

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA**

EXAMEN PROFESIONAL



**“SISTEMA DE PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA DE LECHUGA
(*Lactuca sativa L.*)”**

Presentado por:

GUSTAVO ADOLFO RAMÍREZ GUZMÁN

Trabajo Monográfico para optar el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Lima - Perú

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA

TITULACIÓN
EXAMEN PROFESIONAL 2017

Los Miembros del Jurado, luego de someter al Bachiller:
Gustavo Adolfo Ramírez Guzmán a los respectivos exámenes y haber cumplido con
presentar el Trabajo Monográfico titulado:
“SISTEMA DE PRODUCCION HIDROPONICA DE LECHUGA (*Lactuca sativa L*)”,
lo declaramos:

A P R O B A D O

.....
Ing. Saray Siura Céspedes
PRESIDENTE

.....
Ing. Mg. Sc. Juan Carlos Jaulis Cancho
MIEMBRO

.....
Ing. Mg. Sc. Andrés Casas Díaz
ASESOR

LIMA - PERU

2017

DEDICATORIA:

Dedico mi Título a Dios por su gran misericordia

A mis padres Pio y Flor por su abnegación

A la memoria de mi hermano menor Aldo

Y a mi hijo Mateo, que me ha inspirado

A concluir lo que muchos años había

Dejado postergado.

Alabado sea

Dios.

“El conocimiento humano es oceánico pero

De poca profundidad, comparado

Con todo lo que hay dentro del

Mar insondable de la

Sabiduría de

Dios”

G. A.R.G.

AGRADECIMIENTOS:

Mi agradecimiento eterno a las siguientes personas que han contribuido con este logro Académico:

A mi hermana Milagros por su apoyo incondicional y a mi hermano Augusto por haberme dado el ejemplo en Titularse primero.

A mi prima Maribel Morales Guzmán, por su ayuda en el momento decisivo.

A todos mis profesores de Biología y de la Facultad de Agronomía por su invaluable transmisión de conocimientos y su aporte a nuestra Patria y a la Ciencia Universal a través de sus investigaciones.

Y en forma particular:

A la Bióloga Mercedes Flores Pimentel por haberme enseñado la Botánica desde el punto de vista de servicio a la sociedad, lo cual se plasmó en el estudio de la Agronomía.

Al Ingeniero Sady García Bendezú por haberme considerado dentro del equipo de investigación del silicio.

A la Ingeniera Saray Siura Céspedes por su brega constante y sin claudicar en su ideal por una agricultura más limpia y saludable, por medio de La Agricultura Orgánica.

Al Ingeniero Andrés Casas Días por su gran contribución a la Horticultura Nacional y que también se ha aunado en la investigación del silicio, habiendo iniciado experimentos en fresas.

A mi amigo el Ingeniero Juan Carlos Melchor Jaulis Cancho, por su entusiasmo contagiante en la introducción de nuevas especies y variedades de importancia ornamental a nuestro país y por incentivar y valorar el cultivo del cacao chuncho en nuestra selva.

También expreso mi agradecimiento a todo el equipo de trabajo del CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE HIDROPONÍA Y NUTRICION MINERAL, por la transmisión de su experiencia de más de 25 años de práctica e investigación:

Al Director: PhD. Biólogo, Alfredo Rodríguez Delfín por haber acogido con mucho agrado la investigación del silicio en las lechugas hidropónicas y a su hermano el Dr. José Antonio

A la Bióloga Milagros Chang La Rosa, la Señora Elisa Guerra Tejada y a los Técnicos: Lícida Paqui Yaranga, Jonny Orosco Sánchez, Herminia Carbajal Tello, Isaac Infante Ramos, Carlos Andrés Pérez Cerda, Elda Trinidad Huacho y Claudio Paz Borda.

INDICE

	Resumen	
I	Introducción.....	1
II	Revisión bibliográfica.....	2
III	Desarrollo del tema.....	27
IV	Conclusiones.....	43
V	Recomendaciones.....	44
VI	Referencias bibliográficas.....	45
VII	Anexos.....	47-58

RESUMEN

Las bases de la Hidroponía se remontan a la existencia del océano, gran proveedor de nutrientes inorgánicos para los organismos autótrofos que en él habitan; los antecedentes de la Hidroponía en la humanidad se remontan a civilizaciones del medio oriente en el siglo VI antes de Cristo, también en centro américa en el siglo XVI después de Cristo; y como técnica como la conocemos ahora, nace en el siglo XX como producto de la investigación de muchos científicos y dentro de todos ellos, cabe resaltar a William F. Gericke, profesor de la Universidad de California en Davis, quien acuñó el término “**Hidroponía**” en el año 1929, donde define el proceso como "agua que trabaja", él publicó sus trabajos en 1936, y a partir de allí la Hidroponía se difundió como técnica a muchos países del mundo .

El cambio climático y por ende la impredecibilidad de la oferta de agua en tiempo y espacio motivan al productor agropecuario a buscar alternativas de agricultura más eficientes en el uso del agua como lo es la Hidroponía.

Los sistemas de producción hidropónica de lechugas que se están usando en Perú son:

- **Sistema de raíz flotante**, de menor costo de instalación y operación, pero de menor eficiencia en el suministro de oxígeno a las raíces de las lechugas
- **Sistema recirculante o NFT**, de mejor suministro de nutrientes a las raíces y de mayor rendimiento en peso por unidad de área.

Los sistemas de producción tienen en común el proceso de almácigo, así como el uso de semillas certificadas y el uso de diversos tipos de sustratos, y como sustrato más empleado la arena gruesa de construcción lavada, la cual facilita mucho el proceso de germinación y trasplante a raíz desnuda.

Los sistemas hidropónicos usan la solución nutritiva concentrada principalmente en dos soluciones stock, evitando la mezcla de fuentes de calcio con fertilizantes sulfatados, las soluciones concentradas genéricas y más conocidas son la solución A principalmente aporta macronutrientes y la solución B aportante principalmente de micronutrientes.

I INTRODUCCION

La agricultura convencional para la obtención de hortalizas en el Perú tiene muchas desventajas sanitarias, especialmente cuando se utiliza aguas servidas o aguas de río, para el caso específico de hortalizas de hoja como la lechuga, las cuales van a ser consumidas crudas, pudiendo ser una fuente de infección para el ser humano de parásitos gastrointestinales, como el caso de bacterias, protozoos y huevos de helmintos que se pueden adherir a las hojas y lo cual se ve favorecido porque la lechuga es una especie de bajo porte, y sus hojas se desarrollan cerca al suelo.

La **Hidroponía** tiene muchas ventajas, especialmente de producir vegetales libres de parásitos, alta productividad, bajo consumo de agua, se puede realizar en zonas no aptas para la agricultura convencional, mayor eficiencia de uso de fertilizantes, ahorro de jornales en deshierbo, evita el uso de herbicidas, y principalmente no requiere de suelo, Hidroponía es cultivar sin suelo.

La lechuga es muy utilizada en la gastronomía peruana y por la existencia de hábito de consumo arraigado en la población; por lo que la técnica de la Hidroponía para producirla se ha difundido en las principales ciudades del Perú, ya que la calidad y variedad de las lechugas que se obtienen es muy buena, así como también en cantidad, ya que sin considerar el área de almacigo y de trasplante inicial, en una misma área de trasplante final se puede cosechar doce veces al año, haciendo un total de 300 lechugas por metro cuadrado por año, en un sistema hidropónico de raíz flotante o por sistema hidropónico recirculante NFT.

También esta técnica está siendo integrada en otras partes del mundo con la Acuicultura originando una técnica híbrida que viene a ser la Acuaponía, la cual se está difundiendo dentro de la producción orgánica por no requerir o minimizar el uso de abonos inorgánicos sintéticos.

El objetivo de este trabajo es mostrar la experiencia obtenida en el manejo del cultivo de lechuga en el Sistema Hidropónico, así como también las investigaciones que se vienen realizando, para lo cual el referente principal ha sido el Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

II REVISION BIBLIOGRAFICA

II.1.- ¿Qué es la Hidroponía?

Hidroponía, es un conjunto de técnicas que permite el cultivo y manejo de plantas en un medio que no necesita de suelo. La palabra hidroponía deriva del griego hidro (agua) y ponos (labor o trabajo) lo cual significa literalmente trabajo en agua. Sin embargo, en la actualidad se utiliza para referirse al cultivo sin suelo. El rendimiento de los cultivos hidropónicos pueden duplicar o más al de los cultivos en suelo. Un cultivo hidropónico es un sistema altamente repetible, en consecuencia se ha constituido en una herramienta valiosa para la investigación y la enseñanza. Hoy la hidroponía se vislumbra como una solución a la creciente disminución de las zonas agrícolas, producto de la contaminación, la desertización, el cambio climático y el crecimiento desproporcionado de las ciudades. Una variante sofisticada de la hidroponía viene a ser la técnica de la Aeroponía donde la oxigenación de las raíces es ideal. La hidroponía permite en estructuras simples o complejas producir plantas principalmente de tipo herbáceo aprovechando sitios o áreas como azoteas, suelos infértiles, terrenos escabrosos, invernaderos climatizados o no, navíos, búnkeres, centros hidropónicos submarinos, naves espaciales y muy pronto en marte **(Beltrano, 2015)**.

II.1.1.- La hidroponía y sus orígenes

Las primeras algas unicelulares cianofíceas o algas azul verdosas aparecieron hace 3500 millones de años, estas algas procariotas fueron los primeros organismos autótrofos con capacidad fotosintética, que toman sus nutrientes de la gran solución nutritiva que los rodea, que viene a ser el agua de mar **(Solomon et al, 2001)**.

En la Era Paleozoica, Periodo Cámbrico (hace 543 a 500 millones de años) ocurre la diversificación de algas unicelulares y pluricelulares, en el océano, gran fuente de solución nutritiva. Con la proliferación de estos organismos fotosintéticos, la atmósfera primitiva reductora, se fue transformando en una atmósfera con abundante oxígeno la cual permitió la colonización de la tierra **(Curtis et al, 2000)**.



**Figura 1: Bosque submarino con macro algas inmersas en una gran solución nutritiva
(agua de mar)**

Fuente:<https://i.pinimg.com/564x/7a/37/b1/7a37b1bf8cacde9322a1eee7002c3587.jpg>.



**Figura 2: Algas unicelulares diatomeas fijadoras del silicio de la solución nutritiva
agua de mar**

Fuente:<https://www.ecocanjardinaria.com/es/blog/diatomeas-tierra-mil-usos-ecologicos>

II.1.2.- Antecedentes de la técnica hidropónica

Hacia los años 600 A. C., el Rey Nabucodonosor II (Rey de los Caldeos) quien fue el máximo representante del Imperio Babilónico, conquistador de muchas naciones incluida la nación Judía, y fue quien tomo todos los tesoros del palacio que dejo Salomón en Jerusalén, como consta en la Biblia en el Libro del Profeta Daniel **(Reyna y Valera, 1602)**.

Él quiso hacer un regalo a su esposa Amytis, que añoraba el paisaje montañoso y verde del norte de Media (Oriente Medio) de donde procedía. Para demostrar su amor por ella Nabucodonosor II mandó a construir los Jardines Colgantes de Babilonia. Lo que probablemente fuera uno de los primeros intentos exitosos de cultivar plantas en nuevas áreas no convencionales construidas por el hombre; Esta maravilla de la antigüedad mostraba el más extraordinario jardín en terrazas de piedra colocadas en forma escalonada, en las que se plantaron árboles, flores y arbustos, los que eran regados a través de una especie de noria que llevaba el agua, hasta el lugar más alto del jardín, y por gravedad se regaba el resto de las terrazas **(Beltrano, 2015)**.



Figura 3: Los Jardines colgantes de Babilonia, se terminaron de construir en 57 años

Fuente:<http://descubre lasmaravillas.weebly.com/jardines-colgantes-de-babilonia.html>

Otro gran ejemplo de la ampliación del espacio de producción agrícola fue desarrollado por los antiguos Aztecas en lo que se conoce como las **chinampas**, las cuales se inventaron como consecuencia de la falta de tierra, decidieron cultivar plantas con los materiales que tenían a mano; en lo que debe haber sido un largo proceso aprendizaje, construyeron balsas de cañas y/o palos, dragaban tierra del fondo del lago y la colocaban en las balsas. Debido a que la tierra venía del fondo del lago, era rica en restos orgánicos y nutrientes, sobre la que se cultivaban flores y verduras, en la superficie de lagos y lagunas del Valle de México, según (<http://institutohistorico.org/extraordinario-invento-mexicano-las-chinampas/>).

Estas balsas, llamadas **Chinampas**, permitían cosechas abundantes de verduras y flores. En algunas oportunidades se unían varias balsas para formar islas flotantes de varios metros de largo. Esta técnica mediante el uso de las Chinampas ocupó gran parte de lo que era el lago de Xochimilco. En algunos casos, la balsa era atravesada con estacones de sauce para que sus raíces crecieran hasta la tierra firme, para su anclaje en el fondo del lago o laguna y la superficie flotante era sembrada con frutas, hortalizas y flores. Se trataba de una técnica cuyo máximo desarrollo se consiguió en el siglo XVI. Al llegar los invasores al Nuevo Mundo, la vista de estas islas los asombró, el paisaje de árboles, flores y otros vegetales aparentemente suspendidos en el agua los dejaba perplejos. William Prescott, el historiador que escribió las crónicas de la destrucción del imperio azteca por los españoles, describió las Chinampas como "Asombrosas Islas de Verduras, que se mueven como las balsas sobre el agua" (Beltrano, 2015).

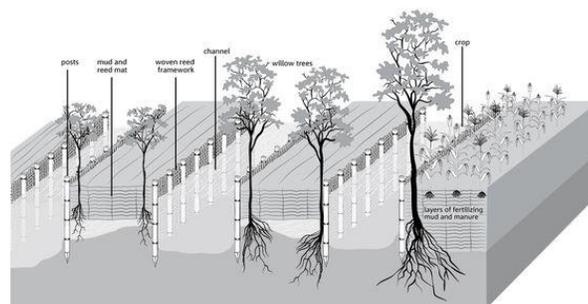


Figura 4: Jardines flotantes Aztecas

Fuente: <https://www.pinterest.com/pin/431853051759816227/>



Figura 5: las Chinampas o cultivo en balsas, desarrollado por los Aztecas, un gran ejemplo de la ampliación de la frontera agrícola

Fuente: <http://institutohistorico.org/extraordinario-invento-mexicano-las-chinampas/>

II.1.3.- VENTAJAS DE LOS CULTIVOS HIDROPÓNICOS:

Rodríguez y Chang (2017) resaltan las siguientes ventajas:

- Permite aprovechar suelos o terrenos no adecuados para la agricultura tradicional
- Menos espacio y capital para una mayor producción.
- Ahorro de agua, es muy apropiada en zonas con escasez hídrica
- No contamina el medio ambiente
- Alto porcentaje de automatización.
- Altos rendimientos por unidad de superficie, superando a la agricultura convencional
- Se obtiene un cultivo más sano e higiénico.

II.1.4.- DESVENTAJAS DEL CULTIVO HIDROPÓNICO

Rodríguez y Chang (2017) resaltan las siguientes desventajas:

- Elevados costos de producción e instalación inicial
- Desconocimiento del manejo agronómico
- Falta de experiencia de soluciones nutritivas.

II.1.5.- LA HIDROPONÍA CONTEMPORANEA

En la década del 80, la NASA (**Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio**) realizó investigaciones extensivas para su CELSS (acrónimo en inglés -Controlled Ecological Life Support System- "**Sistema de Soporte de Vida Ecológica Controlada**", con la dirección del Profesor **Frank Salisbury**). La NASA ha utilizado la hidroponía desde hace aproximadamente 30 años para hacer pruebas para alimentar a los astronautas. Hoy en día las naves espaciales viajan seis meses o un año. Los tripulantes durante ese tiempo comen productos vegetales cultivados en el espacio. La NASA ha producido con esta tecnología CELSS desde hace mucho tiempo, desarrollando esta tecnología, para la base proyectada en Marte. La hidroponía será la manera de producción de alimentos de los Viajes Interplanetarios (**Beltrano, 2015**).

Rodríguez (2012) da a conocer que en la actualidad las plantaciones hidropónicas se han extendido por todo el mundo y en especial se destacan plantaciones en países como Japón, Holanda, Francia, Inglaterra, Nueva Zelanda, Australia, Alemania, Italia, España, Sudáfrica, Israel, y otros. La posibilidad de cosechar plantas sin tierra fue considerada en la segunda mitad del siglo pasado; y en la actualidad es uno de los sistemas más empleados en los países más desarrollados. Ver (**Anexo 1**).

II.1.6.- LA NUTRICIÓN HIDROPÓNICA A TRAVES DEL TIEMPO

Beltrano (2015) hace el siguiente recuento: El término “hidroponía” fue acuñado 1929, donde William F. Gericke, profesor de la Universidad de California, en Davis, define el proceso como "agua que trabaja". Gericke publicó sus trabajos en 1936 como una técnica casi comercial y aparentemente acuñó la palabra de hidropónico para designarlos. En 1948 Withrow y Withrow, de la Universidad de Purdue, describen lo que llamaron nutricultura como una serie de soluciones nutritivas para el cultivo de plantas sobre sólidos inertes como soportes para las plantas. Investigaciones posteriores sobre nutrición de plantas demostraron que el crecimiento normal de las plantas puede ser logrado sumergiendo las raíces en una solución que contenga sales de nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, calcio y magnesio, que junto al carbono, hidrógeno y oxígeno que la planta toma del aire y el agua componen los que se conocen comúnmente como macronutrientes o elementos mayores. Con el refinamiento de las técnicas de laboratorio, se descubrieron otros ocho elementos requeridos por las plantas en cantidades relativamente pequeñas, denominados micronutrientes o elementos menores. Estos incluyen al hierro, cloro, manganeso, molibdeno, boro, zinc, cobre y níquel. En años siguientes, numerosos investigadores desarrollaron fórmulas básicas diversas para el estudio de la nutrición de las plantas. Algunos de los que trabajaron en esto fueron Tollens (1882), Tottingham (1914), Shive (1915), Hoagland (1919), Deutschmann (1932), Trelease (1933), Arnon (1938) y Robbins (1946) y otros. Muchas de sus fórmulas todavía se usan en investigaciones de laboratorio sobre nutrición y fisiología de las plantas. Ver (**Anexo 2**).

II.2.- SOLUCION NUTRITIVA

Carrasco (1997) ilustra lo siguiente; en hidroponía, los elementos minerales nutritivos esenciales son aportados exclusivamente en la solución nutritiva, a través de las sales fertilizantes que se disuelven en agua. Por esta razón, la formulación y control de la solución junto a una adecuada elección de las fuentes de las sales minerales solubles, se constituyen en una de las bases para el éxito del cultivo hidropónico. La eficiencia de utilización de los nutrientes por las plantas depende del sistema hidropónico elegido. En el caso de esta técnica, la eficiencia de utilización es continua, la oferta de nutrientes en las raíces es constante. Además, la solución se formula de tal forma que suministre un nivel adecuado de todos los nutrientes, permitiendo así, un fácil manejo de ésta. Ver (**Anexo 3**).

II.2.1- ELECCION DE LAS SALES MINERALES SOLUBLES

Las sales fertilizantes utilizadas para la preparación de soluciones nutritivas que se usan en hidroponía, se caracterizan por su alta solubilidad, de esta forma se deberán elegir aquellos que se presentan en sus formas hidratadas (**Carrasco e Izquierdo, 1996**).

II.2.2.- FORMULACION DE LA SOLUCION NUTRITIVA

Salisbury y Ross (1994) nos señalan: Numerosas formulaciones útiles de soluciones nutritivas se han diseñado a partir de estudios sobre la composición de las plantas y de otros estudios en los que se administraron diversas concentraciones de elementos a plantas en crecimiento, si bien una solución ideal para una especie es rara vez ideal para otra. En el **anexo 4** se muestra la formulación más usada en el Perú.

II.2.2.1.- ELECCION DE FORMULACIONES NUTRITIVAS

Rodríguez (2017) señala que para elegir una fórmula determinada esta debe de contener los nutrientes minerales esenciales disueltos en agua, en concentraciones y proporciones adecuadas para lograr un crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas. Su composición es la base para producir cualquier cultivo. No existe una solución nutritiva óptima para todos los cultivos.

II.2.3.- PREPARACION DE SOLUCIONES NUTRITIVAS CONCENTRADAS

Las diferentes sales fertilizantes que podemos usar para la solución de nutrientes tienen a la vez diferente solubilidad, si la sal tiene baja solubilidad, solamente una pequeña cantidad de esta se disolverá en el agua. En la preparación de fertilizantes líquidos las sales fertilizantes deberán tener una alta solubilidad, puesto que deben permanecer en solución para ser tomadas por las plantas. Por ejemplo, el calcio puede ser suministrado por el nitrato de calcio o por el nitrato doble de calcio y magnesio; el sulfato de calcio es más barato, pero su solubilidad es más baja; por tanto, alguno de los primeros deberá ser el que usemos para suministrar la totalidad de las necesidades de calcio (**Calderón, 1996**).

Generalmente la formulación concentrada se separa en dos soluciones concentradas, denominadas Solución Concentrada A y Solución Concentrada B. El propósito de separar los fertilizantes en dos grupos se basa en reacciones de ciertas sales que forman compuestos de muy baja solubilidad y por lo tanto precipitan. Por ejemplo si se mezcla en una solución concentrada nitrato de calcio y sulfato de magnesio, se obtendrá un precipitado de sulfato de calcio (**Carrasco e Izquierdo, 1996**).

II.2.4.- MANEJO DE LA SOLUCION NUTRITIVA

II.2.4.1.- CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (CE)

Muchos investigadores han centrado sus estudios al efecto de la conductividad de la solución en el desarrollo y crecimiento de la lechuga. Las investigaciones llevadas a cabo con lechuga romana y lechuga mantecosa con una CE que oscilaba entre 1.5 y 5 dS/m. La conclusión final indicó que, si bien las plantas de lechuga pueden cultivarse a varios niveles de CE, los niveles que mejor resultados ofrecen oscilan entre 2.0 y 3.0 dS/m (**Morgan, 1999**). Al respecto **Howard (1996)** nos recomienda que la CE se debe mantener entre los 1.5 y 2 dS/m.

La unidad de la C.E. es el milisiemens por centímetro (mS/cm), anteriormente conocido como milimhos (mmho). La CE también se puede expresar en dS/m (deciSiemens por metro).

La medición de la conductividad eléctrica se realiza a través de un medidor portátil o automático. No se debe descuidar la calibración del instrumento según lo indicado por su proveedor (**Carrasco e Izquierdo, 1996**).

II.2.4.2.- pH

La composición de la solución nutritiva cambia de manera continua, ya que ciertos iones se absorben más rápido que otros. Esta captación selectiva no solo agota ciertos iones, sino que también provoca cambios indeseables en el pH (**Salisbury y Ross, 1994**). Al respecto **Howard (1999)** nos recomienda que el pH óptimo para la lechuga esté entre 6.2 y 6.5.

Carrasco e Izquierdo (1996) señalan que para medir el pH se utiliza un medidor portátil, el cual debe estar calibrado durante todo el período de uso, de acuerdo a las instrucciones comerciales. Las correcciones de pH generalmente se realizan para acidificar la solución. Esto se explica en el hecho de que a medida que se repone el volumen consumido, se agrega agua hasta obtener el volumen inicial aumentándose el pH. Para disminuir el pH, se agrega una solución ácida preparada al 5%, se sugiere preparar la solución, agregando 500 ml de ácido nítrico (HNO_3) o ácido ortofosfórico (H_3PO_4) a 9 500 ml de agua. Si se requiere alcalinizar la solución nutritiva, o sea aumentar el pH hasta el rango óptimo, se deberá preparar una solución básica al 10% de hidróxido de potasio (KOH) para luego aplicar un pequeño volumen a la solución

II.2.5.- MODIFICACIONES DE LA SOLUCION NUTRITIVA

Durante el desarrollo de las plantas, la solución nutritiva sufre modificaciones tanto en el contenido de sales (CE) como en el pH. Estos cambios que se presentan se deben a varias causas:

- A la velocidad de absorción de los elementos minerales, que depende de las condiciones ambientales, del tipo de cultivo y el estado de desarrollo en el que se encuentre la planta.
- A la eliminación de sustancias por las raíces como producto de su metabolismo.
- Otros factores como: crecimiento de algas, contenido de sales ya presentes en el agua, residuos del contenedor, etc.

Se recomienda que en verano, para una misma cantidad de sales, el contenido de agua debe ser mayor. En invierno para una misma cantidad de agua se debe aumentar el contenido de sales (**Terry, 1996**).

II.2.6.- DURACION Y RENOVACION DE LA SOLUCION NUTRITIVA

Es factible mantener una solución nutritiva en circulación con sólo correcciones frecuentes de conductividad eléctrica y pH por un período de 3 a 4 meses, que por ejemplo para condiciones locales cubriría el tiempo de cultivo de tomate **(Carrasco e Izquierdo, 1996)**.

La renovación de la solución nutritiva, permitirá realizar una buena limpieza del tanque. Asimismo se sugiere realizar una desinfección preventiva y periódica de los canales de cultivo y tuberías accesorias con hipoclorito de sodio al 2%. Después de cada cosecha, se hace recircular la solución con lejía por 30 minutos y luego se enjuaga **(Rodríguez y Chang, 2017)**.

II.2.7.- INTERMITENCIA DEL FLUJO DE LA SOLUCION EN EL SISTEMA NFT

El principio del sistema "NFT" se basa en la circulación constante del flujo de solución permitiendo una oferta regular de oxígeno, agua y elementos nutritivos a las plantas. Si se utilizara un sistema intermitente en una instalación comercial, la detención de la bomba se hace posible por medio del uso de un reloj "timer" al cual se le define previamente el momento de detención y encendido del sistema **(Carrasco e Izquierdo, 1996)**.

En El Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral de la Universidad Nacional Agraria La Molina ha desarrollado la modificación del sistema NFT clásico, con buenos resultados, el sistema recirculante permite mantener una altura de solución nutritiva de 2 a 3 cm en los canales de cultivo durante el tiempo que esta no circula. Es decir , la circulación de la solución nutritiva es intermitente, por periodos de 15 minutos; lo cual permite ahorro de energía eléctrica **(Rodríguez y Chang, 2017)**.

II.3.- ALMACIGO Y ESTABLECIMIENTO DE HORTALIZAS EN SISTEMAS

HIDROPONICOS

La primera etapa en el Sistema de Raíz Flotante o en la de NFT, se inicia con el almácigo, que consiste en hacer germinar las semillas, dándoles las condiciones adecuadas (luz, temperatura, oxígeno y humedad). La temperatura óptima de germinación es de 17 a 25°C. La germinación de las semillas se realiza utilizando sustratos inertes finos y homogéneos (arena de río, de cuarzo, gravillas finas, etc.); el tamaño de las partículas debe de ser de 1 a 3 mm, para evitar la compactación y favorecer una oxigenación ideal (**Terry, 1997**).

El sistema hidropónico de “RAIZ FLOTANTE” es recomendado especialmente para el cultivo de especies hortícolas de hoja; mientras que el sistema hidropónico "NFT" es recomendado para el cultivo de especies hortícolas de fruto y hoja, ya que el crecimiento y desarrollo de especies de raíces y bulbos es limitado por la sujeción de estos órganos, la baja altura del canal de cultivo y de la lámina de solución (**Carrasco e Izquierdo, 1996**).

II.3.1.- ELECCION DE LA ESPECIE Y EL CULTIVAR

Con el sistema de raíz flotante se puede cultivar algunos tipos de plantas que tienen la capacidad de captar eficientemente el oxígeno disuelto en la solución. Entre estas tenemos: lechuga, apio, albahaca, berro y menta (**Terry, 1997**).

El empleo de un sistema de cultivo que requiere de una mayor inversión en su montaje inicial, como lo es el sistema "NFT", se justifica con la obtención de una producción comercial altamente rentable y en una disminución de los riesgos de producción. De ahí la razón de elegir especies hortícolas de alta producción por unidad de superficie, como lo son por ejemplo el tomate, pepino, fresa, melón, pimentón, lechuga entre otras. Para especies como lechuga, en las cuales la planta completa constituye la producción del cultivo, este sistema ofrece la posibilidad de reducir el tiempo de producción y aumentar el número de rotaciones, al reemplazar inmediatamente la planta a medida que se cosecha, en los espacios de cultivo libres, con plantas provenientes de la almaciguera. Además, se permite una mayor precocidad como también la posibilidad de aumentar la densidad de plantación en relación a la empleada en el suelo, pues gracias al paso de la solución nutritiva en forma circulante la eficiencia de

absorción de los elementos nutritivos es muy alta incluso con un gran número de plantas por unidad de superficie (**Carrasco e Izquierdo, 1996**).

II.3.2.- ASPECTOS GENERALES DE LA PRODUCCION DE ALMACIGOS

En general, las semillas se plantan directamente en cajas, bandejas o recipientes individuales rellenos de sustrato inerte. Las semillas recubiertas en caso de siembra manual son más fáciles de manipular y de plantar. El periodo de germinación oscila entre los 2 y 15 días, dependiendo de las condiciones de crecimiento. La elección del medio de cultivo depende de varios factores: la capacidad de retención de agua, la ventilación, la higiene, la manipulación y el coste (**Morgan, 1999**).

La profundidad de siembra es de alrededor de 1 cm. Luego de haber alcanzado las plantas 5 hojas verdaderas, se extraen cuidadosamente del sustrato con la ayuda de alguna herramienta menor (cuchara por ejemplo), evitando la destrucción de las raicillas. Para favorecer esta labor se hace indispensable contar con un sustrato suficientemente húmedo. Luego de la extracción de las plantas desde la almaciguera y antes del establecimiento definitivo de ellas al sistema de raíz flotante o al NFT, se procede al lavado de raíces. Es recomendable tomar la planta por su cuello. Si se desean trasplantar a raíz cubierta, se utilizan contenedores que permiten el crecimiento de las raíces en su interior, y así al momento del trasplante, se lleva cada contenedor individual al sistema de recirculación. Los contenedores más comúnmente utilizados son las espumas plásticas de poliuretano de baja densidad. Se recomienda utilizar una espuma de densidad no superior a 10 kg/m³, de esta forma, se asegura que las raíces la traspasen fácilmente (**Carrasco e Izquierdo, 1996**).

II.3.3.- RIEGO Y NUTRICION DE LA ALMACIGUERA

Cuando las dos primeras hojas estén plenamente expandidas, las plantas deben recibir una solución hidropónica diluida, a un nivel de CE de 0.5 – 0.6 dS/m. La investigación ha puesto de relieve que la plántula, en sus primeros días de vida, se desarrolla más rápidamente con este nivel de CE reducido que el habitual. Etapas más avanzadas (5-7 días antes de traspasarlas al sistema hidropónico), la CE de la solución puede aumentarse de 0.5 a 1 dS/m.

Esto ayuda a la raíz a ajustarse a los niveles de CE más elevados y refuerza a la planta ante cualquier contratiempo que pueda sufrir durante su trasplante (**Morgan, 1999**).

El almácigo debe ser rigurosamente cuidado especialmente manteniéndolo húmedo constantemente. Para regar la almaciguera, es recomendable utilizar una regadera evitando el chorro directo de agua. Los nutrientes, aportados por una solución nutritiva, deberían ser entregados a las plantas después de la emergencia (**Carrasco e Izquierdo, 1996**).

II.4.- ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO EN EL SISTEMA RAIZ FLOTANTE Y "NFT"

Carrasco e Izquierdo (1996) enfatizan que una vez trasplantadas es muy conveniente verificar que las raíces de las plantas se encuentren en contacto directo con la solución nutritiva. Ya que es muy común que haya mortalidad al inicio por esta causa.

Howard (1996) nos recomienda que durante el trasplante debe tenerse cuidado de modo que no se maltraten las raíces de las plantas o de poner estas en superficies no estériles tales como el piso del invernadero.

II.5.- SISTEMA DE SOLUCIÓN ESTÁTICA: DE RAIZ FOLTANTE O SISTEMA DE BALSA FLOTANTE

Rodríguez y Chang (2017) nos dan a conocer que el Sistema de Raíz Flotante (SRF). De todos los métodos de cultivo sin suelo, por definición es el auténtico cultivo hidropónico. El SRF fue uno de los primeros sistemas hidropónicos que se utilizó tanto a nivel experimental como a nivel de producción comercial, el cual maximiza la utilización de área de cultivo.

Marulanda (2003) nos señala que el sistema de cultivo de raíz flotante ha sido encontrado eficiente para el cultivo de albahaca, apio y varios tipos de lechuga, con excelentes resultados, ahorro de tiempo y altas producciones. El método utiliza un medio líquido que contiene agua y sales nutritivas. Este sistema ha sido denominado por quienes lo practican, como: "cultivo de raíz flotante", ya que las raíces flotan dentro de la solución nutritiva, pero las plantas están sostenidas sobre una lámina que se sostiene sobre la superficie del líquido.

II.5.1 Ventajas del SRF:

Terry (1996) señala que las principales ventajas del SRF son:

- Se obtiene una mayor densidad de plantas, lo cual da como resultado una mayor cosecha por unidad de área.
- Debido a que se utiliza agua potable, es un cultivo limpio, se puede consumir en estado fresco, sin el riesgo de contraer enfermedades parasitarias.
- Se pueden cultivar hortalizas repetidamente.
- Se puede realizar en áreas pequeñas: azoteas, techos, etc.
- No hay crecimiento de malezas.

II.5.2 Desventajas del SRF:

Terry (1996) señala que las principales desventajas del SRF son:

- El costo de instalación es ligeramente alto, si es a nivel comercial. Pero para hidroponía popular los costos bajan.
- El personal dedicado a este sistema debería tener conocimiento básico de nutrición y fisiología vegetal.
- Solo se limita a algunos tipos de plantas, no se puede cultivar todas las hortalizas.
- El costo de mantenimiento y reposición incrementan relativamente los costos.

II.5.3 Construcción de las “Balsas Flotantes”

Rodríguez y Chang (2017) explican que la lámina que sirve de balsa flotante es generalmente el poliestireno expandido o conocido con nombre comercial en el Perú como “tecnopor” su espesor varía si es para el primer trasplante o si es para el trasplante definitivo. Para el primer trasplante se usa tecnopor de 0.5 a 1 pulgada de espesor y se perforan huecos de 1.5 cm de diámetro distanciados de 3 a 5 cm de centro a centro.

Para el trasplante definitivo se perforan huecos de 4cm de diámetro a una densidad de 17 por 17 centímetros entre plantas. Estas son las distancias que se utilizan para el cultivo definitivo, que dura entre 25 y 35 días dependiendo de la temperatura, la luminosidad y la variedad de lechuga cultivada. Para perforar los hoyos en la lámina se aplica en cada punto

señalado un pedazo de tubo redondo de una pulgada y media (4 centímetros) de diámetro y 20 cm de largo, previamente calentado en uno de sus extremos, el cual sacará un bocado del material dejando un orificio casi perfecto. Esto nos permitirá tener 31 hoyos por metro cuadrado en la de 17 x 17. Al momento del trasplante, procedemos a sacar las plantitas desde los almácigos y a lavarles la raíz para que no les quede nada de sustrato (sin tocarla ni maltratarla) e inmediatamente la colocamos en el corte que se hizo sobre el cubito de esponja, dejando el cuello de la planta exactamente un centímetro por debajo de la superficie del cubito. Después introducimos con mucho cuidado los cubitos con las plantas en cada uno de los hoyos abiertos en la plancha de "tecnopor", extremando los cuidados para que la raíz quede vertical y sumergida en el líquido. Cuando se han llenado todos los hoyos de la lámina, ésta se levanta para verificar que ninguna raíz haya quedado aprisionada entre la lámina y la esponja. Todas deben quedar derechas y sumergidas en el líquido. En la etapa, que se denomina de post-almácigo, las plantas permanecen entre dos y tres semanas según el clima y la variedad. A las dos o tres semanas han alcanzado entre doce y quince centímetros de altura; entonces se procede a trasplantarlas a otra lámina de "tecnopor" en la que se han hecho perforaciones a una distancia de 17 centímetros. Las plantas de la primera lámina se pasan con la misma esponjita a los otros contenedores. En las planchas o "balsas" con perforaciones a mayor distancia, las plantas crecerán hasta que alcancen el tamaño final adecuado para el consumo. Esto ocurrirá entre cuatro semanas después del último trasplante y por eso a estas láminas se las denomina láminas de cultivo definitivo (**Marulanda, 2003**).

II.5.4.- Aireación.

Morgan (1999) nos advierte que la lechuga crecerá satisfactoriamente si el nivel de oxígeno disuelto es como mínimo de 4ppm. La ausencia de oxígeno en la solución de nutrientes hará que el proceso de absorción de nutrientes se interrumpa y dañará e incluso matará la planta.

En el sistema de cultivo a raíz flotante es indispensable batir con una batidora manual al menos dos veces por día la solución nutritiva, con el fin de redistribuir los elementos nutritivos por todo el líquido y oxigenar la solución. Sin ello, las raíces empiezan a oscurecerse y a limitar la absorción de nutrientes y agua. Al realizar la aireación se deben levantar lentamente las láminas evitando romperlas, pues éstas deben durar 10 post-trasplantes o cinco cultivos definitivos. Si no se obtiene esta duración, los costos de

producción aumentarán considerablemente, puesto que este es el tiempo de amortización de los materiales. La aireación se puede hacer levantando y bajando sucesivamente la lámina con las plantas durante 15 segundos; se puede hacer, asimismo, levantando y sosteniendo la lámina y metiendo la mano con la batidora manual para agitar y formar burbujas. Cuando los contenedores tienen dimensiones superiores a un metro, se recomienda partir las láminas en dimensiones apropiadas, dado que las láminas soportan mucho peso (especialmente al final del cultivo cuando cada planta puede pesar más de 280 gramos) y existe mayor riesgo de que se rompan (**Marulanda, 2003**).

II.5.5.- Costos de instalación y producción del Sistema raíz flotante (para 100m²)

Resumen:

Inversión inicial: S/6100.00

Costo mensual: S/1393.90

Costo por lechuga: S/0.46

Producción: 3000 lechugas/100m²

En el **anexo 5** se dan más detalles.

II.6.- SISTEMA DE LA SOLUCION NUTRITIVA RECIRCULANTE o NFT

II.6.1.- ANTECEDENTES

Carrasco (1996) relata que el sistema de recirculación de solución nutritiva "NFT" -Nutrient Film Technique-, (Técnica de la lámina nutriente) fue desarrollado en Inglaterra, por el Dr. Allan Cooper en la década de los sesenta. El principio de este sistema hidropónico consiste en la circulación constante de una lámina fina de solución nutritiva que pasa a través de las raíces del cultivo, no existiendo pérdida o salida al exterior de la solución nutritiva, por lo que se constituye en un sistema de tipo cerrado. Las plantas se cultivan en ausencia de sustrato, por lo cual las plantas se encuentran suspendidas en canales de cultivo con o sin un contenedor de soporte. Otra característica del sistema, es la necesidad de contar con una pendiente o desnivel de la superficie de cultivo, ya que por medio de ésta, se posibilita la recirculación de la solución nutritiva. Países del norte de Europa, especialmente, han utilizado el sistema bajo invernadero para cultivar hortalizas de consumo en fresco y de alta calidad. Destaca la producción de lechugas con un alto número de rotaciones anuales y la de tomates, con un período extendido de producción que permite la obtención de muy altos rendimientos. El sistema "NFT" está siendo implementado, en sus distintas formas, especialmente en zonas áridas de América Latina. Para ello es importante un conocimiento previo de las técnicas hidropónicas básicas como la raíz flotante y contar con un nivel de inversión mayor al requerido para éstas, con la finalidad de aumentar la capacidad de producción por unidad de superficie y de tiempo de cultivo. Su éxito en condiciones locales, se basa asimismo en la utilización y apropiación de materiales existentes en las cercanías y contar con personal idóneo en las técnicas de preparación y manejo de soluciones nutritivas, del sistema y del cultivo de la especie elegida.

II.6.2.- Ventajas que ofrece el sistema "NFT"

Urrestarazu (1996) menciona las siguientes ventajas del sistema NFT:

- Rentabilidad y eficacia de uso de fertilizantes y agua
- Control de los productos de salida del agrosistema y
- Mayor delimitación en la localización de los agentes que producen alteraciones fitosanitarias.

II.6.3.- Desventajas señaladas para el sistema "NFT"

Urrestarazu (1996) menciona las siguientes desventajas del sistema NFT:

- Inversión inicial
- Inversión en mantenimiento
- Necesita de agua de baja conductividad eléctrica (menor o igual a 1)
- Existe la posibilidad que si el sistema radical contiene problema de hongos puede contagiar a las demás plantas por tratarse de un sistema cerrado.

Beltrano (2015) menciona las siguientes desventajas adicionales del sistema NFT:

- El oxígeno es aportado por la solución y por el aire que rodea a gran parte de las raíces, que se dificulta con el aumento de la temperatura, ya que el consumo se duplica con el aumento de 10°C, mientras que la disolución del oxígeno en la solución baja de 9,6 a 7,8 mg/L para 20 y 30°C respectivamente.
- Concentración de Oxígeno: A medida que la temperatura aumenta, la disponibilidad de O₂ disuelto disminuye significativamente, motivo por el cual se deben aplicar algunas de las técnicas mencionadas: burbujeo o bien algún tipo de agitación o alternancia de riegos y suspensión de riego, a fin de incrementar la disponibilidad de O₂ para las raíces. Límite inferior 3mgO₂/L. Para solucionar este problema, las alternativas son, o bien a través de burbujeo mediante bombas, o alternar riegos y descanso (15 minutos riego, 15 minutos descanso).

II.6.4.- COMPONENTES Y MATERIALES DEL SISTEMA "NFT"

Carrasco (1997) nombra cada componente y los describe de la forma siguiente:

A.- ESTANQUE COLECTOR.- El estanque colector tiene por función almacenar la solución nutritiva a través del período de cultivo. Idealmente, los estanques colectores debieran ser de material PVC o de fibra de vidrio. La elección de un estanque colector no sólo está determinada por el material constituyente, sino también por su capacidad de almacenamiento de solución nutritiva. El volumen del estanque está en función directa del

número de plantas, especies a cultivar y modalidad de corrección química de la solución nutritiva (sistema de corrección manual o automático).

B.- CANALES DE CULTIVO.-Las plantas cultivadas hidropónicamente al no contar con un medio sólido de sostén, éste es brindado a las plantas por el tipo de contenedor utilizado como también por el canal de cultivo, el cual permite la sujeción de las plantas. La segunda función de los canales y de igual importancia a la anterior, es permitir que la solución nutritiva pase en forma expedita a través de ellos. Así, es recomendable utilizar canales de sección rectangular, ya que ésta permite mantener la fina lámina de solución circulante en la sección transversal a lo largo del canal.

C.- BOMBA.- Es otro elemento básico del sistema. Su función es impulsar permanentemente la solución nutritiva desde el estanque colector hasta la parte alta de los canales de cultivo. Por ello, dependiendo de la magnitud del módulo de producción y grado de supervisión debieran considerarse dispositivos de alarma que indiquen una interrupción no deseada. Dentro de la gran variedad de tipos de bombas y características de funcionamiento, destacan las de accionamiento eléctrico de operación sumergida o no sumergida.

D.- RED DE DISTRIBUCION.- La solución nutritiva es distribuida a través de una red compuesta por tuberías y mangueras de PVC o goma desde la bomba impulsora hacia la parte superior de los canales de cultivo. En relación a su dimensión, depende del volumen a transportar a través del sistema, sin embargo como el flujo requerido no supera los 2 a 3 litros por minuto, normalmente el diámetro de las tuberías es de 1 pulgada.

II.6.4.5.- TUBERIA COLECTORA.- La tubería colectora recibe la solución nutritiva desde los canales de cultivo y la lleva de retorno hacia el estanque colector. La localización de esta tubería se ubica frente y en un nivel más bajo que la altura inferior de los canales, de esta forma la solución nutritiva al caer por gravedad se oxigena.

II.6.5.- REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA "NFT"

Carrasco e Izquierdo (1996) afirman que para la obtención de una producción comercial exitosa, es necesario conocer los requerimientos de este sistema hidropónico los cuales se describen a continuación:

a.- ALTURA DE LA LAMINA DE LA SOLUCION NUTRITIVA

El sistema "NFT" consiste en recircular en forma permanente una lámina fina de solución nutritiva que permita la oxigenación de las raíces y el aporte de agua y sales nutritivas durante todo el período de cultivo. Idealmente, esta lámina no debería alcanzar una altura superior a los 4 a 5 mm, para favorecer así la aireación de la solución y por ende la oxigenación de las raíces.

b.- FLUJO DE LA SOLUCION NUTRITIVA

Para el logro y mantención de la lámina de solución nutritiva recirculante, es recomendable ajustar su flujo en aproximadamente 2 litros por minuto. Este caudal permite que las raíces de las plantas posean una oferta adecuada de oxígeno, agua y nutrientes.

c.- OXIGENACION DE LA SOLUCION NUTRITIVA

La solución nutritiva se oxigena no solamente por su circulación a través de los canales de cultivo, sino principalmente, al caer abruptamente sobre el remanente de solución en el estanque colector, donde se produce turbulencia y por lo tanto su aireación. De esta forma es aconsejable dejar al menos 50 cm de altura de caída entre la parte final de la tubería colectora y la altura de nivel de llenado máximo del tanque.

d.- PENDIENTE

Para que la solución nutritiva fluya constantemente en el sistema, se requiere que ésta sea impulsada desde el estanque hacia la parte elevada de los canales de cultivo, y luego descienda a través de ellos por gravedad. Este descenso se produce gracias a la pendiente longitudinal de los canales de cultivo. En general, se recomienda que esta inclinación sea de alrededor de un 2 %.

e.- LONGITUD DE LOS CANALES DE CULTIVO

Para la mantención de los requerimientos mencionados anteriormente, se necesita además considerar un largo máximo de canales de cultivo no superior a los 15 metros. De esta forma, se logra que la solución nutritiva se mantenga con un adecuado contenido de oxígeno posible de ser absorbido por las raíces de las plantas.

f.- LOCALIZACION DEL SISTEMA "NFT"

Es recomendable que el invernadero en el cual se monte el sistema "NFT", se localice cercano a la fuente de agua y a la eléctrica. Además, es recomendable ubicarlo en un lugar protegido de vientos fuertes y en lo posible próximo a una casa habitación, para así contar con el resguardo de los materiales y productos existentes en el invernadero.

II.6.6 Costos de instalación y producción del Sistema NFT (para 100m²)

Resumen:

Inversión inicial:	S/7370.00
Costo mensual:	S/1260.50
Costo por lechuga:	S/0.42; (3000 lechugas/100m ²).
Producción:	3000 lechugas/100m ²

En el **anexo 6** se dan más detalles.

II.7.- MANEJO DE LECHUGAS EN EL SISTEMA HIDROPÓNICO

II.7.1.- LECHUGA *Lactuca sativa* L.

Morgan (1999), en la actualidad la lechuga es en sus diversas variantes, la planta más utilizada en la composición de ensaladas. No obstante su cultivo se remonta varios siglos atrás. La lechuga fue cultivada por los romanos, aunque se cree que la primera civilización en iniciar su cultivo fue la egipcia, hacia el año 4500 a C. En China, por otra parte, la lechuga parece haber sido cultivada desde el siglo V d. C. La primera mención post romana aparece en la obra de Gerald, publicada en 1597 y en la que describe ocho distintas variedades de lechuga. Posteriormente, y de la mano de los primeros colonos, la lechuga fue introducida en América.

Carrasco e Izquierdo (1996) nos muestran los diferentes tipos de lechuga:

Las "butterhead" o "mantecosas" son las más cultivadas en este sistema hidropónico, ya que destaca su mejor calidad en relación a las cultivadas en suelo y al aire libre. Las lechugas "mantecosas" forman una cabeza central, sus hojas son de textura suave de alta palatabilidad; son precoces en relación a otros tipos de lechuga existiendo variedades de otoño-invierno y primavera-verano. Ejemplo: La variedad Duett.

Las lechugas tipo longifolia, "cos" o "romana" se caracterizan por sus hojas de mayor altura y forma oblonga. Se cultivan en menor escala en "NFT" por la dificultosa sujeción de las plantas en los días previos a la cosecha debido a su gran altura.

Las lechugas de tipo capitata, hoja arrepollada mal denominadas "escarolas", presentan grandes cabezas de hojas crespas, mayor resistencia a la emisión del tallo floral ("florecimiento o "subida") comparada a las "mantecosas". Cuando se cultivan este tipo de lechugas en "NFT", se deben cuidar las condiciones de temperatura, humedad y luminosidad del invernadero, para así obtener una lechuga de cabeza firme y alto valor comercial. La temperatura óptima para la formación de la cabeza es de alrededor de 20°C. Para la obtención de lechugas de mayor cabeza se requiere un mayor número de hojas por lo que se debe mantener mayor tiempo el cultivo, lo que debiera ser analizado económicamente. Ejemplo: La variedad Americana.

Lechugas de hoja suelta aptas para "NFT" existen cultivares que tradicionalmente se han cultivado en el suelo, como lo son Milanesa y Parker. Sin embargo, es necesario tener presente que este tipo de lechuga es de menor precio de venta y por lo tanto hace menos rentable la inversión. También existe la posibilidad de comercializar las hojas de éstas u otras lechugas en bolsas como ensaladas de "cuarta generación". Además, existen nuevos cultivares de hoja suelta que generalmente son conocidos y consumidos principalmente en países desarrollados, como elementos decorativos para platos junto a mariscos y pescados.

Otras de hojas con bordes crespos, las cuales son conocidas como "oak leaf", de color de hoja verde o rojiza, se presentan como una alternativa atrayente como producto "gourmet". Ejemplo: Lechugas de la variedad hoja de roble.

II.7.2.- FISIOLOGÍA DE LA LECHUGA

La lechuga se recolecta al finalizar la etapa de crecimiento vegetativo y con anterioridad al proceso reproductivo. El objetivo es conseguir un crecimiento vegetativo acelerado, para lo cual se requiere un especial tratamiento nutricional. Escoger la variedad apropiada para la estación (**Morgan, 1999**).

II.7.3.-OBSERVACIONES DE LA ESPECIE *Lactuca sativa L.*

Contenido de nitratos en las hojas.

Dentro de la problemática ambiental actual sobre la acumulación de nitratos en hortalizas de hoja, la lechuga se destaca por ser una de las especies de mayor acumulación en épocas del año donde existe una reducida intensidad lumínica, condición encontrada en los países del norte de Europa y especialmente bajo invernadero. Investigaciones realizadas con animales de laboratorio, han revelado que el consumo excesivo de nitrato en la dieta sería peligroso, pues éste es el precursor de ciertos compuestos cancerígenos. Por esta razón existe actualmente preocupación por cultivar lechugas con un contenido reducido de nitratos. Resultados de investigaciones han mostrado que el contenido de nitratos disminuye a partir del mediodía, lo que permite aconsejar que se realice la cosecha a partir de esa hora, evitando las cosechas nocturnas o matinales (**Birgi, 2015**).

Coloración de las hojas.

Una pigmentación roja intensa es deseable en las variedades de lechuga hidropónica roja. Ello se puede potenciar mediante diversos factores. En primer lugar, el color potencial de la hoja de lechuga es genético. A parte de la influencia genética los pigmentos responsables de la coloración de las hojas son la clorofila y la antocianina (rojo). Es la combinación de estos dos pigmentos lo que determina el color. Una baja CE en la solución nutritiva hará que la coloración de la hoja se diluya y debe ser evitada. Muchos productores son capaces de detectar a simple vista, un descenso de la coloración y corregirlo en tan solo 24 horas incrementando el nivel de potasio en la solución (**Morgan, 1999**).

En el **anexo 7** se muestra la ficha técnica de la lechuga (*Lactuca sativa L.*).

En los **anexos del 8 al 11** se complementa la información de la superficie de producción de lechuga en el país y dentro de ella cual es el área actual de la producción de la lechuga hidropónica en el Perú.

III DESARROLLO DEL TEMA

En el Perú los dos sistemas de producción hidropónica de mayor uso son:

El Sistema recirculante (NFT) y El Sistema de raíz flotante (SRF)

En todos los sistemas productivos el tiempo de producción de la lechuga bordea los 2 meses, siendo el de más rápido ciclo productivo el sistema NFT, con un promedio de 57 días; y por último el sistema de raíz flotante con promedio de tiempo de producción de lechugas de 59 días, y pesos promedio de 250g y 200g respectivamente.

Comenzaremos a describir los procesos comunes que se dan en los sistemas SRF y NFT, como son:

Almácigo, Primer trasplante y Trasplante definitivo

En todos estos procesos están involucrados el uso de la solución nutritiva, el monitoreo del nivel de volumen de la solución nutritiva, el pH, la conductividad eléctrica, el nivel adecuado de oxigenación, la observación del cultivo y muchas actividades más que la empezaremos a desarrollar a continuación.

III.1.- SIEMBRA EN ALMACIGOS

Las semillas de la lechuga al ser muy pequeñas requieren de mayores cuidados y por ello su siembra en almácigos es una práctica habitual y cotidiana en un centro de producción hidropónico de lechugas. Los contenedores que se usan para disminuir costos pero no funcionalidad, se confeccionan a partir de cajas de frutas ya utilizadas a las cuales se las forra con polietileno u otro material plástico, pero la principal característica de estos contenedores es que tengan orificios de drenaje, la cantidad de sustrato tiene que tener una altura mínima de 5cm.

Las plantas de lechuga están en las almacigueras un promedio de 12 a 15 días, el sustrato que ha demostrado ser mejor es la arena de construcción lavada, por su buena aireación y practicidad y facilidad del trasplante a raíz desnuda, así como también acelera la germinación de las semillas, ocupa poco espacio, permite seleccionar las mejores plántulas, así como

obtener mayor número de plántulas por unidad de área. La siembra se realiza en línea corrida o también una semilla cada 0.5 cm o hasta como máximo 1cm.

Las lechugas necesitan de luz para terminar de germinar por lo que especialmente en invierno, los contenedores con las semillas recién sembradas deben de colocar en espacios abiertos, además esto previene la etiolación a lo cual las plántulas de lechugas son muy propensas. En la época de verano si es recomendable evitar la radiación solar directa por lo que se hace uso de mallas sombreadoras.

En la **figura 6** se aprecia que los contenedores están rotulados con los nombres de las variedades de lechuga que se acaban de sembrar.



Figura 6: Contenedor con semillas de distintas variedades de lechuga recién sembradas en arena lavada a una profundidad de 0.5 cm.

Las plántulas comienzan a salir a la superficie a partir de los 4 a los 5 días, durante este periodo se le riega solo con agua diariamente.

Cuando aparezca la primera hoja verdadera se inicia el riego con media dosis de solución nutritiva (2.5 ml/l de solución concentrada de macronutrientes y 1ml de solución concentrada de micronutrientes), lo cual es alrededor de 5 días.

Después de esto, a partir del día 11 al 15 aplicar la solución nutritiva (para nuestro caso la solución hidropónica La Molina) con la concentración completa (5 ml/l de solución concentrada A y 2 ml de solución concentrada B por litro de agua) . Los riegos se hacen con pulverizadores o aspersores para no desplazar las semillas ni doblar los tallos débiles, también se puede hacer el uso de regaderas pero que generen gotas pequeñas y uniformes.

En la **figura 7** se observa los diferentes fenotipos de varias variedades, en tan solo pocos días de emergencia de las plántulas



Figura 7: Contenedor con plántulas de distintas variedades de lechuga, las cuales están listas para ser trasplantadas

III.2.- PRIMER TRASPLANTE

Después de los de los 12 a 15 días después de siembra o cuando las plantas alcanzan aproximadamente los 5 centímetros de altura se realiza el primer trasplante en el sistema a raíz flotante, esta etapa es igual para todos los sistemas de producción hidropónica, por su facilidad de manejo.

En la **figura 8** se puede observar que las raíces de las plántulas recién trasplantadas son de color claro, lo cual nos indica que hay una adecuada oxigenación de la solución nutritiva.



Figura 8: Plántulas de lechuga con tres a cuatro hojas verdaderas recién trasplantadas, en esta etapa estarán de diez a quince días

En la **figura 9** se puede apreciar que siempre es recomendable que los cultivos hidropónicos estén a una altura mínima lo cual facilite el trabajo del personal.



Figura 9: Plantas de lechuga de 25 a 30 días después de sembradas, listas para el trasplante definitivo, observándose alta densidad de plantas y uso de control etológico de plagas.

III.3.- TRASPLANTE DEFINITIVO

Se realiza a partir del día 25 a 30 después de siembra inicial y aquí las plantas permanecerán 30 días hasta su cosecha (55 a 60 días en total después de siembra), dependiendo a que sistema va a ser trasplantado. Al igual que en el primer trasplante las plantas están siendo nutridas con solución nutritiva en la que la conductividad eléctrica debe permanecer entre los 1.8 a los 2.2 dS/m. Siendo el pH ideal de 6 a 6.5, pero en términos reales los valores de pH pueden permanecer entre los 5.8 a 7.

Concentración de la Solución Nutritiva

La solución nutritiva que se emplea para el cultivo de lechuga tiene la concentración de nutrientes que se muestra en el anexo 3, cuando tanto la solución concentrada A y B ya fueron totalmente disueltas, según la siguiente proporción por litro de agua. (5 ml Solución A y 2 ml Solución/litro de agua).

Esta solución es la estándar para los cultivos hidropónicos, pero para el caso de la lechuga que es una hortaliza de hoja dependiendo del tipo de agua con que se cuente (previo análisis

de agua) se le debe añadir a la mezcla de 100 a 300 gramos de nitrato de calcio por mil litros de solución preparada previamente, ya que la lechuga es muy sensible a la deficiencia de calcio.

III.3.1 TRASPLANTE DEFINITIVO Y MANEJO EN EL SISTEMA DE RAIZ FLOTANTE

Luego que las lechugas cumplen de 25 a 30 días después de la siembra (de los cuales ha pasado un promedio de 15 días en raíz flotante de alta densidad) se las pasa a contenedores de una densidad de 30 plantas/m² en envases tipo canastilla que tienen la función de dar un soporte individualizado de cada planta en conjunto con la lámina de poliestireno expandido

Este sistema ha sido muy eficiente en el cultivo de albahaca, apio y lechugas. Otras especies no han tenido un comportamiento uniforme en él, ya que es muy exigente en un cuidadoso manejo, especialmente de la aireación. Lo ideal es la aireación con inyectores de aire o si no es el caso en manual dos veces al día. En la **figura 10** se muestra el pH metro, conductímetro, e instrumentos de medida de volumen como por ejemplo la probeta, todos necesarios para un adecuado manejo de la solución nutritiva.



Figura 10: Lechugas recién pasadas a trasplante definitivo en contenedores de 40x40x10 cm, y con un volumen de solución de 8 litros con pH de 7 y C.E: de 2.2 dS/m

De todos los métodos de cultivo hidropónico el sistema de raíz flotante por definición el auténtico cultivo hidropónico y fue uno de los primeros sistemas que se usó tanto a nivel experimental como a nivel comercial. En la **figura 11** se muestra la lectura habitual de la CE y el pH usando un equipo multifuncional de la marca HANNA, el cual también indica la temperatura de la solución.



Figura 11: Control interdiario de pH y CE

Este tipo de sistema de producción en la actualidad se adapta más a la producción a pequeña escala a nivel familiar o para realizar investigación, ya que la que resulta más para una producción a gran escala es el sistema NFT o el aeropónico.

En la **figura 12** se puede apreciar que el experimento se está realizando en invierno, porque no hay ninguna cobertura de sombreado, y la aplicación se está realizando muy temprano para disminuir la deriva del producto aplicado.



Figura 12: Uso de repelentes orgánicos naturales a bases de microorganismos eficientes, los cuales se usan contra insectos fitófagos.

En esta etapa de trasplante definitivo las plantas están soportadas en planchas de poliestireno expandido, pero en el Perú se ha desarrollado aún más el sistema de raíz flotante, ya que no se comporta como un caso típico de balsas flotantes como en el caso del primer trasplante post almácigo, ya que la plancha de tecnopor está apoyada a las paredes del contenedor lo cual permite que haya un espacio entre la solución nutritiva y la base de la plancha que contiene a las lechugas donde está ocupado por aire, lo cual facilita la respiración de las raíces que están más cerca al cuello de planta, lo cual permite que la aireación de las raíces en forma manual o por medio de inyectoros de aire eléctricos sea facultativa. En la **figura 13** se observa el uso del equipo SPAD, el cual nos permite hacer lecturas directas de la concentración de clorofila en las hojas de cualquier vegetal.



Figura 13: Control de concentración varietal de clorofila con el equipo SPAD

Luego de la cosecha las lechugas pueden soportar un almacenamiento post cosecha de hasta 2 meses ($0^{\circ}\text{C} - 2^{\circ}\text{C}$), se pueden comercializar como plantas vivas en envases plásticos con agua o embaladas independientemente en bolsas plásticas agujereadas que no permite la acumulación de agua al estado de vapor o al estado líquido, pero en líneas generales las lechugas que duran más tiempo en almacenamiento son las que permanecen con sus raíces.

La **figura 14** muestra lechugas de la variedad Ariana las cuales se adecuan óptimamente al sistema de raíz flotante.



Figura 14: Vista vertical de lechugas que ya están para venta

En la **figura 15** se muestra el uso de jabas en la cosecha, ayudando con esto a reducir el deterioro post cosecha.



Figura 15: Cosecha de lechugas de 2 meses, listas para su proceso post cosecha y expendio.

III.3.2 TRASPLANTE DEFINITIVO Y MANEJO EN EL SISTEMA NFT

En el sistema de la película nutriente (NFT) las raíces están siendo irrigadas con la solución nutritiva en constante recirculación a razón de 15 minutos se activa la bomba y 15 minutos descansa por lo que la oxigenación de las raíces es mucho mayor que en el sistema de raíz flotante. La **figura 16** muestra una unidad de producción recirculante horizontal donde se está instalando una sola variedad de lechuga.



Figura 16: Trasplante definitivo en sistema NFT horizontal. 25 plantas por m²

La **figura 17** muestra que en una unidad de producción recirculante piramidal se puede cultivar distintas variedades de lechuga a la vez.



Figura 17: Sistema NFT piramidal con mayor densidad de plantación de lechugas (30 plantas/m²) que el sistema horizontal.

Otra ventaja del sistema NFT es que es muy fácil de replicar con insumos de bajo costo con materiales de fácil acceso como lo son tubos de pvc de desagüe y fierro de construcción y accesorios de riego tecnificado.

En la **figura 18** podemos apreciar lo importante de que los componentes del Sistema NFT sean de color blanco, y así reducir en lo posible el incremento de la temperatura de la solución recirculante, especialmente en días soleados, ya que lo perjudicial de un aumento de la temperatura ocasiona un descenso de la cantidad de oxígeno disuelto en la solución hidropónica, lo cual es perjudicial para el ecosistema de las raíces (a concentraciones menores de 4 ppm de oxígeno, comienza a haber necrosis de raíces).



Figura 18: Replicamiento de sistemas NFT piramidales

Los componentes del sistema NFT son desarmados y lavados al término de cada campaña para eliminar los restos de raíces de la campaña anterior, así como sacar el sarro del interior de los canales de cultivo que en muchos de los casos vienen a ser tubos perforados de pvc y pintados de blanco. La solución nutritiva en los meses de invierno puede mantener concentraciones altas o ideales de oxígeno disuelto en la solución nutritiva (7 a 11 mg de Oxígeno por litro de solución), ya que la concentración de oxígeno es inversamente proporcional a la disminución de la temperatura de un líquido en el cual el solvente es el agua.

Los componentes del sistema NFT son desarmables especialmente los que corresponden a los canales de cultivo los cuales van pegados a presión y sus acoples son reforzados usando cinta teflón principalmente.

En la **figura 19** se aprecia que los canales de cultivo son desarmables pero en sus extremos, ya que de largo están unidos con pegamento cementante, pudiendo tener de largo 3, 6, 9, 12 o hasta 15 metros como lo dice la bibliografía.



Figura 19: Técnico terminando de armar el sistema NFT después de su lavado de mantenimiento

Los sistemas NFT también pueden ser acoplados a invernaderos con diferentes tipos de tecnología, lo más común es el uso de tinglados en verano para evitar el exceso de radiación directa a las plantas.

En la **figura 20** se muestra un sistema NFT plano, pero de excesiva longitud, con la cual la oxigenación de la solución nutritiva al final no es la misma que al inicio, más aún cuando los canales de cultivo son cóncavos por haber sido adaptado con tubos de pvc y no como los arquetipos del NFT en la cual los canales de cultivo son de forma rectangular y el tamaño de lámina de riego es delgada y uniforme; y de acuerdo con **Paqui (2017)** nos recomienda que para una mayor facilidad de una eficiente limpieza al final de la campaña, los canales de cultivo deberían de tener como máximo 9m de longitud.



Figura 20: Sistema NFT en invernadero pequeño de investigación y centro de mediana producción comercial en Chilca con tinglado de malla raschel al 60% de cobertura.

La **figura 21** muestra que para producciones intensivas lo ideal para prevenir el ataque de pulgones es hacer uso de franjas longitudinales de trampas amarillas.



Figura 21: Sistema NFT de alta producción comercial en Trujillo, con lechugas de la variedad Ariana.

La **figura 22** muestra que adicionalmente a la malla anti pulgones se cuenta con malla raschel la cual permanece extendida en los días de verano, en este centro de producción de lechuga hidropónica. Lima – Perú.



Figura 22: Lechugas de la Variedad Boston en invernadero con malla antiáfida.

La fotografía central de la **figura 23** muestra las bondades de la Hidroponía, la cual ha ganado un sitio muy importante en la agricultura de precisión.



Figura 23: En la imagen izquierda se puede apreciar la tubería de succión, la tubería de retorno y el tanque con la solución nutritiva; en la imagen central se pueden apreciar todos los componentes del Sistema Hidropónico Recirculante NFT: estanque colector, canales de cultivo, bomba, red de distribución y tubería colectora; y en la imagen de la derecha se observa el tanque colector tapado para evitar el crecimiento de algas y con material pintado de blanco que evita el aumento de temperatura en días soleados.

III.4.- INVESTIGACION DEL USO SILICIO EN EL SISTEMA DE PRODUCCION HIDROPÓNICA DE LECHUGAS

Sabiéndose que a nivel mundial se ha revalorado la importancia del silicio como elemento benéfico para las plantas, desde el año 2016 se vienen realizando investigaciones en diversos cultivos en costa, sierra y selva, de nuestra Patria, coordinadas desde un inicio por el departamento de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, y a la que se unió también el departamento de Biología a través del Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral realizando pruebas en lechugas de la variedad “Ariana”

Como los resultados aún no han sido publicados, el suscribiente puede mencionar algunos de los resultados positivos que vienen dando en la adición de fuentes de silicio en la solución nutritiva de lechugas, como por ejemplo:

Lo más saltante es que gracias a experimentos de TERMOESTABILIDAD DE LA MEMBRANA CELULAR, se ha logrado comprobar que el uso de dosis calibradas de silicio permitió que las hojas de lechugas sometidas a baño maría por una hora y a 40 grados centígrados tuvieron un mínimo de rotura de membranas celulares comparadas con los testigos, lo cual abre una gran posibilidad de poder seguir siendo cultivadas las lechugas a medida que sigue avanzando el cambio climático y por ende las temperaturas siguen aumentando a pesar de ser una especie delicada comparada con otros vegetales.

La **figura 24** muestra un equipo de baño maría con temperatura programable, donde se colocaron tubos de ensayo con muestras de 0.5 g de porciones apicales de hoja de lechuga, más 30 ml de agua destilada, a una determinada temperatura por el tiempo de una hora.



En la **figura 25** se puede apreciar en la esquina una estufa para secado de muestras frescas, lo cual es muy importante como proceso previo a los análisis que se realizarán para determinar la cantidad de silicio asimilado por las lechugas en las diferentes dosis que se probaron.



Figura 25: Muestras de lechuga para evaluaciones de almacenaje y para determinación de materia seca. Después de 38 días de almacenaje con humedad para acelerar el deterioro, hubo menor recuperación de tejido vivo en las lechugas que no se aplicó silicio (esquina izquierda) y se observó en el tejido necrosado mayor población de hongos y bacterias

A través de los experimentos se puede ir comprobando que el silicio se incorpora a las paredes celulares otorgándole a las plantas tolerancia a altas temperaturas, además mayor resistencia al ataque de hongos, bacterias y a insectos pequeños como los trips, ya que contra orugas las lechugas fueron atacadas indistintamente. También se ha podido verificar que el tiempo de almacenaje post cosecha se incrementa en las plantas tratadas con silicio, así como un mayor rendimiento en peso fresco.

La **figura 26** nos muestra lo esperanzador del control biológico de pulgones cuando no se aplica insecticidas sintetizados químicamente; aquí se observa un coccinélido en plena caza de insectos fitófagos; lo cual es un gran aliciente para luchar por una agricultura sana, con menos cáncer para la población y al servicio de nuestra patria.

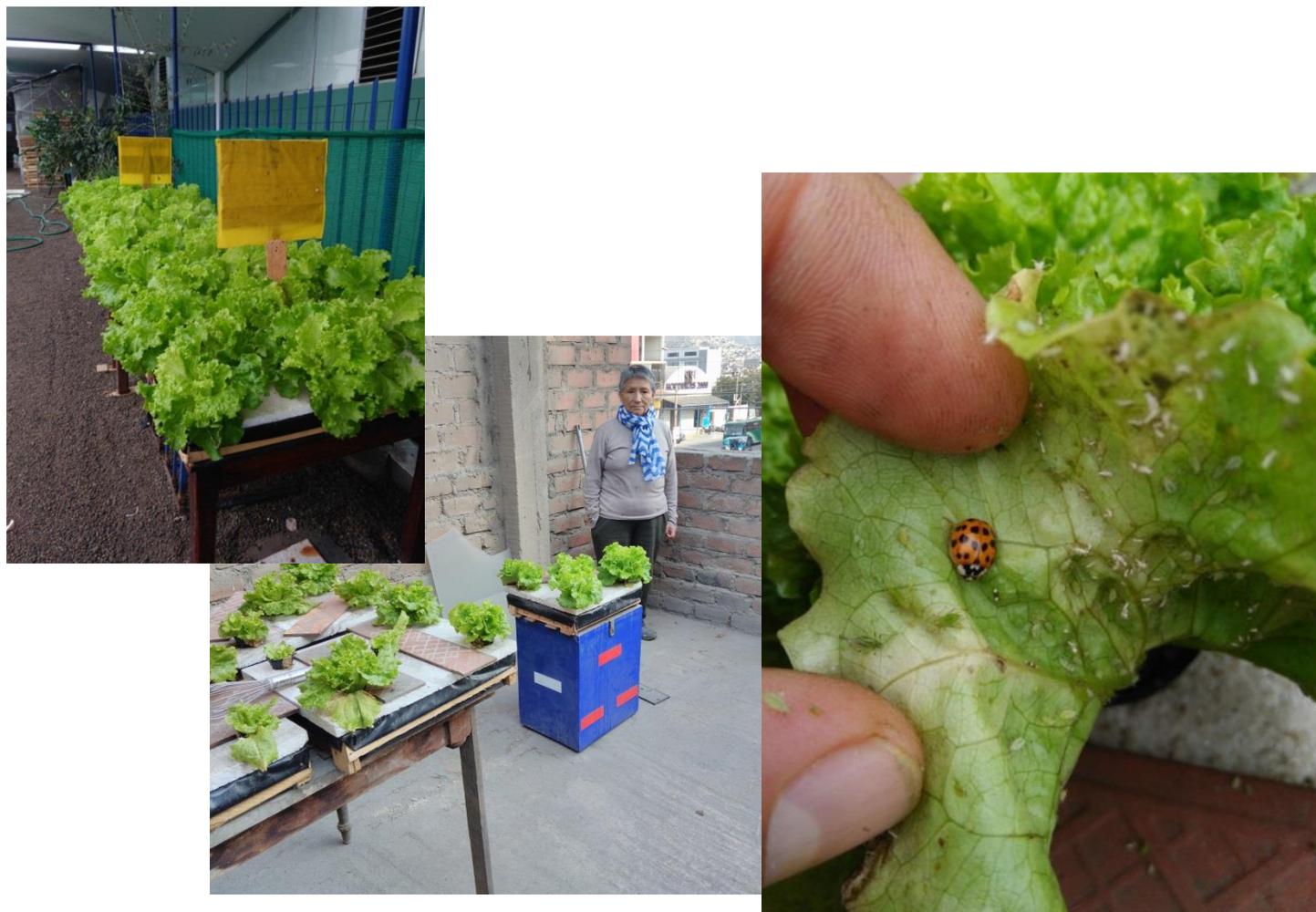


Figura 26: Uno de los experimentos con diferentes niveles de silicio en lechuga, algunas dosis demostraron que hay mayor incremento en peso seco. Ejemplo de Hidroponía urbana en el distrito de Comas – Lima, usando silicio en la solución y aplicado foliarmente y se comprobó que es amigable con los controladores biológicos de los pulgones.

Otra observación muy importante es que cuando se usa silicio bajo la presentación de silicato de potasio como complemento de la solución nutritiva radicular, se debe de tener muy presente los antagonismos que se dan entre el K y Ca; así como K y Mg. (**Anexo 12**).

IV CONCLUSIONES

- La hidroponía se basa en el uso de una solución nutritiva la cual se asemeja a la que desde millones de años ha estado en los océanos como lo es el agua de mar, que permitió el origen de la vida primero en el agua, mucho antes que en la tierra.
- Los bioelementos esenciales para los cultivos hidropónicos son suministrados por medio de las soluciones nutritivas concentradas, las que se almacenan en dos fracciones por separado por incompatibilidad de algunos fertilizantes, tal como la solución A y la solución B, ampliamente difundida en el Perú por la UNALM.
- El sistema de producción hidropónico recirculante es el que más se adapta a la producción intensiva de lechugas por el uso de equipos que se pueden automatizar y por la mayor oxigenación de las raíces, mientras que el sistema de producción hidropónico de lechugas estático a raíz flotante es más usada en investigación, para iniciarse en esta técnica o para una producción en menor escala en general.
- La reducción del espacio de suelo cultivable, la menor disponibilidad de agua saneada para el riego y el aumento de las exigencias del mercado en calidad y sanidad de las hortalizas de hoja como la lechuga, han hecho que las técnicas hidropónicas de cultivo se están haciendo cada vez más populares.
- Las lechugas que consumimos en el Perú provienen de sistemas de producción heterogéneos; las que provienen de producción hidropónica, cada vez tienen mayor aceptación y volumen de comercialización lo cual se refleja en su venta en todos los supermercados y en muchos establecimientos de venta de comidas.
- La posibilidad de producir alimentos, especialmente hortalizas de alta calidad, como las lechugas reviste importancia en zonas altamente pobladas. Para lo cual la hidroponía es una alternativa real para las zonas urbanas.

V RECOMENDACIONES

- Probar nuevas fuentes de macro y micronutrientes de preferencia de origen orgánico tal como es el caso de extracto de algas marinas, agua de mar, ácidos fúlvicos, ácidos húmicos, biol, entre otros.
- Identificar variedades de lechugas que sean más eficientes en el aprovechamiento de nitratos, para así reducir la fertilización nitrogenada y asegurar que el contenido de nitratos sin metabolizar en hojas sea el mismo que en lechugas que se cultivan en suelo o incluso como lechugas que se producen en agricultura orgánica.
- Evitar al máximo el uso de pesticidas para el control de insectos y continuar con el uso de repelentes naturales, extracto de plantas con propiedades biocidas, y controladores biológicos, porque la comunidad asocia lo hidropónico con calidad sanitaria por lo que exige que los productos sean inocuos.
- Integrar la hidroponía con la acuicultura, como se viene dando incipientemente en algunos países del hemisferio norte, en lo que llaman “Acuaponía”, lo que es la crianza de peces de agua dulce acoplada a la producción de hortalizas hidropónicas. Y ya no necesita fertilización química artificial, ya que la fertilización de las plantas se realiza por los desechos metabólicos de los peces y a estos se los alimenta con alimentos balanceados peletizados de origen orgánico.
- Contar con equipos que miden la concentración de oxígeno en solución, ya que así tendríamos una variable más a evaluar tan importante como lo es la CE y el pH; y así también nos veríamos obligados a registrar la temperatura de la solución nutritiva, la cual está directamente relacionada con la cantidad de oxígeno disuelto en agua.

VI REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Beltrano, J. (2015). Cultivo en Hidroponía. Editorial de La Universidad De La Plata. Argentina.
- Birgi, J. (2015). Producción Hidropónica de Hortalizas de Hoja. INTA-Estación Agropecuaria Santa Cruz. Argentina.
- Calderón, F. (1997). Preparación de la solución nutritiva – Los fertilizantes líquidos. Curso – Taller Internacional de Hidroponía: Hidroponía una esperanza para Latinoamérica - 1996. Lima. Perú. CIHNM-UNALM p 365-379.
- Carrasco, G. (1997). La técnica de solución nutritiva recirculante. Curso – Taller Internacional de Hidroponía: Hidroponía una esperanza para Latinoamérica - 1996. Lima. Perú. CIHNM-UNALM p 77-82.
- Carrasco, G. e Izquierdo, J. (1996). La empresa hidropónica de mediana escala: La técnica de la solución nutritiva recirculante (NFT). Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Editorial Universidad de Talca.
- Censo Nacional Agropecuario del Perú (2012). INEI-Cuarto CENAGRO
- Curtis, H y Barnes, S. (2000). Biología. Sexta edición. Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires - Argentina.
- Estadísticas Agrarias de Intención de siembra y producción, campaña 2015 – 2016. Oficina de Información Agraria. Ministerio de Agricultura y Riego del Perú.
- Entrevista con el Biólogo PhD. Alfredo Rodríguez Delfín, Director del Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. (octubre – 2017) Tema: Áreas actuales de lechuga hidropónica en el Perú.
- Entrevista: Técnica Lícida Paqui Yaranga. (2017). CIHNM-UNALM. Tema: Consejos Prácticos de manejo en un sistema hidropónico.
- Howard, R. (1997). NFT y Cultivos en agua. Curso – Taller Internacional de Hidroponía: Hidroponía una esperanza para Latinoamérica - 1996. Lima. Perú. CIHNM-UNALM p 139-154.
- Marulanda, C. (2003). La Huerta Hidropónica Popular. Tercera Edición. FAO. Impreso en Chile.

- Morgan, L. (1999). El Cultivo Hidropónico de Lechugas. Editorial Casper Publications Pty Ltd. Australia.
- Reina, C. y Valera, C. (1602). La Santa Biblia. Revisión de 1995. Libro del Profeta Daniel (Dn 4:29-30 y 4:34-37).
- Rodríguez, A. y Chang, M. (2017). Curso Práctico de Hidroponía - Centro de Investigación De Hidroponía y Nutrición Mineral (CIHNM) de La UNALM.
- Rodríguez, A. (2017). DECIMO OCTAVO CURSO INTERNACIONAL DE HIDROPONIA-2017. CIHNM-UNALM. LIMA-PERU.
- Rodriguez, A. (2012) Advances of Hydroponics in Latin America. Agrarian University of La Molina. 32 p
- Salisbury, F. y Ross C. (1994). Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D.F.
- Solomon et al. (2001). Biología. Quinta edición. Mc GRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES SA. Mexico.
- Terry, C. (1997). El Sistema de Raíz Flotante. Curso – Taller Internacional de Hidroponía: Hidroponía una esperanza para Latinoamérica - 1996. Lima. Perú. CIHNM-UNALM p 83-94.
- Urrestarazu, M. (1997). Soluciones Nutritivas Recirculantes. Curso – Taller Internacional de Hidroponía: Hidroponía una esperanza para Latinoamérica - 1996. Lima. Perú. CIHNM-UNALM p 171-177.
- Vidal, I. SEMINARIO DE ESPECIALIZACION EN FERTIRRIEGO – 2010. Colegio de Ingenieros del Perú – Consejo Departamental de Lima e Inform@cción.
- <https://i.pinimg.com/564x/7a/37/b1/7a37b1bf8cacde9322a1eee7002c3587.jpg>. (Figura 1).
- <https://www.ecocanjardineria.com/es/blog/diatomeas-tierra-mil-usos-ecologicos> (Figura 2).
- <http://descubrelasmaravillas.weebly.com/jardines-colgantes-de-babilonia.html> (Figura 3)
- <https://www.pinterest.com/pin/431853051759816227/> (Figura 4)
- <http://institutohistorico.org/extraordinario-invento-mexicano-las-chinampas/> (Figura 5)

VII ANEXOS

ANEXO 1

AREA ESTIMADA DE CULTIVOS HIDROPONICOS A NIVEL MUNDIAL. (CARRUTHERS, 2002)

RANKING	PAIS	HECTAREAS
1	HOLANDA	10 000
2	ESPAÑA	4000
3	CANADA	1547
4	FRANCIA	1000
5	ISRAEL	650
6	BELGICA	600
7	ALEMANIA	560
8	NUEVA ZELANDA	550
9	AUSTRALIA	500
10	SUDAFRICA	420
11	ITALIA	400
12	ESTADOS UNIDOS	400
13	INGLATERRA	392
14	FINLANDIA	370
15	JAPON	293
16	KOREA	274
17	MEXICO	120
18	CHINA	120
19	GRECIA	60
20	BRAZIL	50
21	TAIWAN	35
22	SIGAPUR	30
SUBTOTAL (89.5%)		22 398 HECTAREAS
TOTAL (100%)		25 000 HECTAREAS

FUENTE: RODRIGUEZ DELFIN, ALFREDO. (2012) ADVANCES OF
HYDROPONICS IN LATIN AMERICA

ANEXO 2

RANGOS DE CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS MINERALES ESENCIALES SEGÚN DIVERSOS AUTORES.

Concentración en ppm

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
N	210	168	150-225	106	172	200-236	167
P	31	41	30-45	62	41	60	31
K	234	156	300-500	156	300	300	277
Mg	34	36	40-50	48	48	50	49
Ca	160	160	150-300	93	180	170-185	183
S	64	48	--	64	158	68	--
Fe	2,5	2,8	3-6	3,8	3	12	2-4
Mn	0,5	0,54	0,5-1	0,81	1,3	2	0,62
B	0,5	0,54	0-0,4	0,46	1	0,3	0,44
Cu	0,02	0,064	0,1	0,05	0,3	0,1	0,02
Zn	0,05	0,065	0,1	0,09	0,3	0,1	0,11
Mo	0,01	0,04	0,05	0,03	0,07	0,2	--

(1) Hoagland y Arnon (1938)

(2) Hewitt (1966)

(3) FAO (1990)

(4) Jensen (1985)

(5) Larsen (1980)

(6) Cooper (1979)

(7) Steiner (1984)

Fuente primaria: (1), (2),(3) y (7) Windsor and Schwarz (1990); (4)y (5) Lorenz and Maynard (1988); (6) Cooper (1988).

Fuente: Carrasco. G e Izquierdo. J. (1996) La empresa hidropónica de mediana escala: La técnica de la solución nutritiva recirculante (NFT) Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Editorial Universidad de Talca.

ANEXO 3

CONCENTRACIÓN ESTÁNDAR POR CADA ELEMENTO. DE LAS SOLUCIONES HIDROPONICAS STOCK A Y B LA MOLINA DISUELTAS EN UN LITRO DE AGUA.

Proporción: (5 ml Solución A y 2 ml Solución/litro de agua)

210	ppm K	1.00	ppm Fe
190	ppm N	0.50	ppm Mn
150	ppm Ca	0.50	ppm B
70	ppm S	0.15	ppm Zn
45	ppm Mg	0.10	ppm Cu
35	ppm P	0.05	ppm Mo

Fuente: DECIMO OCTAVO CURSO INTERNACIONAL DE HIDROPONIA-2017
CEHNM-UNALM. LIMA-PERU

ANEXO 4

SOLUCION HIDROPONICA LA MOLINA

1. SOLUCIÓN CONCENTRADA A: Cantidad de fertilizantes para 5 litros:

- Nitrato de potasio 13.5%N, 45% K₂O 550.0g
- Nitrato de amonio 33%N 350.0g
- Super fosfato triple de calcio 45%P₂O₅, 20%CaO 180.0g

2. SOLUCIÓN CONCENTRADA B: Cantidad de fertilizantes para 2 litros:

- Sulfato de magnesio 16%MgO, 13%S 220.0g
- Quelato de hierro 6% Fe 17.0g
- **Solución de micronutrientes:** 400ml

Preparación de 1 litro de solución de micronutrientes:

Disolver uno a uno los fertilizantes en agua destilada o hervida y llevar a un volumen final de 1 litro

- Sulfato de manganeso 18%Mn (MnSO₄.4H₂O) 5.0g
- Ácido bórico 25%B (H₃BO₃) 3.0g
- Sulfato de zinc 23%Zn (ZnSO₄.7H₂O) 1.7g
- Sulfato de cobre 25%Cu (CuSO₄.5H₂O) 1.0g
- Molibdato de amonio 54%Mo (NH₄)₆MoO₂₄.4H₂O 0.2g

Fuente: Rodríguez. A. (2017) Curso Práctico de Hidroponía - Centro de Investigación De Hidroponía y Nutrición Mineral de La UNALM

ANEXO 5

COSTOS DE PRODUCCION PARA CULTIVAR LECHUGA HIDROPONICA POR EL SISTEMA DE RAIZ FLOTANTE EN UN AREA DE 100 m2:

30 plantas /m2 (3000 plantas); rendimiento 600kg

COSTO FIJO:

• 100 Contenedores completos (1m x1m)	S/5000.00
• Etapa de almácigo	S/ 50.00
• Etapa de Primer trasplante	S/ 150.00
• Conductimetro y pHmetro, marca HANNA	S/ 920.00
Sub total	S/ 6120.00

COSTO VARIABLE: (por mes)

• Semilla (3g)	S/ 28.50
• Solución nutritiva A y B para 4.8 m3	S/ 230.40
• Agua de pozo (8m3)	S/ 120.00
• Control fitosanitario (adherente, trampas,...)	S/ 45.00
• Insumos varios (vasos, esponja, ...)	S/ 120.00
• Mano de obra (un trabajador)	S/ 850.00
Sub total	S/ 1393.9

RESUMEN:

INVERSION INICIAL: S/6120.00

COSTO MENSUAL: S/1393.90

COSTO UNITARIO DE UNA LECHUGA: S/ 0.46

FUENTE: CENTRO DE INVESTIGACION DE HIDROPONIA Y NUTRICION MINERAL Y COTIZACION ACTUALIZADA DE INSUMOS POR CUENTA PROPIA.

**ANEXO 6: COSTOS DE PRODUCCION PARA CULTIVAR LECHUGA
HIDROPONICA POR EL SISTEMA RECIRCULANTE -NFT EN 100 m2**

(7 módulos de 9mx1.63m – NFT Piramidal)

30 plantas /m2 (3000 plantas); rendimiento 600kg

COSTO FIJO:

• 7 módulos NFT con una bomba y un tanque	S/6000.00
• Etapa de almácigo	S/ 50.00
• Etapa de Primer trasplante	S/ 150.00
• Conductimetro y pHmetro, marca HANNA	S/ 920.00
• Mochila de 20 litros	S/ 250.00
Sub total	S/ 7370.00

COSTO VARIABLE: (por mes)

• Semilla (3g)	S/ 28.50
• Solución nutritiva A y B para 4.0 m3	S/ 192.00
• Agua de pozo (7m3)	S/ 105.00
• Energía eléctrica	S/ 40.00
• Control fitosanitario (adherente, trampas,...)	S/ 45.00
• Mano de obra (un trabajador)	S/ 850.00
Sub total	S/ 1260.50

RESUMEN:

INVERSION INICIAL: S/73700.00

COSTO MENSUAL: S/1260.50

COSTO UNITARIO DE UNA LECHUGA: S/ 0.42

FUENTE: CENTRO DE INVESTIGACION DE HIDROPONIA Y NUTRICION
MINERAL Y COTIZACION ACTUALIZADA DE INSUMOS POR CUENTA PROPIA.

ANEXO 7: FICHA DEL CULTIVO DE LECHUGA:

DATOS GENERALES:

Rango de temperatura óptimo de germinación:	4,5- 27°C
Tiempo aproximado de germinación:	2- 16 días
Nº aproximado de semillas/gramo:	800 – 1200

ALMACIGO

Profundidad de siembra:	0.5 cm
Distancia entre líneas:	5 cm
Germinación:	4 – 5 días
Longevidad de la semilla:	3 años

SISTEMA HIDROPONICO:

Días después de siembra para el 1er trasplante:	15 a 18 días
Nº plantas/m2 en sistema "NFT":	25 - 30 (plano o piramidal)
Nº plantas/m2 en sistema "SRF":	30
Tiempo aproximado de 2do trasplante a cosecha:	25 - 30 días

SISTEMA SOLUCION NUTRITIVA

Conductividad eléctrica:	1.8 – 2.2
pH:	6.0 – 6.5
Consumo de solución aproximado por planta:	1,6 litros/planta por campaña promedio.

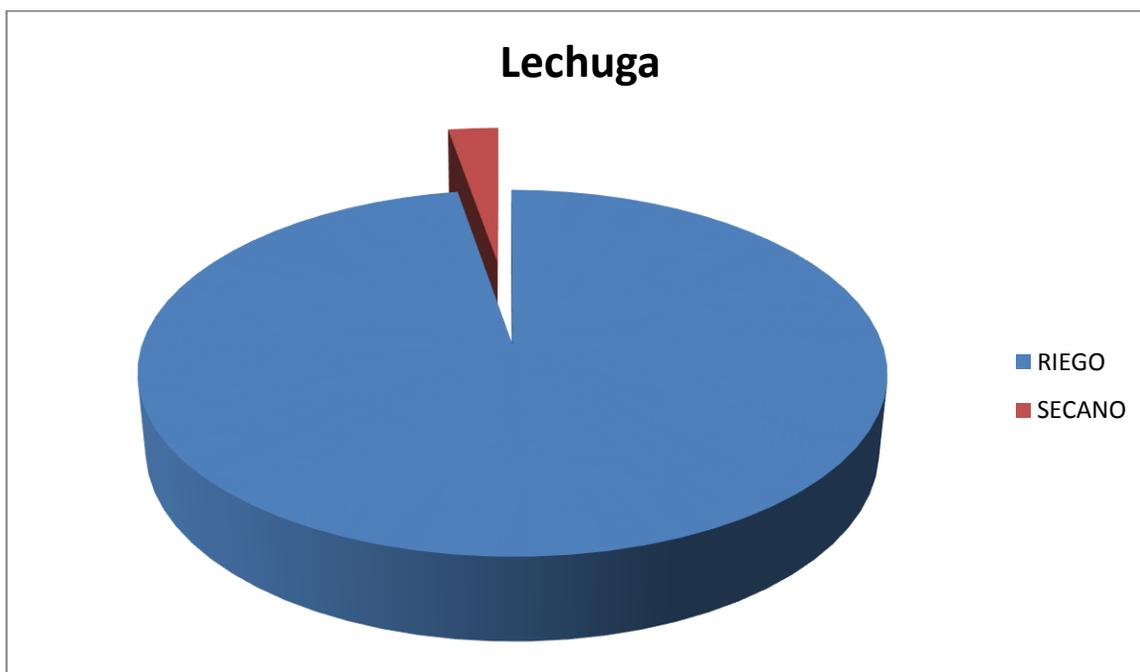
Fuente: Rodríguez, A. y Chang, M. (2017). Curso Práctico de Hidroponía - Centro de Investigación De Hidroponía y Nutrición Mineral (CIHNM) de La UNALM.

ANEXO 8

SUPERFICIE TOTAL DE LECHUGA SEMBRADA EN EL PERU EN EL AÑO

2012: 1 747.61 hectáreas

Bajo Riego: 1700.69 has (97%) Por Secano: 46.92 has (3%)



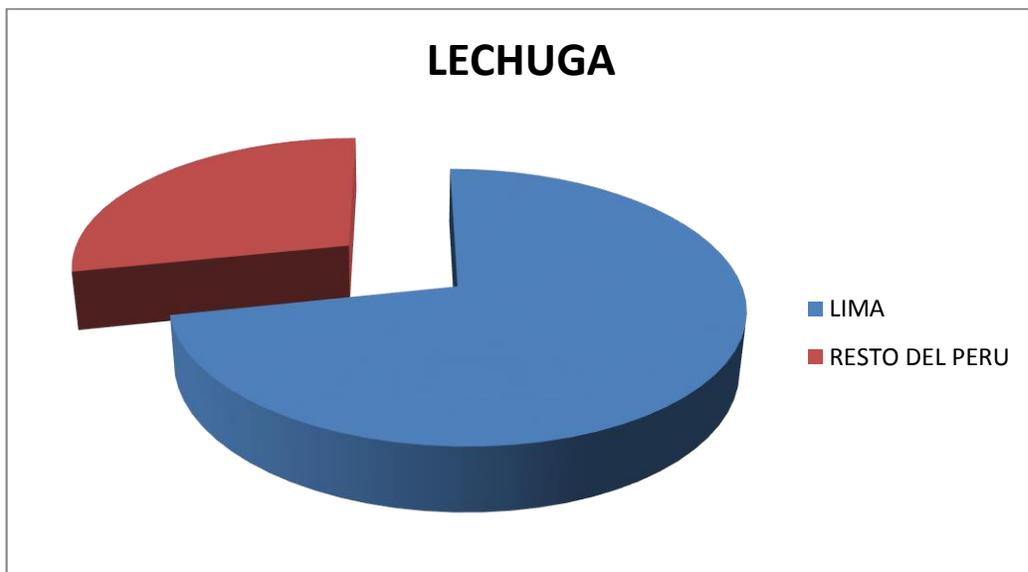
FUENTE: IV CENAGRO 2012. INEI

ANEXO 9

PORCENTAJE DE LA SUPERFICIE TOTAL DE LECHUGA SEMBRADA EN EL PERU EN EL AÑO 2016- LIMA Vs RESTO DEL PERU:

LIMA: 71.7%

RESTO DEL PERU: 28.3%



FUENTE: OFICINA DE INFORMACIÓN AGRARIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO. 2017

ANEXO 10

AREAS DEDICADAS A LA PRODUCCION HIDROPONICA DE LECHUGA EN EL PERU. 2017, EN LOS DOS SISTEMAS:

- **RAIZ FLOTANTE (5has):**

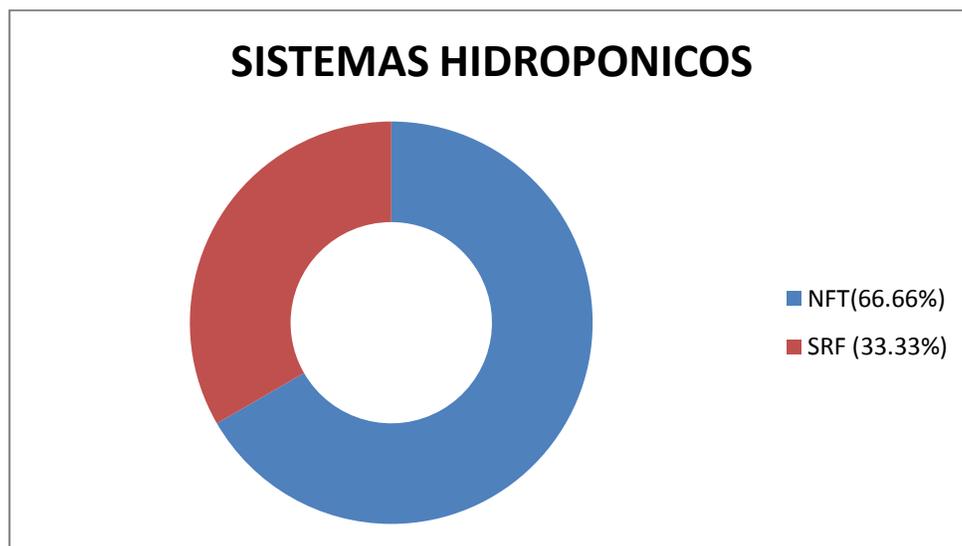
Autoconsumo, personas naturales capacitadas en hidroponía desde 1992 hasta 2017: 7500 Personas (1ha),

Programas sociales, Municipalidades: Lince, San Miguel, Ventanilla, San Juan de Lurigancho, Puente Piedra, Vitarte, Villa María del Triunfo y Villa el Salvador (2ha).

Organizaciones religiosas (1.5ha)

Colegios: 100 colegios a nivel nacional (2000 m2)

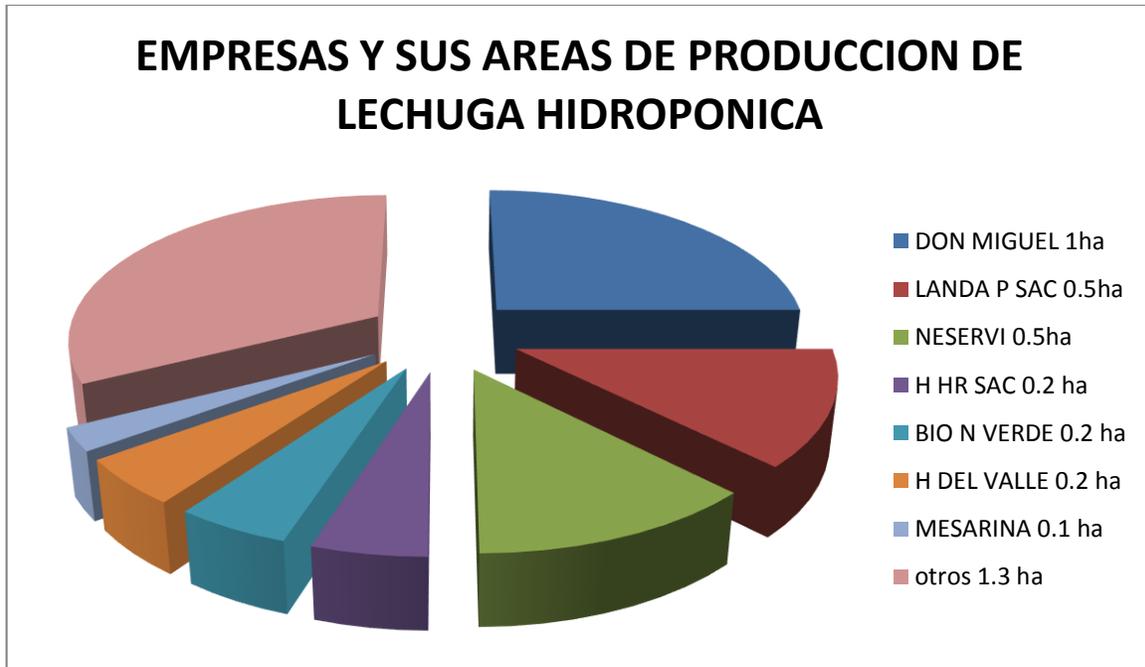
- **RECIRCULANTE- NFT (10has):** Orientados a la comercialización, ubicados principalmente en Lima(4ha), y siguen en orden de importancia en área: Arequipa (2 ha), La Libertad (1 ha), Lambayeque (1ha), Junín (0.1ha), Ayacucho (0.1 ha), Piura (0.1ha), Tacna (0.1ha), Ucayali (0.1 ha), Apurímac (0.05) e Ica (0.05), Huánuco (0.01ha), Puno (0.01 ha), y otros.



FUENTE: ENTREVISTA AL DIRECTOR DEL CENTRO DE INVESTIGACION DE HIDROPONIA Y NUTRICION MINERAL BIÓLOGO PHD. ALFREDO RODRÍGUEZ DELFÍN. 2017

ANEXO 11

PRINCIPALES PRODUCTORES HIDROPONICOS DE LECHUGA DE LIMA A TRAVES DEL SISTEMA RECIRCULANTE (NFT)



Las tres Empresas más conocidas son:

- Don Miguel: INVERNADEROS HIDROPONICOS DEL PERU SAC: Ubicado en Lurín, abastece Wong, Metro y Supermercados Peruanos.
- LANDA PRODUCE SAC. Ubicado en Mala, produce 1500 lechugas por día y en verano su oferta se duplica.
- HIDROPONICOS HR SAC: Ubicada en Chilca, se dedican a la producción de lechuga del tipo cressa, con una producción diaria de 1500 lechugas.

FUENTE: ENTREVISTA AL DIRECTOR DEL CENTRO DE INVESTIGACION DE HIDROPONIA Y NUTRICION MINERAL BIÓLOGO PHD. ALFREDO RODRÍGUEZ DELFÍN. 2017

ANEXO 12:

ANTAGONISMOS A TENER EN CUENTA CUANDO SE APLICA SILICIO POR MEDIO DEL FERTILIZANTE SILICATO DE POTASIO

Cationes que compiten entre si para entrar a la planta

Catión	Catión
K^+	Ca^{+2}
Ca^{+2}	Mg^{+2}
NH_4^+	K^+
NH_4^+	Ca^{+2}
NH_4^+	Mg^{+2}
K^+	Mg^{+2}

Fuente: SEMINARIO DE ESPECIALIZACION EN PROCESOS AGRICOLAS (SEPA) "FERTIRRIEGO" (2010). Colegio de Ingenieros del Perú e Inform@cción.