

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Evaluación del Sistema NFT a Cielo Abierto en la Producción de Lechuga
Hidropónica, para Pequeños Espacios en Quecholac, Puebla

Por:

REYNALDO ALBERTO VÁZQUEZ REYES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Marzo del 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Evaluación del Sistema NFT a Cielo Abierto en la Producción de Lechuga
Hidropónica, para Pequeños Espacios en Quecholac, Puebla

Por:


REYNALDO ALBERTO VÁZQUEZ REYES

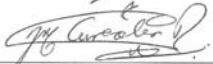
TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:



INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada:


Dr. Víctor Manuel Reyes Salas
Asesor Principal


Dra. Fabiola Aureoles Rodríguez
Coasesor


Dr. Luciano Aguirre Álvarez
Coasesor



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

Saltillo, Coahuila, México
Marzo del 2014

DEDICATORIA

A MIS PADRES

A mi madre, **Aida Elizabeth Reyes Figueroa**, quien fue la inspiración y la gasolina de mi esfuerzo durante toda mi vida enseñándome que la mejor manera de superar las adversidades es estar unidos como familia en todo momento.

A mi padre, **M.C. José Reynaldo Vázquez Ortiz**, quien me demostró que a pesar de las dificultades el seguir preparándose es fuente de prosperidad y felicidad, quien con su esfuerzo y trabajo forjó ya a dos profesionistas y al trascender de los años forjara a dos más.

A ustedes dedico mi esfuerzo, mis logros hasta el momento, agradezco su apoyo, sus consejos, sobre todo el apoyarme para realizar mis sueños y el gran ejemplo que nos demuestran todos los días.

A MIS HERMANOS

Hermano Mayor **Abogado Luis Gerardo Vázquez Reyes**

Hermano Menor **Francisco de Jesus Vázquez Reyes**

Gracias por ayudarme a realizar mis sueños y proyectos, el cual sin ustedes no habría obtenido los mismos resultados.

Por estar a mi lado en cada momento, apoyándonos como hermanos siempre juntos, hoy me siento tan grande por tenerlos a mi lado, me regalan la vida que sin ustedes no valgo.

A MIS ABUELOS, TIOS, PRIMOS.

Abuelos

Margarito Reyes López (†)

Francisca Figueroa Álvarez

Ignacio Vazquez Almanza

Maria Ignacia Ortiz

Quiero dedicar mi esfuerzo y sobre todo mi triunfo a todos mis Tíos y Primos sin excepción, motivo por el cual emito nombres para evitar olvidar alguno mientras escribo estos agradecimientos, ya ustedes sabrán que estoy infinitamente agradecido con quienes me apoyaron en cada momento y más aún siempre buscaron la manera de estar enterados de mi para ayudarme a no abandonar el barco antes de tiempo y agradecer por cada momento en el cual me acogieron en sus casas, cuidándome y atendiéndome como si fuese un hijo o un hermano para ustedes.

AGRADECIMIENTO

A Dios

No olvido por un segundo que gracias a ti ahora cumplo una de mis metas, gracias por ayudar a mi familia y ayudarme a seguir con salud e inteligencia mi camino y te agradezco también porque sé que en el futuro seguirás caminando a mi lado. Te regalo todo mi esfuerzo y mis oraciones.

A Mi Alma Terra Mater

A esta mi universidad que me vio crecer desde que era un simple soñador hasta en el momento que me libero como un hombre de trabajo con honestidad y respeto por el campo mexicano y quienes lo labran día con día.

A los catedráticos que me apoyaron durante el la licenciatura, por mencionar algunos: Dr. Reynaldo Alonzo, Dr. Alberto Sandoval Rangel, Ing. Cesar Estrada Torres, Ing. Carlos Rojas Peña, Dr. Marco Antonio Bustamante, Ing. Gerardo Rodriguez, Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente, Dr. Leobardo Bañuelos Herrera, Dr. Rubén López Cervantes, Ing. Eliseo González Sandoval.

A ese equipo de americano y los coaches que me ayudaron tanto, a Coach Roberto Cepeda, Coach Galván, Coach Sergio Reséndiz, Coach Brujo. Por enseñarme que cuando el cuerpo no puede seguir, el corazón promueve las últimas energías para seguir luchando hasta el último segundo, enseñarme

que el rendirse no es una opción a pesar de las circunstancias y a forjarme como un profesionista principalmente con valores y responsabilidades.

A la Dra. Fabiola Aureoles Rodríguez

Por el apoyo recibido en la realización de esta tesis por aceptar de una manera muy amable apoyarme en la realización de mi Tesis, además de agradecerle por aportar todos esos conocimientos y experiencia durante todas las clases impartidas por usted en las cuales me tuvo en su lista de asistencia.

Al Dr. Víctor Manuel Reyes Salas

Gracias a usted y por haberme apoyado en mi comienzo de estudiante de licenciatura en este momento estoy realizando la terminación con éxito de mis estudios además de haberme proporcionado muchos de sus mejores conocimientos y por la ayuda proporcionada en la realización de esta Tesis.

Al Dr. Luciano Aguirre Álvarez

A pesar del paso del tiempo, a pesar de la distancia, y sobre todo a pesar de no contar con el mismo tipo de sangre, siempre hemos sido una familia en aquel lugar al cual mi padre y usted llegaron siendo apenas unos jóvenes y usted y su familia siempre serán mi Tío Chano, mi tía Bellita y mi primo Patzari.

Le agradezco porque a pesar de la cantidad de trabajo que tiene, siempre siguió apoyándome hasta el término de este trabajo.

A Mis Amigos.

A las grandes amistades que no se deterioran al paso de los años, Irene Sandoval, Carlos Campos, Jhovanny González, Jairo Márquez, Rocio Reyes, Iván Trujillo, Miguel Romero.

A aquellos amigos y amigas que me acompañaron a lo largo de mi estancia en la universidad, en especial a Lilian Garcia del Corro, Nora Zulema López, Adriana Briseño, Carolina Zavala Gabino Anaya, Jesus Vazquez (compadre), Fernando Macías, Iván Muñoz, Macario de León, Said Bracamontes, Miguel Cuellar, Beto Cuellar, Homero Ramírez, Ing. Beto Jaímes, Ing. Julio Israel Solís, Ing. Pepe Lozano, Juan M. Macías, Ing. Julio Cesar Ledesma.

Al Dr. Arturo Reyes

Por la ayuda para el cierre de este proyecto y porque sé que los lazos fraternales van a seguir estrechándose con el paso del tiempo

A la Empresa Invernaderos Top-Green

Por darme mi primera oportunidad y responsabilidad como responsable del área de producción y a sus directivos por la confianza otorgada.

Al CESAVEP y COLPOS

Por la ayuda obtenida durante tanto tiempo de estudio, M.c. Oscar D. Téllez Crespín, Ing. Natanahel Rodriguez, Ing. May Bello y a su familia por toda la atención puesta en su amigo Beto Vazquez.

A Mónica Deolarte y M.c. Sandy por haberme apoyado durante mi estancia en COLPOS.

POR SIEMPRE BUITRES... SIEMPRE BUITRES DE LA NARRO...

CONTENIDO TEMATICO

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
RESUMEN	V
I INTRODUCCION	1
II OBJETIVOS	4
Objetivo general	4
Objetivos específicos.....	4
III HIPOTESIS	4
IV REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1. El cultivo de lechuga.....	5
4.1.1. Importancia del cultivo de lechuga	6
4.1.2 Antecedentes históricos del cultivo	7
4.2 Descripción morfológica de lechuga.....	8
4.2.1 Agrupación y clasificación de cultivares de lechuga.....	8
4.2.2 Fenología de crecimiento del cultivo de la lechuga	9
4.3 Hidroponía como alternativa productiva de hortalizas	10
4.3.1 El sistema (NFT), una opción para la producción de hortalizas de hoja	11
4.3.2 Diseño de sistema (NFT) con canales de cultivo en PVC	13
4.3.3 Componentes del sistema (NFT).....	14
Estanque colector	15
Canales de cultivo.....	17
Bomba.....	19
Red de distribución	19
Tubería colectora	20
4.4 Contenido nutrimental de la solución recirculante	21
4.4.1 Conductividad eléctrica (CE).....	22

4.4.2 Efecto del pH en el crecimiento de las plantas en una solución nutritiva.....	22
4.4.3 Oxigenación de solución nutritiva.....	23
4.5 Cultivo de lechuga en sistema (NFT).....	24
4.5.1 Ventajas de producción en sistema (NFT)	25
4.5.2 Desventajas de producción en sistema (NFT).....	26
4.5.3 Tiempo de recolección de diferentes variedades	27
V MATERIALES Y METODOS	29
5.1 Ubicación del experimento	29
5.2 Diseño y establecimiento de sistema NFT.....	30
5.3 Producción de plántula	32
5.4 Trasplante intermedio o raíz flotante	33
5.5 Preparación de la solución nutritiva	35
5.6 Trasplante definitivo.....	37
5.7 Control de principales variables para la producción	38
5.7.1 Conductividad eléctrica.	38
5.7.2 Registro de pH en solución nutritiva.	39
5.7.3 Temperatura y oxigenación del agua	40
5.8 Variables evaluadas	40
VI RESULTADOS	42
6.1 Número de hojas	42
6.2 Longitud de raíz.	43
6.3 Largo de Hoja	44
6.4 Peso de lechuga.....	44
6.5 DESCRIPCIÓN FENOLOGICA DEL CULTIVO DE LECHUGA EN SISTEMA NFT	45
6.5.1 Siembra	45
6.5.2 Emergencia de plántula y crecimiento vegetativo	46

6.5.3 Trasplante intermedio.....	46
6.5.4 Trasplante definitivo	46
6.5.5 Formación de roseta.....	47
6.5.6 Formación de primer cogollo	47
6.5.7 Formación de cogollo medio	47
6.5.8 Formación de cogollo maduro (cosecha)	47
6.6 Consumo de agua en producción de lechuga NFT.....	50
6.7 Costos de inversión y producción en Sistema NFT	53
6.7.1 Costos fijos, inversión para sistema NFT diseñado para pequeños espacios.	53
6.7.2 Costos variables.....	54
6.7.3 Costos totales para puesta del sistema NFT	54
6.7.4 Proyección de egresos e ingresos en primer y segundo año.....	55
VII Discusión	56
VIII Conclusiones	58
IX Literatura citada.....	59

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fases de crecimiento de lechuga (Davis, 1997).....	10
Figura 2. Desarrollo radicular en canales de cultivo PVC. Invernaderos Top-Green.....	¡Error! Marcador no definido.13
Figura 3. Canales de cultivo en construcción. Invernaderos Top-Green.	¡Error! Marcador no definido.14
Figura 4. Tanque colector de solución nutritiva. Invernaderos Top-Green.	¡Error! Marcador no definido.16
Figura 5. Marco de plantación en canales de PVC. Invernaderos Top-Green.	17
Figura 6. Bomba de propulsión. Invernaderos Top-Green....	¡Error! Marcador no definido.18

Figura 7. Líneas de distribución. Invernaderos Top-Green...	¡Error! Marcador no definido.	19
Figura 8. Tubería de drenaje de SN. Invernaderos Top-Green.		20
Figura 9. Produccion de lechuga en canales de PVC en Invernaderos Top-Green.....	¡Error! Marcador no definido.	24
Figura 10. Cosecha y deshojado de lechuga cultivada en NFT. Invernaderos Top-Green.	¡Error! Marcador no definido.	26
Figura 11. Municipio de Quecholac Puebla. ¡Error! Marcador no definido.		28
Figura 12. Diseño de Sistema NFT. Vista lateral	¡Error! Marcador no definido.	29
Figura 13 Diseño de Sistema NFT. Vista Frontal.....		30
Figura 14. Correcta impulsión y recirculación de SN.	¡Error! Marcador no definido.	31
Figura 15. Plántula lista para Trasplante Intermedio.....	¡Error! Marcador no definido.	32
Figura 16. Preparación de plántula para trasplante intermedio.	¡Error! Marcador no definido.	33
Figura 17. Aportes de elementos de análisis de agua, solución ideal y aportes previstos.	¡Error! Marcador no definido.	35
Figura 18. Cantidad de fertilizantes por tanque de 200 litros para satisfacer la solución nutritiva.	¡Error! Marcador no definido.	35
Figura 19. Preparación de Solución Nutritiva.....	¡Error! Marcador no definido.	36
Figura 20. Trasplante de lechuga a canal de cultivo.....	¡Error! Marcador no definido.	37
Figura 21. Adecuada cantidad de sales aportada para adecuado desarrollo de la lechuga.....	¡Error! Marcador no definido.	37
Figura 22. pH controlado para adecuada disponibilidad de nutrientes. .	¡Error! Marcador no definido.	38
Figura 23. Oxigenación de Solución Nutritiva.	¡Error! Marcador no definido.	39
Figura 24. Numero de hojas de lechuga durante desarrollo fenologico y sus diferentes mediciones.		41

Figura 25. Longitud de raíz de lechuga durante desarrollo fenológico y sus diferentes mediciones.**¡Error! Marcador no definido.**42

Figura 26. Largo de hoja de lechuga durante el desarrollo fenológico y sus diferentes mediciones.**¡Error! Marcador no definido.**43

Figura 27. Peso de lechuga durante desarrollo fenológico y sus diferentes mediciones.....**¡Error! Marcador no definido.**44

INDICE DE CUADROS

Tabla 1. Principales datos de producción del cultivo de lechuga por estado. México. SIAP. 2012. 6

Cuadro 1. Ciclo fenológico y tecnología de producción en lechuga var. Big Star en sistema NFT abierto.**¡Error! Marcador no definido.**48

Cuadro 2. Ciclo fenológico y tecnología de producción en Lechuga var. Vulcan en sistema NFT abierto.....**¡Error! Marcador no definido.**49

Cuadro 3. Gasto de agua en diferentes según el tipo de riego y consumo de agua por planta para cultivo de lechuga.**¡Error! Marcador no definido.**50

Cuadro 4. Porcentaje de eficiencia de riegos según el tipo de riego. **¡Error! Marcador no definido.**50

Cuadro 5. Costos Fijos, Inversión para sistema NFT abierto para pequeños espacios..... 51

Cuadro 6. Variables, Inversión para sistema NFT abierto para pequeños espacios.....**¡Error! Marcador no definido.**52

Cuadro 7. Costos de Inversión y producción, para sistema NFT abierto para pequeños espacios.**¡Error! Marcador no definido.**52

Cuadros 8. Proyección de ingresos y egresos en primer y segundo año de producción y venta sistema NFT abierto para pequeños espacios..... 53

RESUMEN

El municipio de Quecholac es el principal productor del cultivo de Lechuga en el estado de Puebla, debido a limitantes productivas, como lo son la menor disponibilidad de agua adecuada para el riego, la erosión del suelo y la menor disponibilidad de grandes superficies cultivables, productores y ciudadanos del estado de Puebla comienzan a interesarse en cultivos hidropónicos. Entre los sistemas de producción hidropónicos, destaca el sistema de Técnica de la Película Nutritiva o de Solución Recirculante, conocido comúnmente como NFT (Nutrient Film Technique, por sus siglas en inglés). Este trabajo tiene como finalidad generar información básica con relación a la evaluación de producción de lechuga hidropónica en el sistema NFT a cielo abierto. La presente investigación se realizó en un área acondicionada para el establecimiento y funcionamiento del sistema en el municipio de Quecholac, Puebla, evaluando dos variedades de lechuga que fueron, la variedad Big Star de la casa comercial Mar Seeds y la variedad Vulcan de casa comercial Sakata, registrando el número de hojas, largo de raíz, largo de hoja y el peso de lechuga. Los resultados indican que es posible producir lechuga en sistema NFT a cielo abierto, obteniendo lechugas de buena calidad en un máximo de 12 semanas a partir de la siembra hasta cosecha con pesos mayores a 240 g, lo cual permite tener hasta 6 ciclos de producción al año, con un consumo promedio de agua de 13.8 litros por planta, desde trasplante definitivo hasta la recolección, destacando la factibilidad de la implementación de la producción de lechuga hidropónica en sistema NFT en zonas donde la disponibilidad del agua es limitada y las superficies agrícolas cada vez son menores.

Palabras Claves: Lechuga, Hidroponía, NFT, Evaluación.

I INTRODUCCION

La concentración de la población en grandes centros urbanos es un fenómeno de nuestros tiempos, que aunado a la dinámica poblacional creciente, que para el año 2030 se estima rebasará los 8,100 millones de habitantes en el planeta (Trueba, 2002), trae como consecuencia la necesidad de proporcionar los satisfactores básicos como salud, educación y particularmente alimentación como un derecho fundamental de la humanidad.

Sin embargo, la producción, disponibilidad y acceso a alimentos en cantidad y calidad (nutritivos e inocuos) por parte de la población, enfrenta fuertes retos tanto ecológicos, como económicos, sociales culturales y tecnológicos. Desde una óptica del sector agrícola, cada día la producción de alimentos enfrenta las consecuencias del cambio climático, la contaminación del suelo y del agua, el uso inadecuado pesticidas y bajos niveles tecnológicos para la producción, entre otros.

En México la producción de alimentos en particular de hortalizas a cielo abierto presenta factores adversos; entre ellos tenemos a los factores climáticos como heladas, vientos fuertes, granizos, sequías y lluvias intensas, así como la pérdida de la fertilidad y erosión de los suelos y; la creciente escases de agua para riego, factores que repercuten en la disminución de los rendimientos, generándose pérdidas económicas para los horticultores.

Para contrarrestar el impacto negativo, de lo anteriormente descrito, se han implementado sistemas agrícolas alternativos de producción agrícola como son los sistemas de producción en condiciones controladas y/o agricultura protegida (sistemas en invernadero principalmente). Sistemas que pretenden una mayor seguridad en la producción al no depender del suelo y tener mayor control de los factores climáticos básicos para la producción,

asociados a un mejor aprovechamiento del agua y bajo sistemas óptimos de fertilización y control de plagas y enfermedades. Estos sistemas permitirán la sanidad e inocuidad de los productos obtenidos, que asociados a sistemas adecuados de mercadeo se podrá obtener una alta rentabilidad económica, aún para pequeños productores.

En el mundo y particularmente en México, este sector está creciendo significativamente. Se plantea que en nuestro país, existen en la actualidad más de 20,000 hectáreas bajo cubierta, de las cuales alrededor de 12,000 hectáreas son de invernadero. En condiciones de invernadero la técnica de hidroponía, o cultivo sin suelo, es cada vez más utilizada por su eficiencia en el control de riego, nutrición mineral, ausencia inicial de plagas (insectos, microorganismos y malezas) y facilidad de esterilización de los sustratos (AMHPAC, 2013). Entre los sistemas de producción en Hidroponía, destaca el sistema de Técnica de la Película Nutritiva o de Solución Recirculante, conocido comúnmente como NFT (Nutrient Film Technique, por sus siglas en inglés) y representa una opción viable para la producción de especies de alto valor económico, en particular para aquellos productores que cuentan con pequeñas superficies y con fuertes limitantes en calidad de suelo y agua. En este sentido, un cultivo que ha merecido la atención, en el sistema de producción NFT, es la lechuga, que por sus características botánicas y de consumo, ha mostrado ser una actividad altamente rentable.

Paralelamente, es importante destacar que en el estado de Puebla, se presentan regiones especializadas en la producción de hortalizas a cielo abierto, como es el caso de la región comprendida por los valles de Acatzingo, Quecholac y Palmar de Bravo, que no escapan a la problemática planteada en párrafos anteriores. Sin embargo, en los últimos años se ha venido dando una paulatina migración hacia la agricultura controlada. Situación que no ha dejado de estar llena de conflictos e incertidumbres ya que en muchos casos, esta transformación no ha sido acompañada con una

adecuada planeación y sobre todo formación de los horticultores en las técnicas introducidas.

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). Para el estado de Puebla esta hortaliza es de gran relevancia, al presentar el segundo lugar nacional, en la producción de éste cultivo con 2,847 hectáreas sembradas en 2011 (SIAP, 2012), siendo el municipio de Quecholac, el más importante ya que concentra la producción de 7,703.24 ton en 107 hectáreas. Lo cual aumenta el interés de los productores por conocer nuevas alternativas de producción con la finalidad de minimizar costos y maximizar beneficios realizando un mejor aprovechamiento de las superficies.

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; sin embargo, 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 el sistema NFT a cielo abierto, como parte de un proceso de transición del sistema de producción convencional de lechuga a un sistema hidropónico en NFT, en productores con pequeñas superficies productivas y fuertes limitantes de suelo y agua.

II OBJETIVOS

A partir de lo anterior se planteó el objetivo general siguiente:

Objetivo general

Evaluar la producción de lechuga en NFT a cielo abierto, para pequeños espacios.

Objetivos específicos

1. Identificar fases fenológicas y comportamiento de lechuga hidropónica en un sistema NFT a cielo abierto.
2. Evaluar el consumo de agua durante el ciclo de producción de lechuga hidropónica en un sistema NFT a cielo abierto, en el municipio de Quecholac, Puebla.

III HIPOTESIS

La producción de lechuga bajo la técnica de la solución recirculante o NFT a cielo abierto representa una alternativa de producción, desde una visión tecnológica como económica, para pequeños espacios.

IV REVISIÓN DE LITERATURA

En el presente apartado se describe el “estado del arte” sobre la producción de lechuga en el Sistema de Solución Recirculante, conocido comúnmente como Sistema NFT, (Técnica de la Película Nutritiva - Nutrient Film Technique por sus siglas en inglés) el cual forma parte de los sistemas de producción en hidroponía, que en la actualidad han mostrado un gran avance tanto desde la generación de innovaciones tecnológicas para la producción, como desde su creciente importancia social y económica para pequeños productores, sobre todo para aquellos que se ubican en áreas con restricciones ambientales, en particular con baja disponibilidad de agua para riego y condiciones climáticas adversas. Este apartado aborda los temas de la importancia, descripción y proceso de producción de cultivo de lechuga, la hidroponía y los sistemas de NFT en la producción de hortalizas de hoja para finalizar con el análisis de los sistemas de producción de lechuga en el sistema NFT.

4.1. El cultivo de lechuga

La lechuga es el cultivo de hoja más importante en México debido a la alta demanda que existe en el mercado (consumo per cápita de lechuga y espinaca), con una gran cantidad de cultivares y consumida principalmente en ensaladas. Actualmente productores del estado de Puebla comienzan a interesarse en cultivos hidropónicos de lechuga, con la finalidad de llevar a cabo un mejor aprovechamiento del agua de riego (evitar pérdidas de agua por traslado en canales en mal estado, o bien o hacer su uso más eficiente), minimizar los costos de producción y maximizar volúmenes de cosecha, que bajo un manejo tecnológico óptimo se obtienen vegetales libres de contaminantes (inocuos) para acceder a mejores mercados.

4.1.1. Importancia del cultivo de lechuga

En México, según el sistema de información agropecuaria de la Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) la superficie sembrada de lechuga para el año 2012 fue de 17,325 hectáreas, con una superficie cosechada de 16,195 hectáreas; obteniéndose un volumen total de producción de 335,337.28 toneladas, con un rendimiento promedio por hectárea de 20.7 toneladas, con un valor promedio de la producción de \$2,865 pesos por tonelada, dando una derrama económica aproximada de \$960'769,420 pesos. Para el año 2012, Guanajuato fue el estado productor más importante de este cultivo, con una superficie de 4,198 ha, en segundo lugar fue el estado de Zacatecas con una superficie total de 3,042 ha y el tercer lugar lo ocupó el estado de Puebla con una superficie de 2,847 ha.

Ubicación	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)
AGUASCALIENTES	1,219.00	939.00	35,184.00	37.47	2,807.60	99,782.45
BAJA CALIFORNIA	1,422.00	1,411.00	26,824.64	19.01	7,795.53	209,112.28
BAJA CALIFORNIA SUR	10.75	10.75	99.30	9.24	5,306.79	526.96
CHIHUAHUA	11.35	11.35	196.25	17.29	3,093.76	607.15
COAHUILA	1.00	1.00	39.44	39.44	4,200.00	165.65
DISTRITO FEDERAL	140.00	140.00	1,491.55	10.65	6,626.33	9,883.50
DURANGO	19.00	19.00	510.00	26.84	3,849.73	1,963.36
GUANAJUATO	4,197.84	4,166.84	68,056.17	16.33	2,097.26	142,731.40
GUERRERO	13.00	13.00	98.60	7.58	3,867.14	381.30
HIDALGO	405.00	405.00	5,162.80	12.72	3,996.47	20,593.01
JALISCO	310.90	310.90	6,444.42	20.73	1,740.98	11,219.58
MEXICO	914.80	914.30	9,585.53	10.48	4,330.11	41,506.41
MICHOACAN	638.00	638.00	15,893.75	24.91	2,943.54	46,783.92
PUEBLA	2,847.00	2,660.00	49,092.27	18.46	2,102.98	103,239.84
QUERETARO	1,131.00	1,123.00	33,490.00	29.82	2,801.39	93,818.71
SAN LUIS POTOSI	256.10	242.10	7,701.65	31.81	2,334.81	17,981.90
SONORA	434.47	434.47	9,894.56	22.77	3,468.40	34,318.32
TLAXCALA	249.00	249.00	6,682.35	26.84	2,509.50	16,769.38
VERACRUZ	25.00	25.00	250.00	10.00	4,000.00	1,000.00
YUCATAN	28.00	28.00	89.80	3.21	8,786.64	789.04
ZACATECAS	3,042.00	2,453.00	58,560.20	23.87	1,854.42	108,595.25
	17,315.21	16,194.71	335,337.28	20.71	2,865.08	960,769.42

Tabla 1. Principales datos de producción del cultivo de lechuga por estado. México. SIAP. 2012.

Para el caso de Puebla, en el año 2012, del total de la superficie sembrada (2,847 ha) se cosecharon 2,660 ha, con un volumen total de la producción de 49,042 ton y un rendimiento promedio por hectárea de 18.6 ton. Con un precio promedio de \$ 2,102 pesos por ton; se tuvo una derrama económica aproximada de \$ 103'239,840. Los municipios con mayor producción de lechuga fueron: Quecholac con 406 ha, Tecamachalco con 359 ha, Palmar de Bravo con 280 ha, Los Reyes de Juárez con 247 y Tepeaca con 246 ha.

En el municipio de Quecholac se sembraron 406 ha, de las cuales por diferentes motivos (siniestros –exceso de lluvia y heladas) se tuvo una pérdida de 107 ha, por lo cual se cosecharon 299 ha, teniendo una producción de 7,703.24 ton, y un rendimiento promedio de 25.76 ton por ha y un valor de la producción promedio de \$1,991 por ton; teniéndose una derrama económica municipal de aproximadamente \$ 15'335,470 pesos (SIAP, 2012).

En el municipio no se cuentan con reportes o antecedentes que indiquen apoyos o construcción de estructuras para la producción de lechuga hidropónica.

4.1.2 Antecedentes históricos del cultivo

Desde la domesticación, a partir de especies de malas hierbas, la lechuga se ha convertido en una planta para ensaladas adornado las dietas y platillos en todo el mundo. Como producto cultivado y domesticado la lechuga es probablemente originaria de alrededor de la cuenca mediterránea. Fue conocida por los sumerios, egipcios, griegos y romanos desde hace unos 4,500 años a.C. La Lechuga fue introducida al continente americano, en el siglo XVI, por los primeros colonos provenientes de Europa, siendo la lechuga de cogollo sólido, la primera variedad introducida (Davis *et al.*, 1997 y Maroto, 1998).

4.2 Descripción morfológica de lechuga

La lechuga es una planta anual perteneciente a la familia de las *Compistae* cuyo nombre científico es *Lactuca sativa* L. posee un sistema radical profundo y poco ramificado. Sus hojas se disponen en roseta para después apretarse unas con otras hasta formar un cogollo consistente y más apretado en algunas variedades que otras. Sus hojas, dependiendo de la variedad pueden ser redondeadas, lanceoladas o casi espatuladas. La consistencia de las hojas puede ser rugosa o blanduzca. El borde de los limbos foliares puede ser liso, ondulado o aserrado (Gómez *et al.*, 2000).

En estados vegetativos avanzados, el cogollo o en su caso el manojito central de hojas, se abre para dar paso a un tallo cilíndrico y ramificado portador de hojas, así como de capítulos florales amarillos en racimos. Es una planta autógena cuyas semillas son frutos en forma de aquenio típicos (Gómez *et al.*, 2000).

4.2.1 Agrupación y clasificación de cultivares de lechuga

Botánicamente, de la especie *Lactuca sativa* se distinguen cuatro variedades botánicas (Gómez *et al.*, 2000):

- ***L. sativa* var. *Longifolia* Lam.**, engloba cultivares que aprovechándose de sus hojas no forman un verdadero cogollo teniendo las hojas de forma aovada u oblonga (lechugas romanas).
- ***L. sativa* var. *Capitata* L.**, incluye cultivares que forman cogollos apretados y la forma de sus hojas suele ser ancha (lechugas acogolladas).
- ***L. sativa* var. *Inybasea* Hort.**, lechugas que poseen las hojas sueltas y dispersas.
- ***L. sativa* var. *Augustana* Irish.**, son aquellas lechugas que se aprovechan por sus tallos. Sus hojas son puntiagudas y lanceoladas. Su cultivo es frecuente en China (lechuga esparrago).

4.2.2 Fenología de crecimiento del cultivo de la lechuga

Según Gómez *et al.* (2000), desde el punto de vista agronómico, se distinguen tres fases fenológicas del cultivo que son las siguientes:

- I. Fase de formación de una roseta de hojas
- II. Fase de un cogollo más o menos compacto
- III. Fase de la reproducción o emisión del tallo floral

Las plantas de lechuga pasan por tres fases de crecimiento que son las de:

- I. desarrollo de plántula
- II. el periodo de roseta y
- III. la formación de cogollo

El desarrollo de plántula, es abarcado desde la germinación hasta el trasplante y la lechuga sigue su crecimiento vegetativamente mientras se siguen formando algunas hojas. Las lechugas de tipo hoja suelta cuentan con peciolo cortos que normalmente se expanden durante los primeros crecimientos, En los demás tipos de lechuga el acogollamiento da inicio cuando las hojas comienzan a curvarse hacia dentro o aplastarse unas con otras creando un cogollo solido (Davis *et al.* 1997).

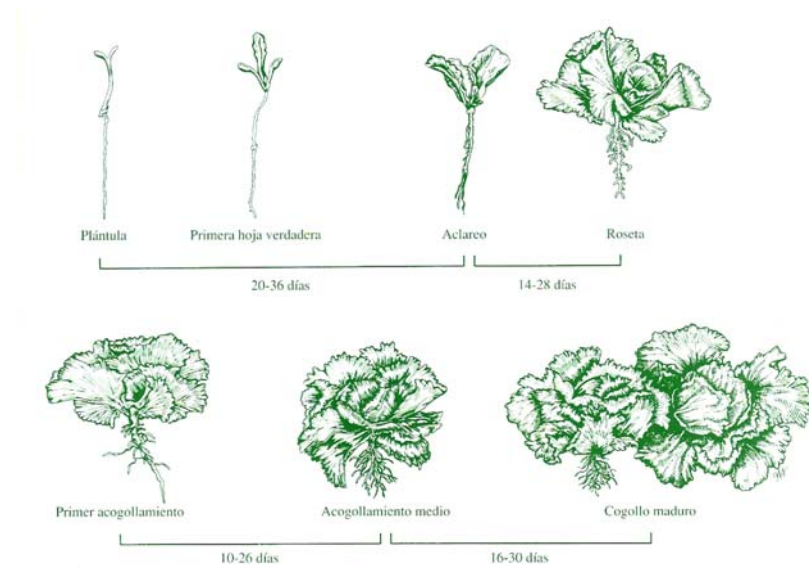


Figura 1. Fases de crecimiento de lechuga (Davis, 1997).

Dentro del tipo de lechugas sin acogollar se encuentra una gran cantidad de variedades tanto de tipo verde como roja y de una gran cantidad de tamaños, estructura y coloración, las lechugas de hojas sueltas cuentan con un periodo de crecimiento corto. Es la Hortaliza típica de las ensaladas, siempre ha sido considerada como una planta de propiedades tranquilizantes. Su alto contenido en vitaminas la hace una planta muy apreciada en la dietética moderna. A veces se consume hervida y su utilización troceada en cuarta gama ha ampliado el consumo hacia un ámbito más industrial (Gómez *et al.*, 2000 y Morgan, 1999).

4.3 Hidroponía como alternativa productiva de hortalizas

La hidroponía es una ciencia que se encarga de estudiar el correcto cultivo de diferentes tipos de plantas sin suelo, las cuales pueden desarrollarse en diversos tipos de sustratos e incluso en sistemas de raíz flotante o recirculante. Esta técnica consiste en aportar los nutrientes por medio de una fórmula nutritiva, balanceada con los macro y micro elementos necesarios, directamente a la raíz para el óptimo desarrollo de la planta. Debido a

diversos problemas como escasez de agua, alta explotación de suelos para el cultivo intensivo de hortalizas, erosión de suelos y contaminación de mantos acuíferos por el uso inadecuado de productos químicos en la agricultura, entre otros, se han desarrollado diferentes métodos modernos para la producción de hortalizas, y de esta manera, disponer de alimentos frescos e inocuos al alcance de la población (Delfín, 2001).

Debido a que la inversión inicial para la instalación de sistemas hidropónicos en comparación de los tradicionales es costosa, la mayoría de los sistemas hidropónicos se usan en invernadero, generalmente para controlar con mayor precisión las condiciones ambientales y estar en condiciones de cultivar durante todo el año; sin embargo, estos sistemas hidropónicos no son exclusivos de invernaderos (Morgan, 1999), también pueden ser implementados a cielo abierto para diferentes hortalizas.

Existen diferentes tipos de sistemas hidropónicos para el cultivo de hortalizas; desde sistemas simples, manuales a sistemas sofisticados y automáticos. El nivel tecnológico del sistema será dependiente de la superficie mínima rentable del cultivo y de la capacidad o alcance económico del productor (Alvarado, *et al.*, 2001).

En sistemas hidropónicos, especies donde la planta entera constituye la producción del cultivo como es el caso de la lechuga, se ofrece la posibilidad de acelerar el crecimiento y reducir el tiempo de producción, por lo tanto aumentar las rotaciones al reemplazar la planta que viene directamente del almácigo al tubo (Carrasco, 1996).

4.3.1 El sistema (NFT), una opción para la producción de hortalizas de hoja

El NFT (Nutrient Film Technique) por sus siglas en inglés, es una técnica desarrollada a mediados de la década de los sesenta por el Dr. Allan Cooper,

también conocida como técnica de flujo laminar o sistema de recirculación continua (Jensen y Collins, 1985; Resh, 1992). Es un sistema de cultivo sin suelo con un medio de crecimiento que sirve para darle a la planta el soporte adecuado, en el cual la raíz queda en contacto con una delgada capa de solución nutritiva que se encuentra en constante recirculación, la cual aporta a la planta la cantidad necesaria de agua, nutrientes y oxígeno para su óptimo desarrollo.

El sistema NFT es un sistema cerrado, donde se hace fluir una lámina de solución nutritiva a través de los canales de cultivo, donde se desarrolla el sistema radical de las plantas ubicadas en la parte superior de cada canal. Se cuenta con un sistema de drenaje, que recolectará la solución nutritiva que no fue captada por las plantas para después ser bombeada y puesta nuevamente a disposición de las plantas (Camacho, 2003).

Las raíces de la lechuga crecen por dentro y a lo largo del canal uniformemente. El canal de cultivo tendrá una pendiente del uno al dos por ciento dependiendo de la longitud de la tubería, desde donde se encuentra la terminal de entrada hasta donde se encontrara ubicada la salida (Resh, 2001). Método por el cual la solución nutritiva regresa por gravedad hasta el tanque colector.

La lámina de la solución de nutrientes no deberá nunca elevarse por encima de la masa radicular. Esto asegura que todas las raíces estén húmedas, pero también que su superficie exterior este en contacto con el aire. Así, con independencia de la longitud del canal, nunca podrá ocurrir una reducción del aporte de oxígeno para las raíces (Resh, 2001). En la fig 2. Se muestra el desarrollo radicular adecuado en un sistema NFT.

Según Cooper (1996) los factores necesarios para conseguir un correcto flujo laminar de nutrientes son los siguientes:

1. La pendiente en la cual circulará el agua, debe ser completamente uniforme y no debe haber depresión aunque sea de milímetros.

2. El caudal de agua a través de los canales no debe ser excesivo.
3. La anchura de los canales de cultivo, en los cuales se asientan las plantas y se desarrollan las raíces, debe ser adecuado para el buen crecimiento de la misma y evitando el daño entre ellas. El rendimiento del cultivo se ve reflejado proporcional a la anchura de los canales.
4. La base de los canales debe ser llana, nunca curvada, puesto que en caso de ser curvada la profundidad sería excesiva.



Figura 2. Desarrollo radicular en canales de cultivo PVC. Invernaderos Top-Green.

4.3.2 Diseño de sistema (NFT) con canales de cultivo en PVC

Para la construcción de un sistema NFT es posible adquirir tubería de plástico utilizado en las viviendas o también se puede adquirir PVC. Canal que servirá adecuadamente para la producción de lechuga tipo europeo. Para evitar bloqueo de canales por el sistema radicular de la planta, así como insuficiencia de oxigenación o gradientes de nutrientes es necesario adecuar la longitud de la tubería que servirá como canales de cultivo a una longitud no mayor a 15 m. Los Sistemas de NFT en PVC cuentan con series de tubería con un diámetro de 2 a 3 pulgadas (5-7.6 cm) a los cuales se les perfora una serie de agujeros, en línea, en la parte superior con un diámetro

de 1½ pulgadas (3.80 cm) y una distancia entre los centros de los agujeros de 6½-7 pulgadas (16.50-18.00 cm) lo cual proporcionará el espacio suficiente para el desarrollo de las lechugas (Resh, 2001).

Según (Resh, 2001) "...las plantas se espacian 7.5 pulgadas (19 cm) dentro de las líneas, dando 20 cabezas por línea de 12 pies de largo (3.66 metros) y 8 pulgadas (20.24 cm) entre líneas. Este sistema utilizaría el 80% de la superficie del suelo del invernadero. En un invernadero de un acre (4,046.90 m²) teniendo en cuenta dos conjuntos de bancada de 15 pies (4.58 metros) se podrían orientar perpendiculares a los canales y postes del invernadero. Este contendría 88,740 plantas utilizando un espaciamiento de 7.5 pulgadas por 8 pulgadas...". Sistema que podría proporcionarnos hasta (27 plantas/m²) dándonos una densidad de hasta 216,000 plantas/hectárea. En la figura 3 se muestran los canales de cultivo en construcción en invernaderos Top Green.



Figura 3. Canales de cultivo en construcción. Invernaderos Top-Green.

4.3.3 Componentes del sistema (NFT)

Según Carrasco (1996) el sistema básico NFT se constituye de cinco elementos iniciales:

Estanque colector

El depósito de nutrientes dependerá en gran medida de los materiales a disposición del constructor o como lo desee el productor, el cual deberá tener la suficiente capacidad para almacenar un litro de agua por cada lechuga cultivada en el sistema (Resh, 2001).

En algunos sistemas de solución recirculante se escoge un tanque con la capacidad de almacenar el doble de la solución que está circulando por el sistema, de esta manera a mayor capacidad se reduce el número de veces que la solución es aforada o reemplazada para tener la cantidad adecuada de nutrientes. Se puede calcular el tamaño del tanque empleando la fórmula:

$$\text{Tamaño mínimo (1)} = 2000 \times N \times L \times A \times P + L_1 \times (d_1 \times 0.5) \times 2x$$

3,1416

$$+L_2 \times (d_2 \times 0.5) \times 2x$$

3,1416

$$+L_3 \times (d_3 \times 0.5) \times 2x$$

3,1416

Dónde: N = número de canales

L = longitud de canales en metros

A = Anchura de canales en metros

P = profundidad de la solución de canales en metros

L_2 = longitud del conducto del suministro en metros

d_2 = diámetro interno del conducto de suministro en metros

L_2, d_2 etc. = longitudes y diámetros internos de los siguientes

conductos de suministro en metros.

La posición del Estanque estará determinada por la dirección en la cual fluye la solución en los canales de cultivo, ya que la solución bombeada regresará al estanque por gravedad para posteriormente ser reutilizada, de este modo debe ubicarse en el centro del módulo de la zona de cultivo en un nivel inferior a comparación del canal colector. Es importante considerar el aislamiento del estanque, de esta manera se disminuyen las fluctuaciones de temperatura en la solución y se evita la incidencia de luz para impedir el crecimiento de algas (Morgan, 1999). En la Figura 4 Se muestra el Tanque colector de solución nutritiva y sus condiciones de manejo. Invernaderos Top-Green



Figura 4. Tanque colector de solución nutritiva. Invernaderos Top-Green.

Canales de cultivo

Los canales de cultivo son determinantes en el éxito del sistema NFT. Su conformación, profundidad y longitud influyen en la calidad del producto final (Furlani *et al*, 1999). Los canales se pueden construir de plástico o ser comprados a los fabricantes de canales de cultivo en PVC, los canales pueden ser llenados con perlita o bien dejarse vacíos y cubrirlos con polietileno negro perforado donde se encontrará ubicada cada planta (Resh, 2001).



Figura 5. Marco de plantacion en canales de PVC. Invernaderos Top-Green.

Los principales requerimientos para determinar el tipo de canal de cultivo son los siguientes (Rios, 1995):

1. Tener el suficiente espacio para el desarrollo del sistema radicular de la planta de interés.
2. Ser inerte a la solución nutritiva y a las plantas cultivadas en los canales
3. Ser de material rígido, de esta manera se evitará formar depresiones entre los soportes
4. Estar aislado a factores externos como: contaminación, plagas y enfermedades, y
5. Buscar el material más económico posible

Los tubos de PVC de 3 y 4 pulgadas son los más utilizados en la producción de lechuga, debido a que sirven para todas las fases del cultivo. Este tipo de canales de forma circular dificulta el logro de una lámina fina como la obtención de sistemas radicales expandidos a lo cual se recomienda disminuir el flujo de solución (Rodríguez *et al.*, 2002).

Las siguientes formulas ayudan a calcular un correcto funcionamiento del sistema:

Volumen de un canal con pendiente 0 (V) Litros = $100 \times L \times A \times P$ (m)

Donde: L = longitud en metros

A = anchura en metros

P = profundidad en metros de la solución en canal. Si el canal es circular

A x P deben ser sustituidos por $[(A/2)^2 \times 3.1416] \times P/A$

Nutriente de ida y vuelta con pendiente 0 (minutos) = F/V

Dónde: F = flujo en litros por minuto

V = volumen del canal en litros y

la velocidad (metros/minuto) de la solución = Flujo (m³/minuto)/área entre cruces (m²).

Bomba

Para plantas de porte pequeño, la potencia de la bomba dependerá de la superficie del área de producción, adecuándose a la necesidad de abastecer de dos a tres litros de solución por canal de cultivo (Rodríguez *et al.*, 2002).



Figura 6. Bomba de propulsión. Invernaderos Top-Green.

La bomba debe estar localizada cerca e instalada a un nivel superior del estanque sobre una base firme para evitar los movimientos y las vibraciones, por lo cual es importante tener una válvula de retención para evitar que la bomba llegue a descargarse y funcione en seco (Carrasco, 1996).

Red de distribución

El diámetro o las dimensiones de las redes de distribución dependen del volumen que tenga que ser distribuido desde la bomba de impulsión hacia la parte superior de los canales de cultivo, sin embargo como el flujo requerido no es mayor a los dos o tres litros por minuto, comúnmente el diámetro de las tuberías, siendo preferente el PVC, no debe ser mayor a una pulgada (Carrasco *et al.*, 1996; y Rodríguez *et al.*, 2002).



Figura 7. Líneas de distribución. Invernaderos Top-Green.

Tubería colectora

La tubería recolectora está conectada a los canales de cultivo en la parte más baja de los canales y a una altura más baja de los mismos, de esta manera la solución nutritiva cae por gravedad creando una turbulencia y oxigenando la solución, además esta tubería se encuentra distribuida en pendiente descendente hacia el estanque colector. El material preferentemente utilizado en la actualidad es el PVC, aunque también es posible habilitar canaletas abiertas de diferentes materiales cubiertos por plástico (Carrasco *et al.*, 1996).

La tubería colectora que funcionará para drenar la solución nutritiva, se debe seleccionar adecuadamente para que tenga la capacidad de drenar el volumen proveniente de cada canal teniendo el mismo flujo de solución. Se calcula multiplicando el flujo suministrado por los conductos, por el número total de canales.

Canal de drenaje en cada área entre cruces (m^2) = $1,2 \cdot (V/1000 \times n)/l$

Dónde: V = volumen de solución en cada canal en litros

N = número de canales por canal de drenaje

l = longitud del canal de drenaje (Morgan, 1999)



Figura 8. Tubería de drenaje de SN. Invernaderos Top-Green.

4.4 Contenido nutrimental de la solución recirculante

Las necesidades nutrimentales demandadas por las plantas en una solución hidropónica dependerán directamente de la especie, la variedad, etapa fenológica en la que se encuentre el cultivo y las condiciones ambientales en las cuales se desarrollaran las plantas. (Carpena *et al.*, 1987; y Adams, 1994).

Según Morgan, (1996) "...Hay 18 elementos necesarios o beneficiosos para el desarrollo de las plantas: carbono (C), hidrogeno (H), y oxígeno (O) los suministran el aire y el agua. Los seis macronutrientes nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) son necesarios en grandes cantidades. El resto de los elementos se necesitan en pequeñas cantidades y se denominan microelementos, entre éstos los esenciales son boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), sodio (Na), zinc (Zn), molibdeno (Mo) y níquel (Ni) este último solo presente en los últimos estudios.

Los elementos denominados beneficiosos no son esenciales para todas las plantas pero pueden ser necesarios en algunas, como el silicio (Si) que puede ser beneficioso en la lechuga para ayudar a compensar niveles de algunos elementos, y el cobalto (Co) que es esencial en la fijación de nitrógeno en las hortalizas (Morgan, 1999).

Para que los nutrimentos contenidos en la solución nutritiva estén disponibles para la planta, todos los iones deben encontrarse disueltos formando una solución verdadera, evitando la pérdida por precipitación de algunas formas iónicas, ya que esto se presentará reflejado como deficiencias nutricionales y también se generan desbalances de la relación existente entre iones (Steiner, 1961).

4.4.1 Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica es un parámetro que mide la cantidad de sales nutrientes disueltas en la solución hidropónica, a mayor concentración de iones mayor es la CE y a menor concentración decrece. La CE puede incrementarse con la transpiración de la planta y la evapotranspiración, para solucionar esto se puede agregar agua limpia y cuando disminuya puede corregirse aplicando cantidades calculadas de solución madre o de fertilizantes. Es necesario tomar en cuenta que se tienen que evitar aguas de riego muy salinas, para evitar perjudicar la planta en su crecimiento (Morgan 1999; y Rodríguez *et al.*, 2002).

Vázquez, 2014. Afirma que pueden utilizarse aguas de riego salinas para el equilibrio nutrimental siempre y cuando se mantenga un balance entre aniones y cationes y no contengan iones dañinos en cantidades perjudiciales, con ello se puede tener ahorro en el costo del sistema de riego.

4.4.2 Efecto del pH en el crecimiento de las plantas en una solución nutritiva.

El pH indica el número de iones de hidrógeno en una solución hidropónica y puede oscilar entre 0 y 14. Una solución neutra contendría un pH de 7 mientras que una solución ácida comprende de 0 a 6.9 y una solución alcalina de 7.1 a 14. El pH de una solución hidropónica es importante debido a que controla la disponibilidad de los nutrientes. Para el cultivo hidropónico de la lechuga se considera un pH de 5.6 a 6.0 ya que las deficiencias

nutricionales se encuentran presentes en medidas mayores o inferiores de este rango (Morgan, 1999).

Vázquez (2014), menciona que con un pH menor a 4.5 las raíces pueden sufrir quemaduras. Por ello se deben evitar fluctuaciones drásticas en pH menores a 5.0. La lectura del pH se hace de forma directa y se utiliza un potenciómetro, debe estar calibrado previamente para evitar datos erróneos, aunque también existen cintas indicadoras que se sumergen en la solución y son comparadas con el tutor para estimar el pH, aunque este método es menos exacto (Conchouso, 2012).

4.4.3 Oxigenación de solución nutritiva

La absorción de nutrientes por las raíces de las plantas es un proceso que depende de la energía metabólica (Trifosfato de Adenosina: ATP), que es originada por la respiración de las raíces. Cuando se presentan niveles bajos de oxígeno ocurre la muerte de meristemas radiculares y baja la absorción de los nutrientes, debido a esto la planta crece con mayor lentitud (Faquin *et al.*, 1996).

En estos casos Vázquez (2014), menciona que de persistir esta condición se presenta cloranemia y abscisión o pérdida de las hojas más maduras.

En soluciones las deficiencias de oxígeno están altamente relacionadas con la temperatura de la solución nutritiva y con la cantidad de ácido requerida para mantener el pH (Giserol y Adams, 1983) La cantidad de oxígeno necesaria para la adecuada absorción de nutrientes es como mínimo de 4 ppm, la ausencia de este hará que el proceso de absorción se interrumpa y marchite o incluso matará la planta (Morgan, 1999).

4.5 Cultivo de lechuga en sistema (NFT)

La Lechuga se cultiva en todos los países del mundo durante casi todo el año, debido al porte pequeño y a su raíz pivotante corta, es una planta adecuada para cultivarse en hidroponía (Alvarado *et al.* 2001).

El NFT es utilizado para el cultivo de lechuga desde hace muchos años, los primeros sistemas fueron instalados en invernaderos típicos, en cuyos suelos eran instalados los canales de cultivo para el sistema.

Es una técnica de cultivo intensivo ya que los rendimientos por unidad cultivada son mayores debido a una alta densidad de plantación, elevada precocidad en la producción y una cantidad mayor de cosechas al año, además de ser el sistema con mayor ahorro de agua (Alvarado, 2001).

La Lechuga es considerada la hortaliza de hoja por excelencia, y es la principal especie cultivada en NFT, ya que es posible obtener lechugas con alta calidad y además tener varias cosechas al año. A diferencia de las lechugas cultivadas en suelo, las lechugas producidas en este sistema muestran una mejor calidad y alta palatabilidad, es una fuente moderada de vitaminas y minerales, y aunque existen diferencias dependiendo la variedad, las lechugas de hoja suelta tienen una proporción más elevada de hojas verdes, por lo tanto cuentan con cantidades más altas de vitaminas A y C, además que cuentan con aportes importantes de calcio (Carrasco *et al.*, 1996; Davis *et al.*, 1997).



Figura 9. Producción de lechuga en canales de PVC en Invernaderos Top-Green.

El sistema está siendo implementado en distintas formas, principalmente en zonas donde el agua es escasa y no se encuentra a fácil disposición de los productores. Es posible implementar estos sistemas en empresas de tipo agroecológico, y para esto es indispensable contar con inversiones altas y el apoyo de un especialista o bien contar con los conocimientos necesarios de la producción hidropónica, de esta manera se aumentará la capacidad de producción por unidad de superficie (Carrasco *et al.*, 1996).

4.5.1 Ventajas de producción en sistema (NFT)

Una de las principales ventajas del NFT a diferencia de otros sistemas hidropónicos, es que la disposición de agua y elementos minerales permite a la planta desarrollarse libre de estrés y en condiciones óptimas para su desarrollo, de esta manera el tiempo de siembra a cosecha se ve disminuido y al mismo tiempo aumenta el rendimiento (Urrestarazu, 2004).

El sistema puede ser instalado en regiones territoriales con suelos no aptos para la agricultura y donde se presentan condiciones de escasez de agua, debido a que con los sistemas hidropónicos se presenta un menor consumo de agua y un mayor aprovechamiento de los fertilizantes (Rodríguez *et al.*,

2002), ya que la solución nutritiva es circulada constantemente en un sistema cerrado (Nelson, 1991). Así mismo, este sistema permite la producción de algunas hortalizas en lugares y/o productores que no cuentan con extensiones grandes de tierra, o bien se ubican en torno a los centros urbanos, con altos requerimientos de alimentos frescos e inocuos, de ahí la importancia de estos sistemas en los modelos de agricultura urbana y periurbana, que mediante modos de comercialización alternativos se obtienen precios adecuados que permiten un rápido retorno económico de esta actividad (Noguera, 1993).

4.5.2 Desventajas de producción en sistema (NFT)

Una de las principales y quizá más importante desventaja de estos sistemas es que al comenzar la planeación de un sistema de NFT es necesario conocer el manejo agronómico del cultivo, así como tener en cuenta la constancia y dedicación a este tipo de sistemas, además de ser necesario conocer la técnicas adecuadas del cultivo, experiencia en formulación de soluciones nutritivas y el conocimiento del mercado (Rodríguez *et al.*, 2002).

Debido a que el NFT es un sistema de recirculación cerrado, es posible la diseminación de patógenos a través de la solución nutritiva de manera rápida, lo cual puede afectar a todo el cultivo y poner en riesgo el éxito y la calidad del producto (Urrestarazu, 2004).

Debido a la falta de suelo o sustrato se pierde la capacidad buffer, por lo tanto las alteraciones en el suministro (los excesos como los déficit) de nutrientes se verá reflejado de manera inmediata, tomando en cuenta esto el productor debe estar atento al equilibrio de la fórmula nutritiva durante los diferentes estados fenológicos de la planta.

Aunado a lo anterior, una de las limitaciones más importantes es el alto costo por unidad de superficie de invernadero de tecnología baja, con alrededor de \$600.00/m² de inversión fija para la estructura del sistema (Vázquez, 2014).

4.5.3 Tiempo de recolección de diferentes variedades

La lechuga es recolectada al finalizar la etapa de crecimiento y un poco antes de comenzar la floración, cuando cada ejemplar cultivado en invernadero, pueda alcanzar un peso aproximado de 240 gramos, que en invierno se consigue con un tiempo aproximado trasplante a cosecha de 10 a 12 semanas y en verano entre 6 y 7 semanas. Los tipos de lechuga de hojas sueltas ya sean verdes o rojas requieren un tiempo de crecimiento de aproximadamente 45 días esto debido a que la producción en los sistemas con NFT presentan de un 30 a un 50% más rápido de crecimiento, que los sistemas con suelo (Morgan, 1999).



Figura 10. Cosecha y deshojado de lechuga cultivada en NFT. Invernaderos Top-Green.

Garzón 2006, evaluó tres variedades de lechuga en dos soluciones nutritivas a diferente concentración de sales en un sistema NFT; La variedad Parris obtuvo el mayor peso (167 g/planta) con la solución (N=89, P=26, K=125, Ca=31, Mg=13, Cu=1.1, Fe=2.3, Mn=2.5 Zn=1 y B=0.9 ppm), las variedades Vulcan (72 g/planta) y Verónica (52 g/planta) obtuvieron pesos muy bajos.

Carrasco en 1996 al realizar los estudios en el cultivo de lechuga en el sistema NFT, obtuvo resultados en sus evaluaciones, en los cuales asegura

que es posible obtener lechugas de buena calidad con aproximadamente 250 gramos de peso a los 35 días después de trasplante.

Fuentes 2013, Analizo algunas lechugas hidropónicas adquiridas en una tienda de autoservicio a las cuales se les evaluaron y registraron inmediatamente después de la compra, el número de hojas, longitud de raíz, longitud de hoja y finalmente el peso por pieza de lechuga, para lo cual registro en ambas variedades, un peso promedio de 212 g, una cantidad de 22 hojas, una longitud de raíz de 22 centímetros y un largo de hoja de promedio de 18 centímetros.

V MATERIALES Y METODOS

5.1 Ubicación del experimento

La evaluación del crecimiento de estas variedades de lechuga se realizó en un espacio acondicionado para la puesta en marcha del experimento en el municipio de Quecholac, Puebla ver figura 11. El municipio se encuentra a 2,160 msnm, prevalecen dos tipos climáticos anuales: un periodo seco y frío de noviembre a abril con temperatura mínima que oscila entre los 0 °C y 3 °C y la media máxima oscila entre los 21°C y 24°C, con heladas entre noviembre y febrero y una acumulación de 50 a 75 milímetros de precipitación anual. El otro periodo climático es húmedo y cálido de mayo a octubre con temperatura mínima que oscila de los 6 °C a los 9 °C y la máxima que va de los 24 °C a los 29 °C, con acumulación de lluvias entre los 325 y los 400 milímetros cúbicos.

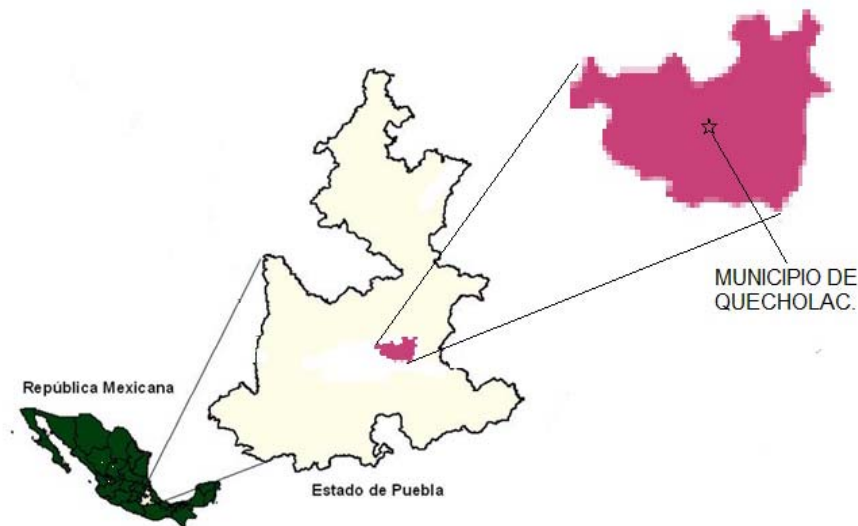


Figura 11. Municipio de Quecholac Puebla.

5.2 Diseño y establecimiento de sistema NFT

El sistema NFT cuenta con canales de cultivo conformados por cinco tubos de PVC de tres pulgadas (7.65 cm) de diámetro con una longitud de 7.5 metros; con una pendiente de uno por ciento entre el principio y el final de la tubería, separados 9.8 pulgadas (25 cm) entre cada canal de cultivo. Los canales de cultivo cuentan con orificios destinados al trasplante de las lechugas, con un espaciamiento entre ellos de 7.8 pulgadas (20 cm) lo cual da una superficie de producción total de 9.06 m² con una densidad de 180 plantas. Los canales de cultivo están soportados por bases de metal rígido a una altura de 1.2 metros sobre el suelo, con una separación entre ellas de un metro y sostienen fijamente los canales para evitar depresiones y con ello un estancamiento de la solución o deficiente fluidez de la misma. En la figura 12 y figura 13, se puede observar el diseño del sistema empleado.

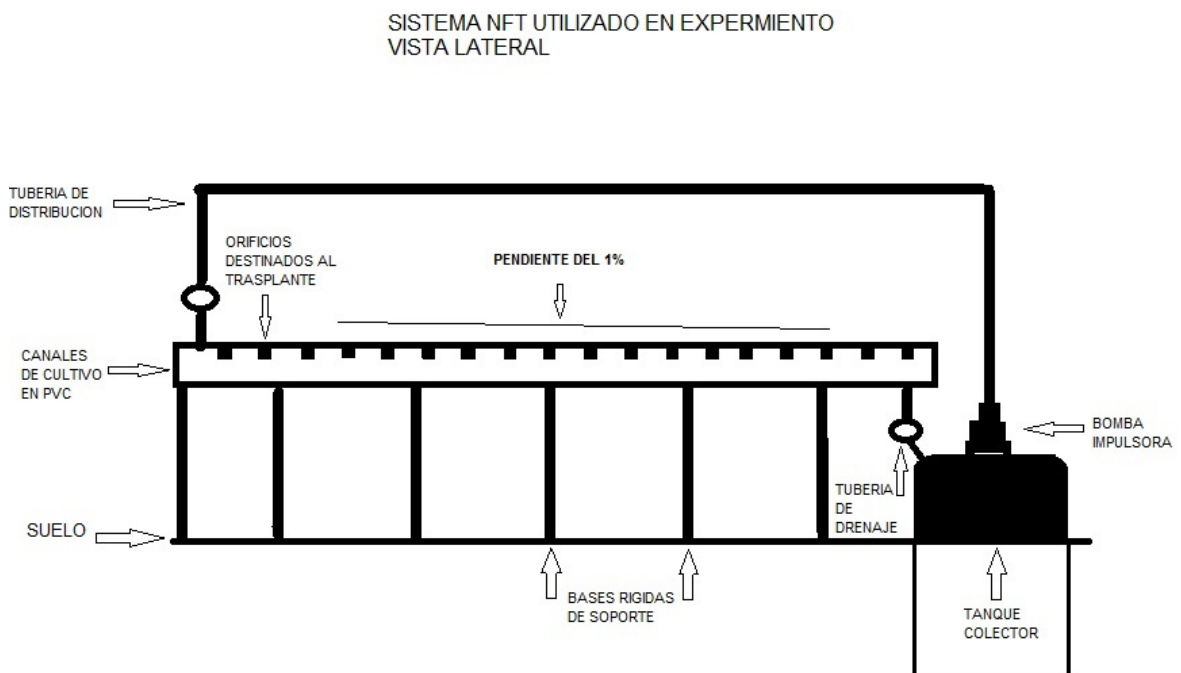


Figura. 12. Diseño de Sistema NFT. Vista lateral

SISTEMA NFT UTILIZADO PARA EL EXPERIMENTO VISTA FRONTAL

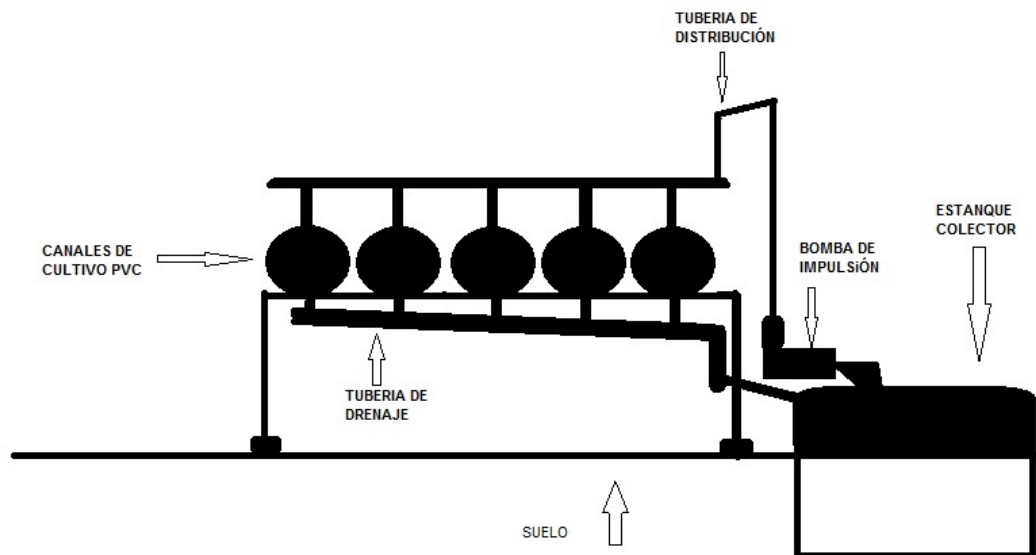


Figura. 13 Diseño de Sistema NFT. Vista Frontal.

Así mismo, este sistema cuenta con un Tanque colector con una capacidad de 200 litros en el cual se coloca la solución nutritiva que será impulsada a través de los canales de cultivo y después almacenada para su continua utilización. El tanque colector se colocó enterrado, con una distancia entre el canal de cultivo y el tanque colector de 60 cm para favorecer el regreso de la solución por gravedad a través de los canales de drenaje y con esa caída de agua, oxigenar la solución nutritiva.

Se cuenta con una bomba de $\frac{3}{4}$ de caballo para impulsar la fórmula nutritiva y que está ubicada a un costado del tanque colector en una base bien establecida y resistente para evitar movimientos de la misma que puedan perjudicar la tubería de distribución.

La distribución se realizó mediante un tubo de $\frac{3}{4}$ de pulgada (1.9 cm) hasta las llaves de distribución de los canales de cultivo; la solución circulará por los mismos creando así la lámina de nutrientes que estará en contacto con

las raíces de las plantas, aportando la cantidad necesaria de agua y nutrientes conforme sea requerido por la misma.

Al final de cada canal se encuentran ubicadas mangueras que drenan la solución nutritiva hacia un tubo colector y al tanque colector. Solución que será reutilizada en los próximos riegos.

Una vez instalado el sistema de solución recirculante y antes de ser colocadas las plántulas en los canales de cultivo, se instaló un dispositivo “timer” para controlar la frecuencia y duración de los riegos de manera automática, es decir regular la circulación de agua con la solución nutritiva dentro de los canales de cultivo, generándose el proceso de recirculación base de este sistema como es el reemplazo del agua y la oxigenación de las raíces de las plantas En la fig. 14 se muestra esta actividad. Para nuestro caso se aplicaron riegos de 15 minutos cada hora, desde una hora antes de que a la planta le dieran los primeros rayos de sol hasta que se ocultó éste, es decir en promedio se dieron 13 riegos diarios durante el ciclo de cultivo.



Figura 14. Correcta impulsión y recirculación de SN.

5.3 Producción de plántula

La siembra se realiza utilizando preferentemente charolas de germinación con 200 cavidades, para nuestro caso se utilizaron dos en la primera se sembró semilla de lechuga tipo Italiana variedad Big Star de la empresa Mar

Seeds y en la otra lechuga tipo sangría variedad Vulcan de la empresa Sakata, actividad realizada el día 20 de septiembre del 2013. Se utilizó como sustrato peat moss; se procede a cubrir las charolas de siembra con un plástico por los siguientes cinco días y dándole los cuidados correspondientes (tales como la humedad del sustrato para evitar una mala germinación por falta de agua) desde la germinación hasta que la plántula cuente con una altura aproximada de 5-8 cm de altura y cuente con 3 o 4 hojas verdaderas.



Figura 15. Plántula lista para Trasplante Intermedio.

5.4 Trasplante intermedio o raíz flotante

Este trasplante se realiza cuando la planta obtiene de dos a tres hojas verdaderas; en nuestro caso fue a los 22 días después de la siembra, el 12 de octubre del 2013. Se obtienen de la charola de germinación, con mucho cuidado, las plantas con cepellón completo, inmediatamente se agrega agua a la raíz y se lava, dejándola libre de residuos de sustrato para evitar que el agua del sistema de raíz flotante pueda contaminarse (se deja a la raíz completamente desnuda).

Como un proceso paralelo a este lavado de raíz, se procede a cortar esponjas de un grosor de dos centímetros y un ancho que corresponde a las

dimensiones del vaso, posteriormente la esponja es diseccionada con la finalidad de que la esponja cubra por completo el diámetro del tallo de la planta y sirva para sostenerse dentro del canal de cultivo.

Una vez acomodada la planta dentro de la incisión de la esponja, se procede a desfondar el vaso (el tamaño del vaso dependerá del diámetro de los orificios hechos en el canal de cultivo), y a colocar la planta abrazada por la esponja dentro del vaso ahora desfondado, de tal manera que el sistema de raíz flotante y posteriormente el canal de cultivo tendrán la capacidad de sostener el vaso con la esponja y la planta dentro, que servirá como un modo de apoyo para que la planta este fija y pueda desarrollarse adecuadamente.



Figura 16. Preparación de plántula para trasplante intermedio.

El trasplante intermedio es realizado inmediatamente después de colocar las plantas en los vasos con las esponjas y se pasan a una charola de termopor con orificios para permitir acomodar los vasos anclados sobre la charola y la raíz quede en contacto con el agua, se recomienda realizar los orificios cada diez centímetros cuadrados para que se tenga una densidad de trasplante intermedio de hasta 100 plantas por m². La charola de termopor ya con las plantas acomodadas será ubicada sobre un recipiente (estanque) con la suficiente agua para mantener hidratadas las plantas (se recomienda 200 ml por planta para evitar deshidratación).

El agua que contiene el recipiente en el cual se encontraran flotando la charola y las plantas, tendrá la mitad de la concentración de la solución nutritiva, es decir, se aplica la mitad de todos los ácidos y fertilizantes con la finalidad de comenzar aportando a la planta lo necesario para su crecimiento y disminuir el riesgo de estrés por el cambio brusco de ambiente. Se aplica además la cantidad de diez mililitros por litro de agua de alguna hormona enraizante y dos punto cinco gramos de tiofanato metílico para evitar enfermedades fungosas en las plantas.

Una vez lista la planta, después de haber pasado 5 días dentro del sistema de raíz flotante, se procede a ser ubicada en los canales de cultivo.

5.5 Preparación de la solución nutritiva

La solución nutritiva se prepara considerando la solución ideal del cultivo menos la aportación del agua de riego con el análisis de agua realizado en la fuente que abastecerá el sistema NFT.

La cantidad de fertilizantes a aplicar en el tanque colector en cada carga de solución nutritiva se obtiene con el programa “Preparación de Soluciones Nutritivas”, en base a la solución ideal de Steiner y los aportes que se tuvieron del agua de riego. Se balancea y calculan la cantidad de fertilizantes que se aplicaran en cada carga del tanque.

	Aniones meq L ⁻¹					Cationes meq L ⁻¹					dS m ⁻¹	
	N-NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	CE
Agua de riego	0.32	0.023	0.24	4.1	0	0	0.16	3.13	1.17	0.13	7.18	1.01
Disolución ideal	12.8	1.7	6.5	2.1	0.0	1	7.1	8.4	5.46	0	5.8	2.21
Aportes previstos	12.49	1.66	6.27	-2.00	0.00	1.00	6.98	5.27	4.29	-0.13	5.70	
Aporte en ppm	179.3	163	312.7	128.1	0.0	14	279	168	66	3		
	PO ₄ ⁻	161										
	P	52										
Relación K/N		1.56										

Figura 17. Aportes de elementos de análisis de agua, solución ideal y aportes previstos.

Para nuestro caso, la cantidad de fertilizantes aplicada al tanque de 200 litros fue la siguiente:

FÓRMULA PARA LECHUGA EN NFT			
CANTIDADES DE FERTILIZANTES COMERCIALES POR 200 LITROS DE AGUA			
FUENTE	FÓRMULA	UNIDAD	CANTIDAD
ÁCIDO NÍTRICO	HNO ₃	ml	5.00
ÁCIDO FOSFÓRICO	H ₃ PO ₄	ml	24.00
NITRATO DE POTASIO	KNO ₃	gramos	81.00
NITRATO DE CALCIO	Ca(NO ₃) ₄ H ₂ O	gramos	125.00
FOSFONITRATO	NH ₄ NO ₃	gramos	21.00
SULFATO DE POTASIO	K ₂ SO ₄	gramos	52.00
SULFATO DE MAGNESIO	MgSO ₄ 7H ₂ O	gramos	79.00
NITRATO DE MAGNESIO	Mg(NO ₃) ₂ 6H ₂ O	gramos	41.00
QUELATO DE FIERRO EDDHA	EDDHA Fe	gramos	8.00
SULFATO DE MANGANESO	MnSO ₄ 2H ₂ O	gramos	5.00
SULFATO DE COBRE PENTAH.	CuSO ₄ 5H ₂ O	gramos	
SULFATO DE ZINC HEPTAH.	ZnSO ₄ 7H ₂ O	gramos	
BÓRAX	Na ₂ B ₄ O ₇ 10H ₂ O	gramos	
SUMA		gramos	441.00

Figura 18. Cantidad de fertilizantes por tanque de 200 litros para satisfacer la solución nutritiva.

Se prepara la solución nutritiva en un recipiente en el cual se mezclan todos los componentes de la fórmula nutritiva, añadiendo las cantidades exactas de cada elemento y teniendo extremas precauciones en el manejo de ácidos y fertilizantes. Se realiza una mezcla homogénea con todos los componentes que después son vaciados al tanque colector para aforar a la cantidad deseada, una vez preparada la solución nutritiva, se pone en marcha la bomba impulsora para corroborar el funcionamiento de todas las partes componentes del sistema NFT, poniendo atención en la circulación continua y evitar tener cerrada alguna llave de paso para que el líquido sea distribuido

uniformemente y se eviten derrames por exceso de agua en algunos canales de cultivo.



Figura 19. Preparación de Solución Nutritiva.

5.6 Trasplante definitivo

Se extraen las plantas ubicadas en el sistema de raíz flotante e inmediatamente se realiza la colocación de la plántula dentro de los orificios de los canales de cultivo en el sistema NFT, en nuestro caso esta actividad se realizó el día 18 de octubre 2013, a los 28 días después de la siembra. El correcto funcionamiento del sistema tendrá que ser revisado minutos antes del trasplante definitivo y durante el mismo, de esta manera las plantas tendrán una mejor adaptación al sistema NFT, ya que los canales de cultivo son el medio donde circula, según el calendario de riego, el agua con los nutrientes necesarios para su crecimiento y donde estarán siendo cultivadas hasta el fin de su desarrollo.



Figura 20. Trasplante de lechuga a canal de cultivo.

5.7 Control de principales variables para la producción

Para el desarrollo adecuado del cultivo es necesario mantener una constante vigilancia de las variables de conductividad eléctrica, ph, temperatura y oxigenación de la solución nutritiva.

5.7.1 Conductividad eléctrica.

Realizar los controles o estimaciones para saber la concentración real de nuestra solución nutritiva en el momento y conforme sea requerido por las plantas y dependiendo del estado fenológico de las mismas. De este modo realizar las acciones correspondientes en primer estado fenológico de 1.9 ds/m y posteriormente en el proceso de crecimiento de 2.1 ds/m. En nuestro caso, se tomaron los datos diarios de la solución para aforar y evitar deficiencias nutricionales. La medición de la conductividad eléctrica se realiza con un medidor portátil o automático que en este caso fue un potenciómetro marca Hanna tipo combo, que está diseñado para lograr una alta precisión de mediciones de pH/CE/TDS/°C.



Figura 21. Adecuada cantidad de sales aportada para adecuado desarrollo de la lechuga.

Las mediciones se realizaron todos los días por la mañana, sosteniendo el potenciómetro dentro de la solución hasta que el sensor del aparato arrojará las medidas exactas de la solución.

5.7.2 Registro de pH en solución nutritiva.

Controlar el grado de acidez o alcalinidad de la solución es necesario para mantener disponibles los minerales en la solución nutritiva, que en nuestro caso tiene que encontrarse entre 5,5 y 7. Fue registrado todos los días del cultivo a primera hora de la mañana para evitar indisponibilidad de elementos durante el día y evitar el estrés en el crecimiento de las plantas.



Figura 22. pH controlado para adecuada disponibilidad de nutrientes.

Para la regulación del pH se utilizan ácidos como lo son el nítrico y el fosfórico, los cuales además de bajar el pH, ayudan a balancear la solución nutritiva aportando nitrógeno y fósforo y equilibran los bicarbonatos. Para evitar el desperdicio de la solución por el exceso de ácido, es necesario calcular la cantidad necesaria para no aportar más elementos al aplicar estos dos ácidos, si el pH no se establece en forma satisfactoria es necesario aplicar ácido sulfúrico hasta establecer el pH óptimo, el cual solo aportará azufre y no permitirá que la solución nutritiva se desestabilice o se desbalance por el exceso de algunos elementos químicos en la solución.

5.7.3 Temperatura y oxigenación del agua

Determinar La temperatura del agua es un requisito para identificar en qué momento se tiene que aumentar el tiempo de riego para evitar la deshidratación de la planta por el exceso de transpiración, ya que al aumentar la temperatura también aumenta la demanda de oxígeno en la planta. El procedimiento práctico para esta actividad es aumentar los riegos durante las horas de mayor temperatura ambiental.

La oxigenación de la solución nutritiva fue realizada en dos partes del sistema de producción, una fue realizada en las caídas ubicadas en la tubería y la otra realizada mediante el regreso de la solución por la tubería de drenaje.



Figura 23. Oxigenación de Solución Nutritiva.

5.8 Variables evaluadas

El experimento contó con un total 180 plantas distribuidas en cinco canales, 90 de la variedad Big Star y 90 de Vulcan, sembradas en canales alternos en cuatro de ellos; mientras que para el quinto canal, se sembró la mitad de éste con cada variedad. La toma de datos se realizó en el 16.6% de las plantas de cada una de las variedades (15 plantas por variedad). La definición específica de cada planta se llevó a cabo con muestreo aleatorio utilizando el

programa Excel. Las variables evaluadas de cada individuo fueron las siguientes:

Numero de hojas

Longitud de raíz

Largo de hoja

Peso de Lechuga

Descripción fenológica del cultivo de Lechuga en sistema NFT.

VI RESULTADOS

6.1 Número de hojas

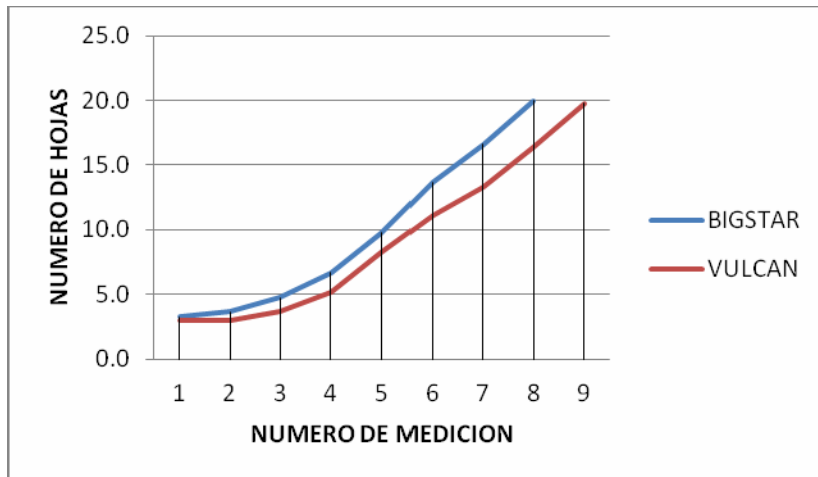


Figura 24. Numero de hojas de lechuga durante desarrollo fenologico y sus diferentes mediciones.

La cantidad de hojas que la planta desarrolla representa el crecimiento en relación con el volumen de la planta, teniendo en cuenta que entre mayor cantidad de hojas se tiene un mayor aprovechamiento de luz y por lo tanto se mejora la fotosíntesis. La variedad Big star alcanzo una cantidad promedio de 20 hojas a las 7 semanas despues del trasplante, mientras que la variedad vulcan, obtuvo un promedio de 19.8 hojas una semana despues.

6.2 Longitud de raíz.

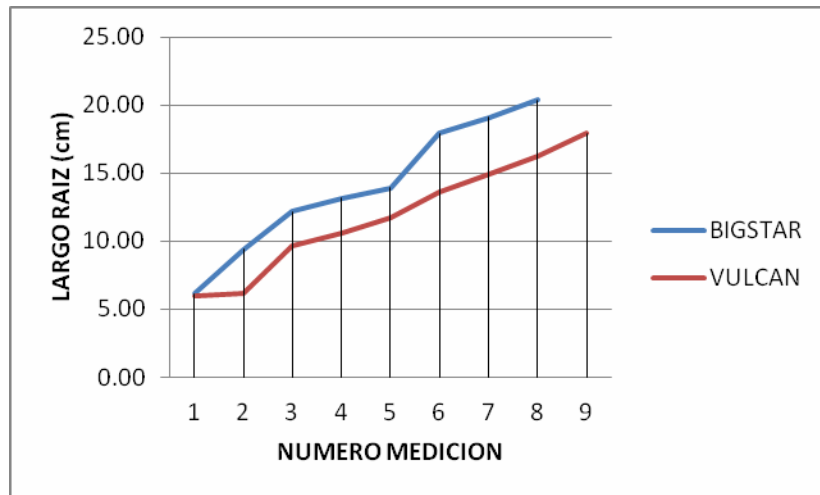


Figura 25. Longitud de raíz de lechuga durante desarrollo fenológico y sus diferentes mediciones.

Debido a que en el sistema NFT la raíz no tiene una función de anclaje de la planta al suelo, solo funciona para adquirir el agua y los nutrientes necesarios para el desarrollo y crecimiento de la planta, por lo que es importante tener cuidados especiales para evitar enfermedades y muerte de los meristemos apicales por falta de oxigenación de raíz. En el registro del crecimiento de la raíz se observa que la raíz de la variedad Big star alcanzó un promedio más alto de crecimiento, mientras que la variedad vulcan, parece detener el crecimiento la primer semana y después crece de una manera rápida pero no supera el crecimiento de la variedad anterior.

6.3 Largo de Hoja

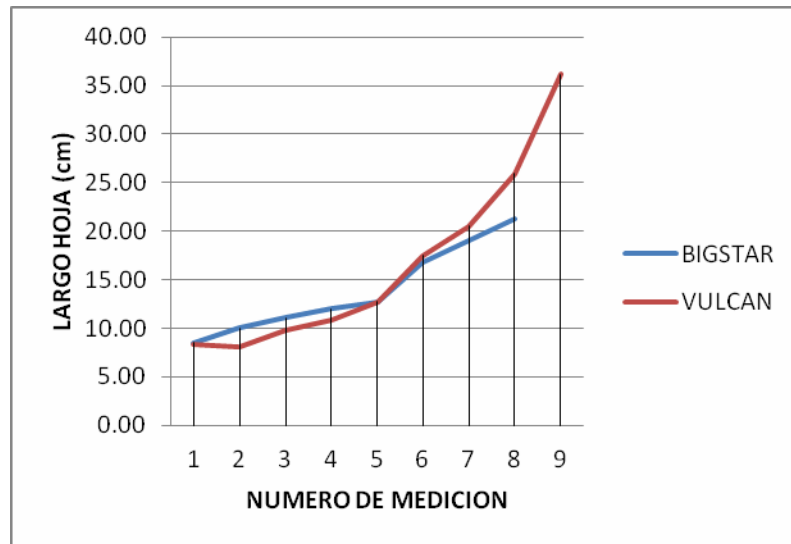


Figura 26. Largo de hoja de lechuga durante el desarrollo fenologico y sus diferentes mediciones.

La longitud de la hoja se ve directamente reflejada en la cantidad de area fotosintetica de la planta, se puede observar que existe una relacion entre el crecimiento de la hoja y el crecimiento de la raiz en la variedad Big star, mientras que en la variedad vulcan existe una rango mayor de diferencia entre el crecimiento del largo de la hoja y el largo de la raiz.

6.4 Peso de lechuga

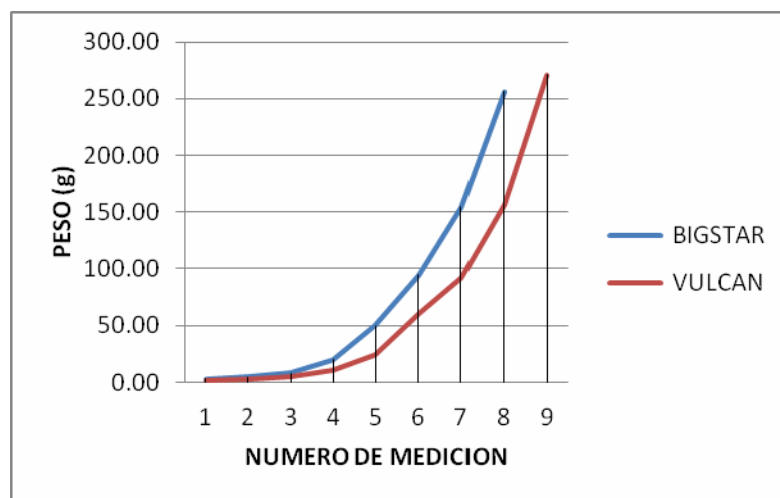


Figura 27. Peso de lechuga durante desarrollo fenológico y sus diferentes mediciones

El peso de la lechuga es la variable mas importante debido a que la finalidad del trabajo es evaluar el tiempo de crecimiento hasta alcanzar el peso deseado por el productor. En la grafica puede observarse que el crecimiento de la variedad Big es mas acelerado y que a las 7 semanas alcanza un peso promedio de 256 gramos, mientras que la variedad vulcan a las 8 semanas tiene un peso de 271.06 gramos, lo cual muestra que la variedad Big star tuvo una adaptación mas rapida al sistema de NFT al aire libre.

6.5 DESCRIPCIÓN FENOLOGICA DEL CULTIVO DE LECHUGA EN SISTEMA NFT

6.5.1 Siembra

Para realizar la siembra de las semillas es importante tener en cuenta el sustrato, de preferencia debe tener la capacidad para retener humedad, al mismo tiempo tener la capacidad de drenar el agua, retener nutrientes. Pueden realizarse distintas mezclas de algunos sustratos, para el resultado que mayor convenga al productor siendo los más utilizado el peat moss y la vermiculita, utilizándose como mezcla o individual.

Al comenzar la siembra de las charolas de germinación, es importante realizar la preparación del sustrato, agregando la cantidad de agua adecuada para la siembra de las semillas y no exceder la humedad. Después de realizar la siembra, es posible cubrir con un plástico las charolas de germinación para ayudar a mantener la temperatura del sustrato y evitar daños por algunas plagas e incluso por aves. La humedad del sustrato durante el proceso de germinación debe ser constante, y se recomienda poner atención en la cubierta para retirarla antes de la emergencia, ya que podría atrofiar el crecimiento de las plantas.

6.5.2 Emergencia de plántula y crecimiento vegetativo

Al emerger la plántula es necesario cuidar la humedad constante durante el tiempo que durara desde la emergencia hasta el trasplante intermedio y aplicar plaguicidas con intervalos de una semana, principalmente fungicidas que nos permitirán prevenir enfermedades de tipo dumping-off y algunos insecticidas que tendrán la función de evitar plagas como lo son gusanos, caracoles, e incluso pulgón. Aplicar captan, a una dosis de 2 g/l y ambush a una dosis de .5ml/l de agua.

6.5.3 Trasplante intermedio

Al realizar el trasplante intermedio se debe tener mucho cuidado en el manejo adecuado de la plántula, ya que al limpiar las raíces del sustrato se pueden perder algunas partes de la raíz y por consiguiente un desarrollo más lento. Se pueden aplicar hormonas enraizantes a una concentración de hasta 5 ml/l de agua dependiendo de la concentración del producto, también se debe aplicar una formula nutritiva que ayude a despegar a la planta, aplicando la mitad de cada fertilizante antes mencionado en la solución nutritiva.

6.5.4 Trasplante definitivo

Al retirar las plantas del sistema de trasplante intermedio, es necesario comprobar primero el funcionamiento del sistema NFT. Al colocar las plantas en los canales definitivos de cultivo de preferencia la solución tendrá que estar circulando para de esta manera comprobar que las raíces tendrán contacto con la solución nutritiva.

Después del crecimiento vegetativo durante aproximadamente 1 semana después del trasplante definitivo, es posible asperjar productos para evitar el ataque de plagas como mosca blanca, pulgón, gusano y evitar enfermedades como verticillium.

6.5.5 Formación de roseta

En la formación de la roseta la planta comienza a tener una cantidad mayor de hojas al centro de la misma, por lo cual se pueden realizar aspersiones de fertilizantes foliares para ayudar a la planta a ganar peso y evitar estrés. Se pueden realizar también aspersiones para evitar o controlar plagas y enfermedades. Esta etapa podrá ser identificada cuando la plantas tienen un promedio de 5 hojas según el experimento realizado.

6.5.6 Formación de primer cogollo

Debido a que en el sistema NFT se tiene un crecimiento más rápido, el tiempo entre las etapas del crecimiento se acortan, por lo que se recomienda aplicar productos sistémicos, checando los intervalos de seguridad de los productos, ya que la cosecha será más rápida. Esta fase podrá ser observada cuando las plantas tengan aproximadamente 8 hojas en promedio.

6.5.7 Formación de cogollo medio

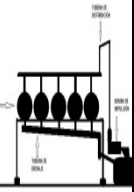





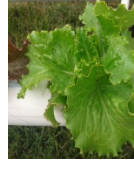




Para la formación del cogollo medio, debido a que el follaje es mayor, pueden realizarse aspersiones de plaguicidas teniendo el cuidado de cubrir todo el follaje para evitar que partes de la planta queden sin protección o de otra manera, poder agregar a la solución nutritiva productos sistémicos en el caso de fungicidas, a bajas concentraciones como el tiofanato metílico a una dosis 0.25 g/l de agua. Esta formación se encontrara diferenciada las plantas tengan un promedio de 15 hojas.

6.5.8 Formación de cogollo maduro (cosecha)

La cosecha, se llevara a cabo cuando las plantas tengan un peso mayor al deseado, que en este caso es ligeramente por encima de los 240 g, que dependiendo de la variedad se encontrara identificada cuando las plantas tengan aproximadamente 20 hojas. Se debe tener cuidado al extraer las plantas del tubo para evitar dañar las raíces, y en caso de se necesite lavar

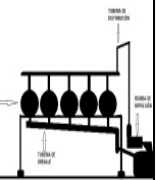








las plantas cosechadas, es posible agregar algunos desinfectantes a muy baja concentración.

Cuadro 1. Ciclo fenológico y tecnología de producción en lechuga var. Big Star en sistema NFT abierto.

CICLO FENOLOGICO Y TECNOLOGIA DE PRODUCCION EN LECHUGA var. BIG STAR EN SISTEMA NFT												
ETAPAS DE DESARROLLO DEL EXPERIMENTO	SEPTIEMBRE			OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE
	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1
<p>Diseño e instalación del sistema NFT a cielo abierto.</p> <p>13 Septiembre</p> <p>Día 0. Siembra de semilla en charolas. 22 de septiembre.</p> <p>Día 4-7 Emergencia de plántula. 26 de septiembre.</p> <p>Crecimiento vegetativo</p> <p>Día 20-24. Trasplante intermedio. 12 octubre.</p> <p>Día 26-30. Trasplante definitivo de plántula al sistema NFT. 18 octubre.</p> <p>Crecimiento vegetativo</p> <p>Día 46-50. Formación de roseta. 7 Noviembre.</p> <p>Crecimiento vegetativo</p> <p>Día 59-63. Formación de primer cogollo. 21 Noviembre.</p> <p>Día 66-70. Formación de cogollo medio. 28 Noviembre.</p> <p>Día 73-77. Formación de Cogollo maduro. Recolección con peso promedio de 256g. 5 de diciembre 2013.</p>												
<p>DESARROLLO FENOLOGICO</p>												
<p>TECNOLOGIA DE PRODUCCION</p> <p>Diseño adecuado en el espacio disponible</p> <p>Mantener buena humedad y buen drenaje de sustrato.</p> <p>Realizar riegos continuos.</p> <p>Formulación continua de SN, control de CE, pH. con revisiones continuas para evitar deficiencias o estrés de plantas. Programación de riegos continuos revisando el correcto flujo de la solución por los canales de cultivo.</p> <p>Recolección de variedad. Preferentemente a primeras horas del día.</p>												
<p>PLAGAS Y ENFERMEDADES</p> <p>Desinfección de tubería con productos base de cobre y cloro.</p> <p>Plagas: caracoles, aves. Gusano Enfermedades: Phytium.</p> <p>Plagas :Mosca Blanca, Pulgones, diabrotica, y mosca del cuello Enfermedades: Botrytis, Phytium, Bremia y septoria Lactucaea.</p> <p>Plagas: Mosca Blanca, pulgón Enfermedades: botrytis y bremia</p>												

RECOMENDACIONES	Nivelar flujo de solución nutritiva en cada canal de cultivo y comprobar la pendiente.	Cubrir charolas de germinación hasta emergencia. 1 aplicación por semana como captan 1 ml/L, cupravit 2g/L y proplant a y 1ml/litro de agua, para evitar daños de damping off y aplicaciones de ambush a concentración de .2ml/L agua.	Realizar aspersiones foliares productos para evitar el estrés de las plantas por el cambio al trasplante definitivo, tales como lo son aminoácidos a 3 ml/L, MKP 1g/L y Brexil combi 2g/litro. Fertilizar agua con la SN final.	Al aumentar el follaje, aumenta la posibilidad de alguna infestación por lo que es recomendable asperjar insecticidas, fungicidas y bactericidas. Realizar aspersiones continuas de: confidor 1ml/L, Beleaf .6g/L, ridomil 1 ml/L o tiofanato metílico a .25 g/L, cupravit, 3g/ litro Byozyme 3 ml/L, brexil combi 3g/Litro y aminoácidos hasta 5 ml/L. Para controlar diabrotica, utilizar matador a 2g/litro.	Lavado de lechuga con solución desinfectante.
------------------------	--	---	---	--	---

Cuadro 2. Ciclo fenológico y tecnología de producción en Lechuga var. Vulcan en sistema NFT abierto.

CICLO FENOLOGICO Y TECNOLOGIA DE PRODUCCION EN LECHUGA var. VULCAN EN SISTEMA NFT													
ETAPAS DE DESARROLLO DEL EXPERIMENTO	SEPTIEMBRE			OCTUBRE				NOVIEMBRE			DICIEMBRE		
	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
	Diseño e instalación del sistema NFT a cielo abierto. 13 Septiembre 2013	Día 0. Siembra de semilla en charolas. 22 de septiembre.	Día 4-7. Emergencia de plántula. 27 de septiembre	Crecimiento vegetativo de plántula	Día 20-24. Trasplante intermedio. 12 octubre.	Día 26-30. Trasplante definitivo de plántula al sistema NFT. 18	Crecimiento	Crecimiento	Crecimiento	Día 52-56. Formación de roseta. 14 de noviembre.	Día 66-70. Formación primer Cogollo. 28 Noviembre.	Día 72-77. Formación de Cogollo medio. 5 de Diciembre.	Día 80-84. Formación de Cogollo maduro. Recolección con peso promedio de 271g. 12 de diciembre 2013.
													
TECNOLOGIA DE PRODUCCION	Diseño adecuado en espacio disponible.	Mantener buena humedad y buen drenaje de sustrato.	Realizar riegos continuos.	Aplicar enraizador y fertilización al sistema de floating.	Formulación continua de SN, control de CE, pH.con revisiones continuas para evitar deficiencias o estrés de plantas. Programación de riegos continuos revisando el correcto flujo de la solución por los canales de cultivo.				Recolección de variedad. Preferentemente a primeras horas del día.				
PLAGAS Y ENFERMEDADES	Desinfección de tubería con productos base de cobre y cloro.	Plagas: caracoles ,aves. Gusano Enfermedades: Phytium.		Plagas :Mosca Blanca, Pulgones, diabrotica, y mosca del cuello Enfermedades:Botrytis, Phytium, Bremia y septoriaLactucae.								Plagas: Mosca Blanca, pulgón Enfermedades:botrytis y bremia	

RECOMENDACIONES	Nivelar flujo de solución nutritiva en cada canal de cultivo y comprobar la pendiente.	Cubrir charolas de germinación hasta emergencia. 1 aplicación por semana como captan 1 ml/L, cupravit 2g/L y proplant a y 1ml/litro de agua, para evitar daños dedamping off y aplicaciones de ambush a concentración de .2ml/L agua.	Realizar aspersiones foliares productos para evitar el estrés de las plantas por el cambio al trasplante definitivo, tales como lo son aminoácidos a 3 ml/L, MKP 1g/L y Brexil combi 2g/litro. Fertilizar agua con la SN final.	Al aumentar el follaje, aumenta la posibilidad de alguna infestación por lo que es recomendable asperjar insecticidas, fungicidas y bactericidas. Realizar aspersiones continuas de: confidor 1ml/L, Beleaf .6g/L, ridomil 1 ml/L o tiofanato metílico a .25 g/L, cupravit, 3g/L Byozyme 3 ml/L, brexil combi 3g/Litro y aminoácidos hasta 5 ml/L. Para controlar diabrotica, utilizar matador a 2g/L.	Lavado de lechuga con solución desinfectante.
-----------------	--	--	---	---	---

6.6 Consumo de agua en producción de lechuga NFT.

En el estado de Guanajuato se tiene registrado el gasto de agua en riego rodado, donde se establece que para regar una ha, con una densidad de 66,667 plantas se utiliza la cantidad de 8,000 m³, dando un consumo por planta de 0.119 m³.

En riego por goteo para lechuga se tiene un gasto por ha, con una densidad de 66,667 plantas se utiliza la cantidad 5,600m³, con un consumo de agua por planta promedio de 0.083m³.

En cuanto al consumo de agua, se registró la cantidad de litros que fueron utilizados para la producción de lechuga en el sistema diseñado, teniendo como resultados la cantidad de 13.8 litros por planta durante las ocho semanas de producción. Teniendo un gasto por ha, con una densidad de población de 216,000 plantas el gasto de 2,980 m³.

A continuación se describe el gasto de agua según el tipo de riegos utilizado. En el sistema NFT la cantidad de agua dependerá de la superficie de plantas, este estimado se realizó en base al consumo de agua que se tuvo en el experimento calculando con la densidad más alta de plantas registrada.

Cuadro 3. Gasto de agua en diferentes según el tipo de riego y consumo de agua por planta para cultivo de lechuga.

GASTO DE AGUA			
TIPO DE RIEGO	DENSIDAD PLANTAS/HA	GASTO DE AGUA m ³	LITROS/PLANTA
RODADO	66, 667	8,000 m ³	119. 9 litros
GOTEO	66, 667	5,600 m ³	83.9 litros
SISTEMA NFT	216 000	2980 m ³	13.8 litros

A continuación se describe el porcentaje de eficiencia y el ahorro de agua que se tiene en los tipos de riego.

Cuadro 4. Porcentaje de eficiencia de riegos según el tipo de riego.

EFICIENCIA DE RIEGOS			
TIPO DE RIEGO			PORCENTAJE EFICIENCIA
GOTEO	VS	RODADO	30%
SISTEMA NFT	VS	GOTEO	46%
SISTEMA NFT	VS	RODADO	63%

6.7 Costos de inversión y producción en Sistema NFT

De acuerdo con la superficie del sistema construido en este experimento, se identificaron los costos de inversión inicial, producción en relación con el tiempo y la cantidad de ciclos que se tendrán por año.

6.7.1 Costos fijos, inversión para sistema NFT diseñado para pequeños espacios.

Cuadro 5. Costos Fijos, Inversión para sistema NFT abierto para pequeños espacios.

COSTOS FIJOS.		
DESCRIPCION	COSTO INDIVIDUAL	COSTO TOTAL
BOMBA IMPULSORA	\$ 1,117.80	\$ 1,117.80
TANQUE COLECTOR	\$ 220.00	\$ 220.00
TUBERIA PVC 3"	\$ 40.00	\$ 280.00
TUBERIA PVC 3/4"	\$ 33.00	\$ 99.00
ACCESORIOS PVC	\$ 9.00	\$ 180.00
POTENCIOMETRO	\$ 1,100.00	\$ 1,100.00
TEMPORIZADOR, TIMER	\$ 320.00	\$ 320.00
BASES RIGIDAS	\$ 150.00	\$ 750.00
	TOTAL	\$ 4,066.80

Los precios de los materiales de construcción, así como los elementos necesarios para poner en marcha, fueron cotizados a precios del mes de febrero del 2014 en el estado de Puebla.

6.7.2 Costos variables.

Cuadro 6. Variables, Inversión para sistema NFT abierto para pequeños espacios.

COSTOS VARIABLES		
DESCRIPCION	COSTO UNITARIO	COSTO EN 180 LECHUGAS
ALMACIGO	\$ 0.26	\$ 46.80
VASOS	\$ 0.16	\$ 28.80
APLICACIONES Y ASPERSIONES	\$ 0.33	\$ 59.40
FERTILIZACION	\$ 0.25	\$ 45.00
LUZ	\$ 0.58	\$ 104.50
AGUA	\$ 0.14	\$ 25.65
TOTAL	\$ 1.72	\$ 310.15

Los costos unitarios de producción se realizaron en base a el costo total de todos los insumos, divididos entre la densidad de población que se tendrá en el sistema por ciclo de producción. El costo de fertilización, aplicaciones y aspersiones se obtuvieron en relación con el costo de producto y la cantidad del mismo que fue utilizado para el desarrollo de la lechuga en las ocho semanas de crecimiento hasta la cosecha.

6.7.3 Costos totales para puesta del sistema NFT

Cuadro 7. Costos de Inversión y producción, para sistema NFT abierto para pequeños espacios.

COSTOS DE INVERSION Y PRODUCCION	
DESCRIPCION	COSTO
COSTOS FIJOS	\$ 4,066.80
COSTOS VARIABLES	\$ 310.15
GASTOS INESPERADOS 10%	\$ 437.70
TOTAL	\$ 4,814.65

La construcción sistema y el primer ciclo productivo tuvieron un costo total de aproximadamente \$ 4,814.65 pesos.

6.7.4 Proyección de egresos e ingresos en primer y segundo año.

Cuadros 8. Proyección de ingresos y egresos en primer y segundo año de producción y venta sistema NFT abierto para pequeños espacios.

PRIMER AÑO						
DESCRIPCION	ENE	MAR	MAY	JUL	SEP	NOV
COSTOS FIJOS	\$ 4,066.80	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
COSTOS VARIABLES	\$ 310.15	\$ 310.15	\$ 310.15	\$ 310.15	\$ 310.15	\$ 310.15
GASTOS INESPERADOS	\$ 437.70	\$ 437.70	\$ 437.70	\$ 437.70	\$ 437.70	\$ 437.70
TOTAL	\$ 4,814.65	\$ 747.85	\$ 747.85	\$ 747.85	\$ 747.85	\$ 747.85
INGRESOS POR VENTAS		\$ 1,440.00	\$ 1,440.00	\$ 1,440.00	\$ 1,440.00	\$ 1,440.00
GANANCIAS		\$ 692.16	\$ 692.16	\$ 692.16	\$ 692.16	\$ 692.16
SALDO	-\$ 4,814.65	-\$ 4,122.49	-\$ 3,430.34	-\$ 2,738.18	-\$ 2,046.03	-\$ 1,353.87
SEGUNDO AÑO						
	ENE	MAR	MAY	JUL	SEP	NOV
COSTOS FIJOS	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
COSTOS VARIABLES	\$ 310.15	\$ 310.15	\$ 310.15	\$ 310.15	\$ 310.15	\$ 310.15
GASTOS INESPERADOS	\$ 437.70	\$ 437.70	\$ 437.70	\$ 437.70	\$ 437.70	\$ 437.70
TOTAL	\$ 747.85	\$ 747.85	\$ 747.85	\$ 747.85	\$ 747.85	\$ 747.85
INGRESO POR VENTAS	\$ 1,440.00	\$ 1,440.00	\$ 1,440.00	\$ 1,440.00	\$ 1,440.00	\$ 1,440.00
GANANCIAS	\$ 692.16	\$ 692.16	\$ 692.16	\$ 692.16	\$ 692.16	\$ 692.16
SALDO	-\$ 661.72	\$ 30.44	\$ 722.60	\$ 1,414.75	\$ 2,106.91	\$ 2,799.06

Al inicio se realiza la inversión de construcción y se toma el mes de enero como el comienzo, dando por hecho que la primer cosecha se tendrá ocho semanas después, teniendo una ingreso bimestral de ventas de \$1,440 pesos, con una ganancia bimestral de \$ 692.16 pesos. Se puede observar que la inversión se recupera hasta 14 meses después.

VII Discusión

La producción de lechuga bajo el sistema NFT puede ser viable ya que se obtienen lechugas de un adecuado peso fresco para poder ser comercializadas. además puede llevarse a cabo en centros urbanos o periurbanos, que mediante modos de comercialización alternativos se obtienen precios adecuados que permiten un rápido retorno de esta actividad, esto concuerda con Noguera 1983, donde menciona que el sistema NTF puede ser utilizado en la Horticultura urbana.

El sistema de producción hidropónico NFT a cielo abierto, requiere del conocimiento de hidroponía básica, así como del manejo del cultivo de lechuga, ya que para obtener lechugas de buena calidad, es necesario conocer la tecnología de producción, tal como lo describen Carrasco *et. al.*, 1996, el éxito de la producción hidropónica de lechuga, es necesario contar con los conocimientos necesarios o el apoyo de un especialista quien será el responsable de aportar los conocimientos técnicos para obtener producción de buena calidad y poder aumentar la capacidad de producción del módulo.

El consumo de agua promedio por lechuga fue de 13.8 litros durante todo el cultivo, lo cual concuerda con Rodríguez *et al*, 2002, en donde explica que este tipo de sistemas puede ser instalado en regiones territoriales donde se presentan condiciones de escasez de agua debido a que los sistemas hidropónicos presentan un menor consumo de agua y un mayor aprovechamiento de fertilizantes.

Al terminar la instalación del sistema NFT a cielo abierto en este espacio acondicionado para la producción se identificó de inmediato el alto costo de inversión de casi \$400 pesos el metro cuadrado de este sistema, lo cual concuerda con Vazquez 2014 en donde menciona la instalación de un

sistema NFT bajo invernadero con tecnología baja cuesta alrededor de \$600 el metro cuadrado de construcción.

VIII Conclusiones

Es posible producir lechugas de estas variedades en el sistema NFT a cielo abierto en la región de Quecholac, Puebla. Obteniendo lechugas de buena calidad y con la inocuidad suficiente que puede ser comparada con lechugas comercializadas en algunos mercados de autoservicio, obteniéndose en un máximo de 12 semanas desde siembra hasta la cosecha, lo cual permitirá tener hasta 6 ciclos de producción al año.

El consumo promedio de agua por planta fue de 13.8 litros desde el comienzo del cultivo hasta la recolección del mismo, siendo registrado solo en este ciclo productivo, lo cual dependió de los factores climáticos de la región, tipo de sistema utilizado y las variedades evaluadas.

Es factible el implementar este tipo de sistemas en lugares o zonas en las cuales es difícil obtener alimentos con buena calidad y la cantidad de agua es limitada para la producción agrícola.

A pesar que el costo inicial es alto, es importante mencionar que debido a la gran demanda de alimentos, es posible encontrar mercados en los cuales este tipo de productos obtengan un valor más alto por venta de cada unidad y un costo menor en la instalación utilizando algunos materiales más baratos que puedan tener la misma finalidad en el sistema y por consiguiente recuperar más rápido la inversión realizada obteniendo así mayores ingresos en menor tiempo.

IX Literatura citada

- Adams, P. (1994). Nutrition of greenhouse vegetables in NFT and hydroponic systems. *Acta Horticulturae*. 361: 245-257.
- Asociación Mexicana de Horticultura Protegida A. C. (AMHPAC). (2013). Agricultura protegida en México. Disponible en <http://www.amhpac.org/es/index.php/homepage/agricultura-protegida-en-mexico>. Consultado en Marzo del 2014.
- Arévalo, G. 2005. Producción de lechuga hidropónica. Honduras, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. (en línea). Consultado enero 2014. Disponible en <http://www.zamorano.edu/zamonoticias1/Versiones/septiembre05/entrevista.htm>.
- Alvarado, D., Carranza, F., Wihelmena, A. (2001). Seminario de agrobnegocios. Lechugas Hidropónicas. Universidad del Pacifico. Chile.
- Camacho F. (2003). Técnicas de producción en cultivos protegidos, Tomo 1 y 2 ed. Rural intermediterranea, Cajamar, España.
- Carrasco, G.; Izquierdo, J. (1996). "La empresa Hidropónica a Mediana Escala: La Técnica de la Solución Nutritiva Recirculante (NFT)", Manual Técnico. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Oficina Regional para América Latina y El Caribe. 105 pp.
- Cooper, A. (1982). Nutrient Film Technique. The English language book society. London. Pp. 4-21, 32, 41.
- Conchouso, M. Requerimientos económicos y tecnológicos para la implementación del Sistema hidropónico NFT para el cultivo de

lechuga (*Lactuca sativa* L.). Tesis Maestría . UPAEP. Puebla. Mexico. p162.

Davis, R., Subbarao, K., Raid, R. y Kurtz, E., (1997). Compendium of lettuce diseases. APS. Press st. Paul, Minesota. Pp. 79.

Delfín, A. (2001). Hidroponía: Perspectivas y futuro. México DF, FCQ (Facultad de Ciencias Químicas). Consultado enero 2014. Disponible en <http://www.fcq.uach.mx/educontinua/hidroponia/perfuturo.htm>.

Faquin, V., Furtini, A., y Alverlanga, V. (1996). Producción de lechuga en hidroponía Lavras, MG: UFLA. Brasil. p 21, 27-34.

Fuentes, F. (2013). Entrevista personal con el Arquitecto, Director General de construcción de invernaderos con sistemas Hidroponicos.

Furlani, P., Paterno L., Bolonhezi D. y Faquin, V. (1999). Cultivo hidropónico de plantas. Boletín Técnico, 180 instituto agronómico (IAC). Brasil. pp 9-15.

Garzón, S. (2006). Evaluación del rendimiento de tres variedades de lechuga bajo el sistema NFT (Nutrient Film Technique) de hidroponía con dos soluciones de nutrientes. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, Honduras, 25 p.

Gómez, A., Maroto, J. y Baixauli, C. (2000) La lechuga y la escarola. Ediciones Mundi- Prensa. Madrid, España. p 27-35.

Jensen, M.H. y W.L. Collins. (1985). Hydroponic vegetable production. Hort. Rev. 483-559.

Maroto, J. (1998). Historia de la agronomía. Editoriales Mundi-Prensa S. A. Madrid.

- Morgan, L. (1999). El cultivo hidropónico de lechugas. Casper publications Pyt Ltd. Australia. p 18-32.
- Noguera, G. (1993) Cultivos sin suelo 1, Curso superior de especialización, sistemas de solución perdida y recirculante, Descripción, análisis y valoración. Editores Canovas y Díaz, CIDH, La Mojonera Almería España. p 88-92.
- Resh H. (2001). Cultivos Hidropónicos. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. p 175-202.
- Rios, B. (1995). El sistema de recirculación continua o NFT ponencia en el 3er curso taller de hidroponía 4-9 de septiembre 1995, CIHNM. Lima, Perú.
- Rodríguez, D., Chang la rosa, M. Hoyos, R. y Falcón, G.. (2002). Manual Práctico de Hidroponía. CIHNM. Lima, Perú.
- SIAP. (2012). Cierre de la producción agrícola por cultivo. <http://www.siap.gob.mx/index>. Consultado en Enero del 2014.
- Steiner, A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Plant Soil 15:134-154.
- Trueba, I. (2002). La seguridad alimentaria mundial. Primeras decadas del siglo XXI y el papel de la FAO y el PMA. Madrid 208 p.
- Urrestarazu., G. (2004). Tratado de cultivo sin suelo. Tercera edición, impreso en España.
- Vazquez J. (2014). Entrevista personal Consultor en Mexico de diferentes tecnicas hidroponicas con 29 años de experiencia en tecnicas hidroponicas, actualmente gerente de CESAVEP.