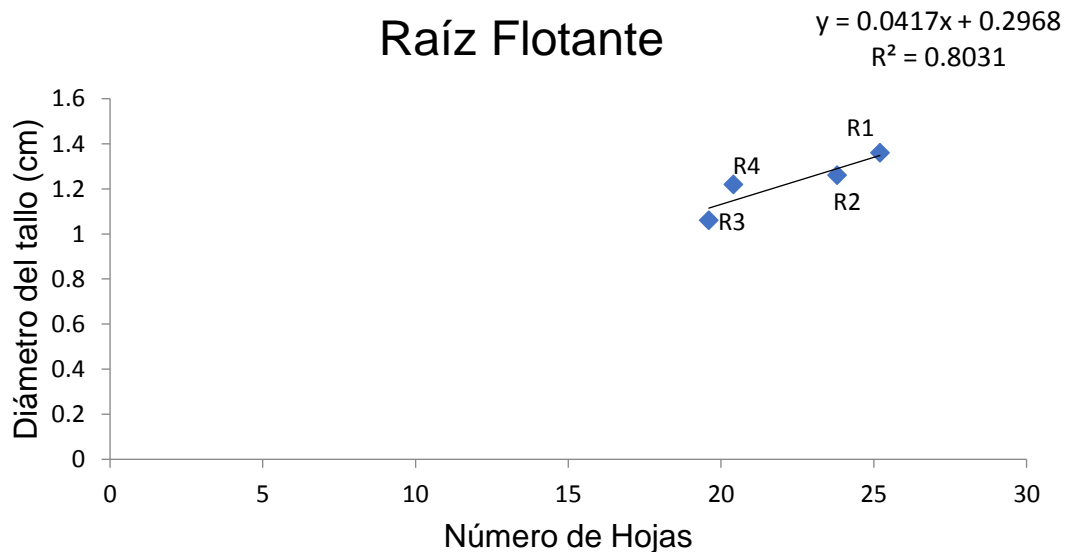


Figura 5.1. Relación entre el número de hojas y el diámetro del tallo en el sistema hidropónico de Balsas o raíz flotante.

Longitud de hojas

De acuerdo a los resultados obtenidos, la lechuga en los tres tratamientos (sistemas hidropónicos) no mostro diferencia significativa en la variable Longitud de Hojas. El tratamiento dos (T2= NFT) tuvo una ligera diferencia numérica de 0.23 cm en la longitud de hojas más que el tratamiento tres (T3= Balsas flotantes) y el tratamiento uno (T1= Bolis de fibra de coco) obtuvo un resultado inferior al tratamiento tres (Figura 5.2).

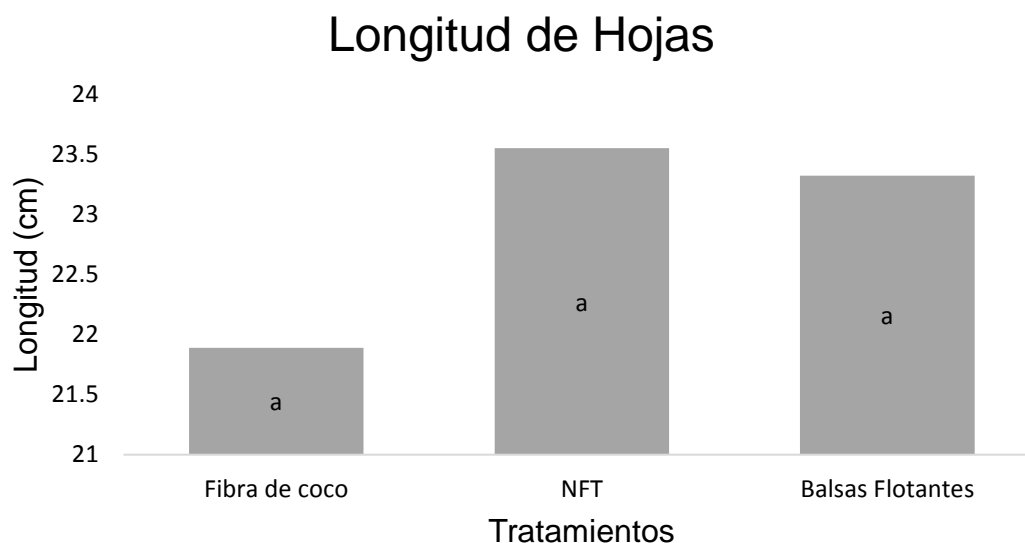


Figura 5.2. Longitud de hojas de la lechuga var. Parris Island, en tres sistemas hidropónicos.

Resultados similares fueron reportados por Moreno, *et al.*, (2015), en lechuga tipo mantequilla cultivada en camas de cultivo rellenas de tezontle como sustrato con y sin recirculación de la solución nutritiva, y en raíz flotante, donde 32 ddt no hubo diferencia significativa para esta variable.

Singh y Sainju (1998), menciona que el crecimiento de las plantas en altura, es un indicador de que el medio proporcione las cantidades necesarias y adecuadas de agua, nutrientes y aire, permitiendo el crecimiento vigoroso de las plantas.

Peso seco

La materia seca es la parte que resta de la planta tras extraer toda el agua posible a través de un calentamiento hecho en condiciones de laboratorio.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la lechuga en el tratamiento uno (T1= Bolis de fibra de coco) mostro un efecto significativo en la variable Peso seco, superando al tratamiento tres (T3= Balsas flotantes) con una diferencia numérica de 6.1 gramos. El tratamiento dos (T2= NFT) obtuvo un resultado estadísticamente igual al tratamiento tres (Figura 5.3).

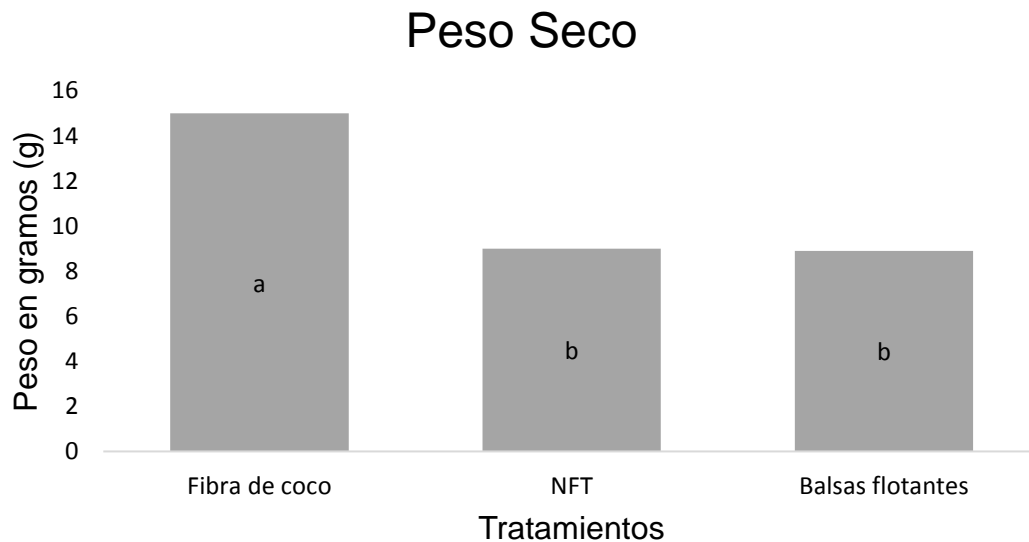


Figura 5.3. Peso seco de la lechuga var. Parris Island, en tres sistemas hidropónicos.

Estos resultados son distintos a los establecidos por Sánchez, *et al.*, (2014), que evaluando el rendimiento de pepino cultivado en hidroponía con y sin recirculación de la solución nutritiva 36 ddt, obtuvo el mayor peso seco por planta en el sistema de Raíz flotante. El único sistema que mantuvo igualdad estadística con la RF fue el de bolsa rellena con sustrato de tezontle sin recirculación.

En otra investigación Moreno, *et al.*, (2015), al evaluar la producción de lechuga hidropónica en invernadero (39 ddt) en sus resultados, el sistema de raíz

flotante presentó significativamente mayor peso fresco y seco por planta respecto a los tratamientos con y sin recirculación de la solución nutritiva en camas rellenas con sustrato de tezontle.

Silber y Bar-tal (2008), mencionan que la acumulación de biomasa de las plantas crecidas en sistemas hidropónicos se atribuye a que no hay limitaciones de agua para la raíz y se mantiene más estable la concentración de nutrientes en la rizosfera, ya que los cambios en concentración ocurren lentamente por la gran cantidad de solución nutritiva presente por planta.

La siguiente gráfica nos muestra la relación entre el peso fresco y el peso seco de la planta en el tratamiento uno (T1= Bolis de fibra de coco), la cual nos indica que entre mayor sea el peso fresco, será mayor el peso seco (Figura 5.4).

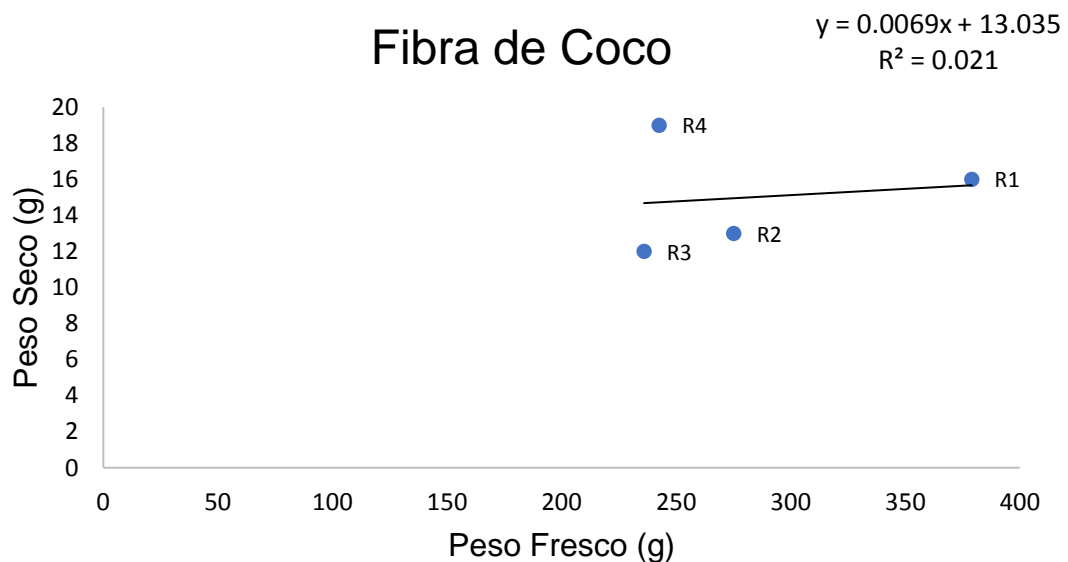


Figura 5.4. Relación entre el peso fresco y el peso seco en el sistema hidropónico Bolis de fibra de coco.

De igual manera la relación entre el peso fresco y el peso seco de la planta en el tratamiento dos (T2= NFT), nos indica que entre mayor sea el peso fresco, será mayor el peso seco (Figura 6.1).

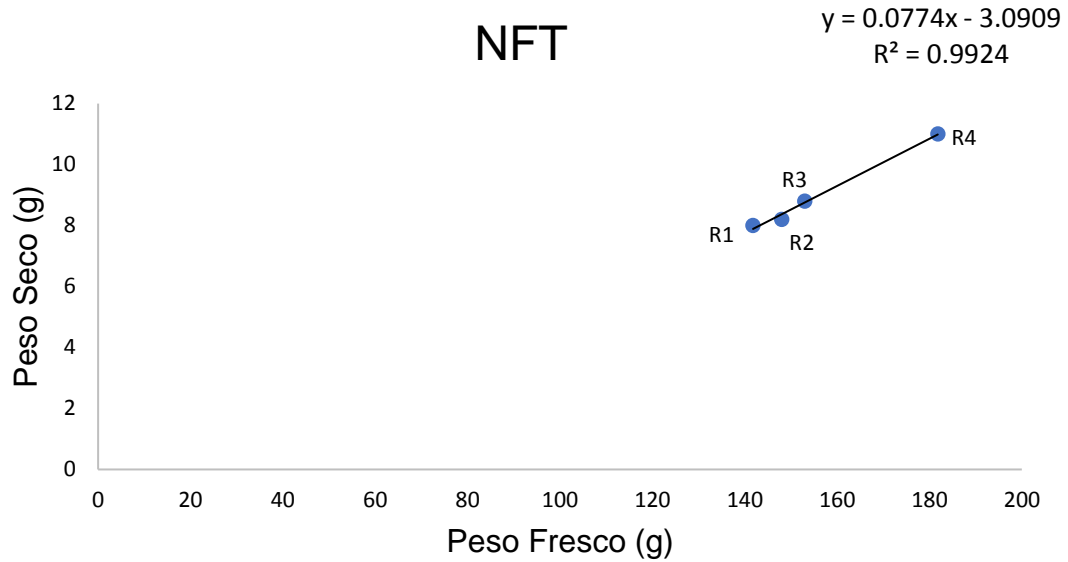


Figura 6.1. Relación entre el peso fresco y el peso seco en el sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique).

Al igual que en las gráficas anteriores, la relación entre el peso fresco y el peso seco de la planta en el tratamiento tres (T3= Balsas Flotantes), también nos indicó que entre mayor sea el peso fresco, será mayor el peso seco (Figura 6.2).

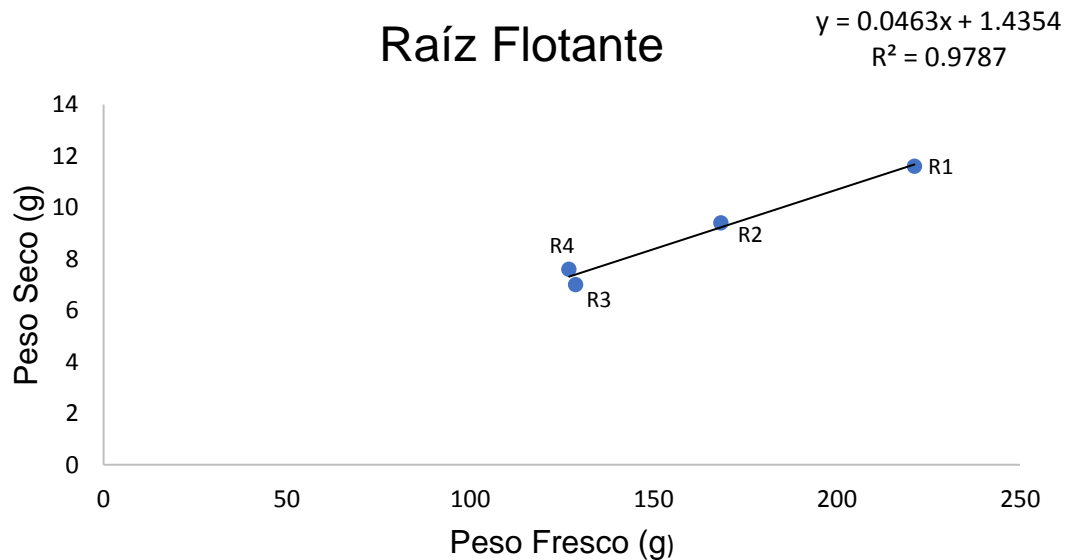


Figura 6.2. Relación entre el peso fresco y el peso seco en el sistema hidropónico de Balsas o raíz flotante.

V. CONCLUSIÓN

De acuerdo al objetivo que se planteó en este trabajo de investigación, y a los resultados obtenidos, se llegó a las siguientes conclusiones:

Con el sistema hidropónico de bolis de fibra de coco, la lechuga presentó superior peso fresco, peso seco y diámetro del tallo; mientras que, en el sistema NFT (Nutrient Film Technique) se incrementó la longitud de raíz y el número de hojas y en los tres sistemas, la longitud de hojas no presento variación.

Los tres sistemas hidropónicos permiten cubrir las necesidades hídricas y de nutrientes de las plantas, estos sistemas al ser correctamente implementados podrían ayudar a los agricultores a hacer frente a las crecientes regulaciones del uso del agua y un mejor manejo para sus cultivos.

VI. LITERATURA CITADA

Agrocom. *Tecnología Agrícola Aplicada al Cultivo Protegido*. 28 de septiembre del 2016.

<https://tecnologiaagricola.wordpress.com/2012/09/28/cultivoshidroponicos/>

(último acceso: 17 de diciembre del 2016)

Alpi A. y Tognoni, F. 1999. *Cultivo en Invernadero*. 3ª ed. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España.

Alpizar A., L. 2006. *Hidroponía: cultivo sin tierra*. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

Alzate, J, y L Loaiza. *Monografía del cultivo de la lechuga*. Primera. Bogotá, Colombia: Colinagro, 2010.

Arcos A., L. y Narro L., A. 2009. *Manual de laboratorio. Calosa como herramienta de selección para tolerancia del maíz al aluminio*. Editorial CIMMYT. México.

Barbado, J.L. 2005. *Hidroponía*. Editorial Albatros SACI. Buenos Aires, Argentina.

Barrios Arreaga, Nidia Esperanza. «Evaluación del cultivo de la lechuga, lactuca sativa L. Bajo condiciones hidropónicas en pachali, San Juan Sacatepequez, Guatemala.» Guatemala: Tesis Ing. Agrónomo, 2004.

CARRASCO S. G. 2004. Sistema NFT, requerimientos y usos, pp. 541-554. *In: Tratado de cultivo sin suelo*. 1ª Ed. URRESTARAZU G., M. (ed.). Editorial Mundi Prensa. Almería, España.

Davis, Michael, Krishna V Subbarao, R Raid, y E Kurtz. «Plagas y Enfermedades de la Lechuga.» 11. Madrid, España: Mundi Prensa, 2002.

Dorado, J.L. 2009. *Tu zona Cholula., Puebla. Proyectos de Ingeniería de la Universidad iberoamericana Puebla*. Año 2009. No. 1 Ejemplar gratuito, publicación catorcenal, marzo. Cholula, Puebla. Pp. 8.

Durán, J. M. (2005). *NGS: Un nuevo sistema de cultivo hidropónico*. Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia.

Durán, J. M. (2000). Cultivos sin suelo de la hidroponía a la aeroponía (I). *Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia*.

FAOSTAT. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. 2014. <http://www.fao.org/faostat> (último acceso: 14 de Enero de 2017).

FINANCIERA RURAL. *La producción de hortalizas en México*. México: Dirección general adjunta de fomento y promoción de negocios, 2008.

GONELLA, M.; SEIIO, F., CONVERSA, P.; SANTAMARINA, P. 2003. Yield and quality of lettuce grown in floating system using different sowing density and plant spatial arrangements. *Acta Horticulturae* 614:687-692.

Intagri. *Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura.*, 2015. <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/> (último acceso: 28 de agosto del 2017)

Jaques Hernández , Cuauhtémoc, y José Luis Hernández M. «Valoración productiva de lechuga hidropónica con.» *Centro de Biotecnología Genómica del IPN* 3, nº 1 (2005): 12.

MACIAS M., A. 2010. Competitividad de México en el mercado de frutas y hortalizas de Estados Unidos de América. *Agroalimentaria* 16(31): 31-48.

Matos, M. 2011. Huerto hidropónico para el autoabastecimiento de la unidad productiva “Rosario Carrillo Heredia. Universidad Abierta Nacional. Vicerrectorado Académico. Documento en línea <http://huertohidroponicovech.blogspot.com>

Maroto Borrego, Jose Vicente. *La lechuga y la escarola. Botánica. (Taxonomía y fisiología) y Adaptabilidad*. 1ª. Madrid, España: Mundi Prensa S.A, 2000.

Maroto, J. 2008. Elementos de horticultura general. 3ª ed. Editorial Mundi-Prensa. Barcelona, España.

Montero, S.M.; Singh B.K.; Taylor, R. *Evaluación de Seis Estructuras de Producción Hidropónica Diversificada en el Trópico Húmedo de Costa Rica*. Universidad EARTH. *Tierra Tropical* (2006) 2 (1): 1-11.

Noreña Jaramillo, Jorge, Pablo Julian Tamayo Molano, y Paula Andrea Aguilar Aguilar. *Modelo tecnológico para el cultivo de Lechuga bajo buenas prácticas agrícolas en el oriente antioqueño*. ISBN: 978-958-8955-10-0. Medellín, Colombia: Fotomontajes S.A.S, 2016.

Nuez, F. 1999. *El cultivo del tomate*. Editorial Mundi-Prensa, Bilbao. España.

Resh, H. M. 2001. *Cultivos hidropónicos*. 5ª edición. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp 113-117.

Resh, H. M. 2006. *Cultivos hidropónicos*. 5ª ed. Editorial Mundi-Prensa. Barcelona, España.

SAGARPA. «Manual técnico para la producción de hortalizas, huevo de gallina y carne de conejo en unidades de producción familiar.» 2015. <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/hidalgo/Documents/Agricultura%20Familiar/ManualTecnologicoFinalWeb2015.pdf> (último acceso: 19 de Enero de 2017).

SAGARPA-SIAP. *Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON)*. México: Secretaria de agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera., 2010.

SAGARPA-SIAP. *Secretaría de agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Atlas Agroalimentario*. México, 2016.

Sánchez Del Castillo, F. 2005. *Sustratos y frecuencias de riego para la producción de jitomate en hileras a diferente altura*. Revista TERRA Latinoamericana Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México. Julio-septiembre 23: 441-349.

Servicio Insular Agrario. *Agrolanzarote*. 2012. <http://www.agrolanzarote.com/> (último acceso: 12 de Enero de 2017).

TAKAHASHI, K. 1984. Injury by continuous cropping in vegetables: various problems in the cultivation using grafted plants. *Yasai Shikenjo Kenkyu Shiryo* 18: 87-89.

TÜZEL, I. H.; TUNALI, U.; TÜZEL, Y.; ÖZTEKIN, G. B. 2009. Effects of salinity on tomato in a closed system. *Acta Hort.* 807: 457-462.

URRESTARAZU, G. M. 2004. Bases y sistemas de los cultivos sin suelo, pp. 3-47. *In: Tratado de cultivo sin suelo*. 2ª Ed. URRESTARAZU G., M. (ed.). Mundi Prensa S. A. Madrid, España.

USDA, United States Department of Agriculture. *Natural Resources Conservation Service*. 2010. <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=LASA3> (último acceso: 14 de diciembre de 2016).

VAN OS, E. A. 2009. Comparison of Some Chemical and Non-Chemical Treatments to Disinfect a Recirculating Nutrient Solution. *Acta Hort.* 843: 229-234.

Vallejo Cabrera, Franco Alirio, y Edgar Ivan Estrada Salazar. *Producción de hortalizas de clima cálido*. 958-8095-28. Colombia: Imagenes Graficas S.A Cali, 2004.

ZANIN, G.; PONCHIA, G; SAMBO, P; ORTEGA, E. A. 2009. Seasonal effects on production of radish and lamb's lettuce grown in a floating system. *Acta Horticulturae* 893: 35-42.