

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO



**Uso de un Acidificante-Buferizante en una Solución Nutritiva para la
Producción de Lechuga en Hidroponía**

Por:

ROLANDO VELÁZQUEZ RODRÍGUEZ

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título profesional de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Noviembre de 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO

**Uso de un Acidificante-Bufferizante en una Solución Nutritiva para la
Producción de Lechuga en Hidroponía**

Por:

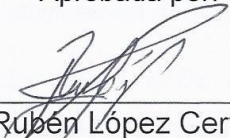
ROLANDO VELÁZQUEZ RODRÍGUEZ

TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

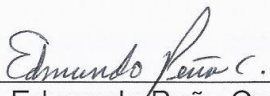
Aprobada por:



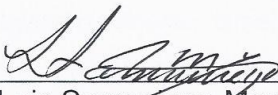
Dr. Rubén López Cervantes
Asesor Principal



Dr. Emilio Rascón Alvarado
Coasesor




Dr. Edmundo Peña Cervantes
Coasesor Agraria



Dr. Luis Samaniego Moreno
Coordinador de la División de Ingeniería

Universidad Agraria
"ANTONIO NARRO"


Coordinación de
Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México. Noviembre de 2015

AGRADECIMIENTOS

A DIOS.

Señor, te doy las gracias por permitirme lograr un paso más en mi vida, por cuidarme, protegerme y darme la mano en los momentos más difíciles, ya que todo lo que soy te lo debo a ti, mi señor. Te pido que me guíes por el camino de mi vida para lograr un buen desarrollo profesional.

A MI ALMA TERRA MATER.

Por haberme permitido ser parte de esta institución tan maravillosa, por todas las cosas que me brindó durante mi formación al reforzar mis valores, acrecentar mis conocimientos y experiencias.

*Con admiración y respeto al **Dr. Edmundo Peña Cervantes**, por su apoyo brindado durante el desarrollo de este trabajo, por el aporte de conocimientos, consejos y experiencias, en la culminación de la presente tesis.*

*Al **Dr. Rubén López Cervantes**, al **Dr. Emilio Rascón Alvarado** y **Dr. Ricardo Requejo López**, por todo el apoyo recibido, paciencia, tiempo y asesoramiento en la realización del presente documento.*

A los profesores, que a lo largo de mi estancia en la institución me brindaron su apoyo y contribuyeron en mi formación como profesionalista.

A mis paisanos y amigos de la carrera de Ing. Agrícola y Ambiental, en particular: Gustavo, Eliseo, Alejandro, Vicente, Israel, Catalina, Areli, Dulce María, Luis, Sergio, Claudia, Marcelo, Ramón, Hugo, Gregorio, por su amistad y los momentos que pasamos juntos.

DEDICATORIAS

A mis padres.

Ma. Feliz Rodríguez Avelino

A tí que me diste la vida y me trajiste a este mundo, te doy las gracias. Por tus regaños, consejos, confianza y valores que me inculcaste, que me ayudaron a salir adelante en los momentos más difíciles de mi vida. Me guiaste hasta aquí y todo lo que soy te lo debo a ti. Gracias mamá por cuidarme y estar siempre conmigo.

J. Feliz Velázquez García (+)

Sé que siempre estás conmigo en todos los momentos de vida. Te doy las gracias por todas las enseñanzas que me diste ya que sin ti no lo lograría, porque me inculcaste que fuera alguien en la vida. A cada momento has sido una inspiración y una fortaleza para seguir adelante.

A mis hermanos Mariela y Marco Antonio. *Gracias por creer en mí, por la confianza, consejos, apoyo y regaños que fueron de vital importancia para lograr con éxito mis estudios.*

A mis tíos(as) y primos(as): *por el apoyo incondicional que me brindaron a lo largo de mi carrera.*

A mi novia Diana Rosales Barranco *por brindarme su cariño y comprensión en los momentos más difíciles, gracias por todos esos lapsos maravillosos que compartimos juntos en esta institución.*

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIAS.....	II
ÍNDICE DE CUADROS.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
RESUMEN.....	VI
I. INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO	4
HIPÓTESIS	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. Cultivo de Lechuga.....	5
2.2. Hidroponía	6
2.3. New Growing System (NGS®)	7
2.4. Solución Nutritiva (SN).....	8
2.5. Acidificante- Buferizante Agrícola	12
2.6. pHase1®	13
2.7. Análisis de plantas.....	14
2.8. Desviación del Óptimo Porcentual (DOP).....	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1. Ubicación del Área de Estudio.....	17
3.2. Metodología	18
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
4.1. Monitoreo del pH y la CE	24
4.2. Índices por el Método Desviación del Optimo Porcentual (DOP)	29
V. CONCLUSIONES.....	32
VI. RECOMENDACIONES.	33
VII. BIBLIOGRAFÍA	34

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición química del producto pHase1®.....	13
Cuadro 2. Ajustes de pH realizados a la solución nutritiva (SN).	19
Cuadro 3. Descripción de los tratamientos aplicados.....	19
Cuadro 4. Resultados de análisis de agua de la UAAAN, para la elaboración de la SN.	20
Cuadro 5. Solución nutritiva para lechuga, según Cadahia (2005).	20
Cuadro 6. Composición del agua de riego, disolución ideal y aportes previstos para preparar la solución nutritiva.	20
Cuadro 7. Solución nutritiva modificada.	21
Cuadro 8. Cantidades de fertilizantes empleados para la agregación de los macronutrientes en la elaboración de la solución nutritiva.	21
Cuadro 9. Valores de los micronutrientes empleados en la SN según Cadahia, (2005).....	21
Cuadro 10. Valores modificados de la SN en micronutrientes.	21
Cuadro 11. Fuentes de micronutrientes para preparar la SN.	22
Cuadro 12. Valores utilizados como referencia óptimos en las concentraciones elementales del cultivo de lechuga.....	23
Cuadro 13. Monitoreo de pH y CE registrados en el experimento.	25
Cuadro 14. Cuadrados medios y significancias de las variables evaluadas en el cultivo de lechuga, con la adición de un acidificante-buferizante, establecido en un sistema NGS®.	25
Cuadro 15. Valores medios para cada variable evaluada en lechuga, con dos SN, en un sistema hidropónico.....	26
Cuadro 16. Comparación de medias con la prueba de Tukey al ($p < 0.05$) para cada variable medida a la lechuga hidropónica.....	26
Cuadro 17. Índices de desbalance nutricional (IDN) y orden de requerimiento nutricional correspondientes a cada tratamiento y variedad de lechuga, producida en hidroponía.	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Disponibilidad de nutrimentos en función de pH en la solución nutritiva (Sánchez, 2010).	11
Figura 2. Relación general entre el crecimiento y/o rendimiento del contenido de nutrimentos en tejido vegetal. Jones (1998).	15
Figura 3. Localización del área experimental.	17
Figura 4. Realización del trasplante en el sistema NGS®.	18

RESUMEN

Con el objetivo de determinar el uso de un acidificante – buferizante en una solución nutritiva, para la producción de lechuga en hidroponía, se produjeron plántulas de cuatro variedades denominadas “Parrish Island”, “Butterhead”, “Black Seed” y “Great Lakes” en charolas de poliestireno de 200 cavidades y se empleó como sustrato “peat moss” con “vermiculita”. Cinco semanas después, se trasplantó la plántula bajo el sistema de hidroponía denominado New Growing System (NGS®); como tratamiento, un acidificante-buferizante agrícola comercial para ajustar el pH de una solución nutritiva (SN) y otra sin ajustar el pH. Las variables medidas fueron: a la SN el pH y la conductividad eléctrica (CE); a la planta: altura (AP), longitud de raíz (LR), diámetro de tallo (DT), número de hojas (NH), peso fresco (PFA) y seco (PSA) aéreo, peso fresco (PFR) y seco (PSR) de raíz. Al tejido vegetal de follaje: la concentración de fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn) y manganeso (Mn). Mediante el Método de la Desviación Óptima Porcentual (DOP), se realizó un análisis nutrimental. Se encontró que hay variación de pH y CE de la SN, con la adición del producto. Al agregar la SN sin el producto, se presentó el superior efecto en las variables medidas a la planta, con excepción del PSR y en el análisis DOP, los macronutrientes, fueron los más deficientes y el Fe, el más suficiente. Se concluye que el acidificante – buferizante adicionado a la solución nutritiva, no realizó efecto en el pH y la conductividad eléctrica de ella; mientras que, en las variables medidas a la planta si lo efectuó, con excepción de la longitud de la raíz y en el tejido vegetal de follaje, el único nutriente que no fue deficiente fue el hierro.

Palabras clave: *Índices Cadahia, New Growing System*

Correo Electrónico; Rolando Velázquez Rodríguez, rolandovr29@gmail.com

I. INTRODUCCIÓN

La lechuga (*Lactuca sativa* L.), ha sido pieza fundamental del arte culinario, por su utilización en todo tipo de comida, aunado a la gran demanda que tiene en la época actual por sus características de alto valor nutritivo y equilibrio orgánico. La lechuga se encuentra en cualquier época del año y como el resto de las hortalizas, es un buen abastecedor de vitaminas, minerales y sales indispensables para el organismo. La conciencia que existe por mantener la salud a través del mayor consumo de vegetales y frutas, ha provocado un mayor consumo de éstas, como es el caso de la lechuga (www.infoaserca.gob.mx, 2015).

De acuerdo con la FAOSTAT, (2015) a nivel mundial la lechuga, es principalmente producida en China con 13, 504,800 toneladas, seguido por Estados Unidos con 3, 586,106 de toneladas y la India con 1, 080,000 toneladas en el 2013. México en ese mismo año, obtuvo un volumen de producción de 381,127 toneladas. El Estado de Guanajuato, en el 2014, ocupó el primer lugar en la producción de lechuga con una superficie de 3,400 has con producción de 58,232 toneladas, seguido por Aguascalientes con 821 has, y 28,183 toneladas y Puebla con una producción de 16,997 toneladas en 900 has (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera-SIAP y Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-SAGARPA, 2015).

El uso de los fertilizantes empleados para la nutrición de las plantas son necesarios y gracias en parte a ellos se obtienen grandes beneficios para la producción alimenticia y la obtención de energías renovables. Es necesario aportar nutrientes a los cultivos en forma fácilmente asimilable y de manera equilibrada, lo que se consigue con los fertilizantes minerales propiamente dichos ya que se aportan las cantidades necesarias de nutrientes asimilables en los momentos adecuados (Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes-ANFFE, 2015).

Ante el aumento de la demanda de alimentos y al no tener suelos en buenas condiciones para la producción, es necesario emplear nuevos sistemas de cultivo como lo es la hidroponía, la que es una alternativa de producción que permite combinarla con productos orgánicos y sales minerales. Es notoria la creciente demanda por los cultivos, producidos en sistemas hidropónicos alrededor del mundo, pues son productos frescos, libres de tóxicos, de alto valor nutricional y de excelente calidad, lo cual será siempre llamativo para cualquier mercado con tales demandas.

Las razones del crecimiento de estos sistemas son por su interactividad en varios factores; que van desde un control del sistema y mayores rendimientos en espacios reducidos. Es importante resaltar que en algunas partes del mundo, se requiere una mayor eficiencia en el manejo del agua de riego (fertirriego), para la obtención de productos comerciales. La superficie de las plantas cultivadas en hidroponía, consecuentemente seguirá incrementándose. Este tipo de sistemas permiten una mayor eficiencia en la disponibilidad de los nutrimentos y de agroquímicos. (Blok y Urrestarazu, 2010).

El sistema denominado New Growing System (NGS®) fiel a su lema de “Innovación Permanente”, está incorporando constantemente al sistema nuevas tecnologías, lo que ha permitido adaptarlo a las necesidades del mercado, a las exigencias de los productores, a nuevos cultivos hidropónicos y finalmente, a los nuevos sistemas de producción integrada. Al permitir cultivar con recirculación del cien por ciento de los drenajes, por lo tanto puede ser calificado como un sistema de bajo impacto ambiental. Con el compromiso de desarrollo de actividades acordes con la protección del medio ambiente y la salud de las personas. Ofrece una gran cantidad de ventajas que se resumen en precocidad, calidad, rendimiento y respeto al medio ambiente. (Urrestarazu, 2004).

Por lo comentado, en el presente trabajo, se adiciono un compuesto acidificante-buferizante a una solución nutritiva, con la finalidad de aumentar la calidad de la lechuga producida en hidroponía.

OBJETIVO

Determinar el uso de un acidificante-buferizante en una solución nutritiva, para la producción de lechuga en hidroponía.

HIPÓTESIS

El acidificante-buferizante, adicionado a la solución nutritiva, aumenta la producción de lechuga en hidroponía.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Cultivo de Lechuga

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una de las hortalizas más importante y su popularidad ha aumentado en forma progresiva en el mundo, por tratarse de un producto de consumo natural, de sabor agradable y de bajo contenido calórico. El producto comercial de la lechuga son las hojas inmaduras o maduras que se consumen, en forma de ensalada, bien como hojas enteras (variedades tipo mantequillas, de hojas lisas o picadas) y variedades que forman cabeza tipo Great Lakes, Vallejo y Estrada (2004). Estos mismos autores citan que la lechuga es originaria de la costa sur del mediterráneo, habiendo sido domesticada, probablemente en Egipto. La domesticación fue hecha en la fase vegetativa y no en la reproductiva, utilizando muestras grandes lo cual explica la gran variación existente. Presenta dormancia debido posiblemente a la domesticación en fase vegetativa. Existen pinturas de lechuga en las tumbas egipcias con una antigüedad de 4,500 años A.C.

Aunque algunos autores afirman que procede de la India, hoy día los botánicos no se ponen de acuerdo, por existir un seguro antecesor de la lechuga, *Lactuca scariola* L., que se encuentra en estado silvestre en la mayor parte de las zonas templadas creciendo en prados, pendientes rocosas y terrenos baldíos desde Asia y norte de África hasta el norte de Europa (Mallar, 1978; www.alojamientos.uva.es, 2014).

De acuerdo con Vallejo y Estrada (2004), la lechuga es una hortaliza típica de clima suave (15-20°C) debido a su origen. En las condiciones de clima tropical se desarrolla mejor durante las épocas del año en que las temperaturas son moderadas. La temperatura media óptima para su desarrollo de la parte aérea de la planta está entre 15 y 18 °C, con máximas de 21-24°C y mínima de 7°C.

El excesivo calor puede producir la subida a flor prematura y un marcado sabor amargo en las hojas. En términos generales la lechuga es sensible a la helada, algunas variedades de invierno pueden resistir varios grados bajo cero (Maroto y Baixauli, 2000).

La lechuga es una planta anual que bajo condiciones de fotoperiodo largo (más de 12 horas luz) acompañado de altas temperaturas (más de 26°C) emite su tallo floral, siendo más sensibles las lechugas de tipo orejona que las de cabeza. (Barreto, 2014).

2.2. Hidroponía

Hoy en día la hidroponía alrededor del mundo llama la atención por razones como, el agotamiento de los suelos por alta carga de patógenos tras cultivos repetidos o la acumulación de iones que conllevan alcalinidad y/o elevación del sodio. Esto ha empujado a muchos productores a realizar cultivos hidropónicos o sin suelo. La escasez de agua resulta dramática en regiones áridas y semiáridas, de ahí que resulte una exigencia ineludible el lograr una eficiencia del agua en el riego de los cultivos, la palabra proviene del griego hydro (agua) y ponos (labor o trabajo); esto significa trabajo en agua. El término significa cultivar plantas sin suelo, al suministrar con el agua la cantidad mínima de alimento necesario para desarrollar cultivos sanos y altamente productivos en menores espacios (Alpizar, 2004).

Los sistemas hidropónicos se pueden clasificar en dos tipos: estáticos y de flujo continuo, los estáticos son en los cuales las raíces de las plantas se mantienen sumergidas en la solución nutritiva y solo se añade aire para oxigenarlas, en cambio los de flujo continuo se dividen en dos grupos: abiertos y cerrados donde los de tipo abiertos la solución nutritiva se mantiene en movimiento continuo y no se recupera. La solución se cambia frecuentemente y se añade fresca en cada intervalo de aplicación, los de tipo cerrados la solución se utiliza continuamente por lo que hay que vigilar la variación de la concentración de los nutrientes debido a la absorción y a la transpiración (Bosques, 2003).

2.3. New Growing System (NGS®)

Representa una nueva forma de cultivo hidropónico cerrado, desarrollado completamente en España (Almería) por NEW GROWING SYSTEM, S.L. NGS® es la solución ideal para muchos productores y empresarios agrícolas con problemas de suelo y agua. El sistema NGS® puede ser establecido, incluso, en terrenos inicialmente calificados como no aptos para la agricultura y/o con poco o nulo suministro de agua de riego (www.cultivohidroponico.com, 2014).

El sistema NGS® se basa en la circulación de una solución nutritiva, por el interior de un conjunto de bolsas de polietileno colocadas una dentro de otra. La disposición de las bolsas se hace de tal forma que, la solución nutritiva, después de recorrer la línea de cultivo, descarga por medio de un embudo en una tubería de drenaje que permite la recirculación del agua y de los nutrientes sobrantes. Se trata de un sistema de cultivo hidropónico suspendido, que trabaja en circuito cerrado, aprovecha los drenajes y optimiza el agua y los fertilizantes aportados al cultivo con la solución nutritiva, es una inversión duradera, pues el tiempo de vida del sistema es superior a los 5 años y puede llegar hasta los 8 años con los cuidados necesarios. Por su naturaleza NGS® le ayudará a disminuir sus costos de producción en aproximadamente un 30% gracias a la recirculación y aprovechamiento de nutrientes. Con NGS® se consiguen plantaciones más precoces y más productivas, ampliando así los periodos de cultivo a lo largo del año y la rentabilidad de su instalación (www.cultivohidroponico.com, 2014).

Algunas de las principales características de NGS® son: se basa en la recirculación de la SN por el interior de las distintas capas de multibanda plástica, el número de capas irá en función del tipo de cultivo, y el tamaño del sistema radicular, los agujeros que presentan las distintas capas están realizados de manera no coincidente, para favorecer el crecimiento radicular, el espacio que existe entre las capas favorece la oxigenación de la solución nutritiva, y el color de la multibanda será blanco hacia el exterior, para reflejar la radiación, y negro hacia

el interior para evitar el crecimiento de algas y bacterias. Las ventajas del sistema NGS® nos permiten alcanzar altas producciones de excelente calidad, prescindiendo del suelo y de cualquier sustrato, permite reutilizar el cien por ciento de los drenajes; de ahí que el sistema NGS® sea considerado de bajo impacto ambiental, ha sido desarrollado para trabajar en circuito cerrado, mejorando las condiciones de asepsia, alcanza producciones aceptables, incluso utilizando aguas de riego de mala calidad. El movimiento continuo de la solución nutritiva reduce los riesgos de salinidad que aparecen cuando se utilizan otros sistemas, es una forma mucho más sostenible con el medio ambiente, permitiendo también obtener producciones más precoces (www.hidroponiamonterrey.com.mx, 2014).

2.4. Solución Nutritiva (SN)

Uno de los avances más importantes que se ha dado en la agricultura es el paso de los sistemas de riego por gravedad a los sistemas de riego por goteo o de alta precisión con empleo de soluciones nutritivas (www.intagri.com.mx, 2014). Una solución nutritiva es aquella que contiene los elementos esenciales para la nutrición de las plantas, a una concentración ideal y relaciones óptimas entre los elementos, de tal manera que favorecen la absorción nutrimental por el cultivo. El empleo de las soluciones nutritivas permite hacer un manejo eficiente de los insumos, además de disminuir la contaminación del suelo y mantos freáticos. Con este método es posible proporcionarle a las plantas las cantidades necesarias de nutrimentos de acuerdo a su fenología y sus características genotípicas.

El aspecto importante a considerar es el ahorro de agua ya que en sistemas de producción donde se emplea la solución nutritiva, cerca del 70% del agua empleada se aprovecha en la absorción de plantas mientras que en sistemas convencionales el aprovechamiento es aproximadamente de 10 a 20%, esto tomará mayor importancia conforme la escasez del agua aumente y se elaboran legislaciones más estrictas para regular su uso. Las primeras soluciones nutritivas surgieron hacia 1860 y continuaron su desarrollo hasta mediados del siglo pasado,

figurando entre las clásicas la de Knop en 1860, Crone en 1900, Arnon en 1902 y Hoagland en 1950. En 1961 Steiner en Holanda, propuso el concepto de la solución nutritiva universal. Esta solución nutritiva clasifica a los nutrientes según su carga eléctrica (www.intagri.com.mx, 2014).

Una solución nutritiva (SN) consta de agua con oxígeno y de todos los nutrientes esenciales en forma iónica y, eventualmente, de algunos compuestos orgánicos tales como los quelatos de hierro y de algún otro micronutriente que puede estar presente. Una SN verdadera es aquella que contiene las especies químicas indicadas en la solución, por lo que deben coincidir con las que se determinen mediante el análisis químico correspondiente (Steiner, 1961 citado por Favela *et al.*, 2006).

Cada especie vegetal que se cultiva en hidroponía requiere de una SN con características específicas. Las principales características que influyen en el desarrollo de los cultivos y sus productos de importancia económica son: la relación mutua entre los aniones, la relación mutua entre los cationes, la concentración de nutrientes (representada por la CE), el pH, la relación NO_3^- : NH_4^+ y la temperatura de la SN. El concepto de relación mutua entre iones se basa en que la SN debe estar balanceada en sus macronutrientes: NO_3^- , H_2PO_4^- y SO_4^{2-} , para el caso de los aniones y para los cationes en la SN en forma de cationes son K^+ , Ca^{++} y Mg^{++} . El balance consiste no sólo en la cantidad absoluta de cada uno de ellos, sino, además, en la relación cuantitativa que se establece entre los cationes por una parte y los aniones por la otra (Lara, 2000).

El sistema cerrado o recirculación de solución nutritiva implica que la solución que drena del sistema se vuelve a incorporar total o parcialmente, como suministro a la fertirrigación del mismo cultivo (Urrestarazu, 2004 citado por Gutiérrez, 2011).

La temperatura de la SN influye en la absorción de agua y nutrimentos. La temperatura óptima para la mayoría de las plantas es de aproximadamente 22 °C; en la medida que la temperatura disminuye, la absorción y asimilación de los nutrimentos también lo hacen (Cornillón, 1988 citado por Favela *et al.*, 2006).

La recirculación de la solución nutritiva implica renovar la pérdida de agua ajustando la solución nutritiva desde el punto de vista de composición nutrimental, pH y conductividad eléctrica. Al implementar este sistema se hace recurrente el análisis químico del agua de drenaje, cambios en los patrones de consumo de agua y nutrimentos de las plantas, además de monitoreo de enfermedades causadas por hongos y bacterias presentes en el drenaje (García, 2007 citado por Gutiérrez, 2011).

La conductividad eléctrica es un parámetro que mide la cantidad de sales nutrimentales 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 (Rodríguez *et al.*, 2002 citado por Vázquez, 2014).

El efecto del pH indica la concentración 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 nutrimentos. 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). Sánchez (2010) propone una tabla con respecto a la disponibilidad de nutrientes en función del pH en la solución nutritiva (Figura.1).

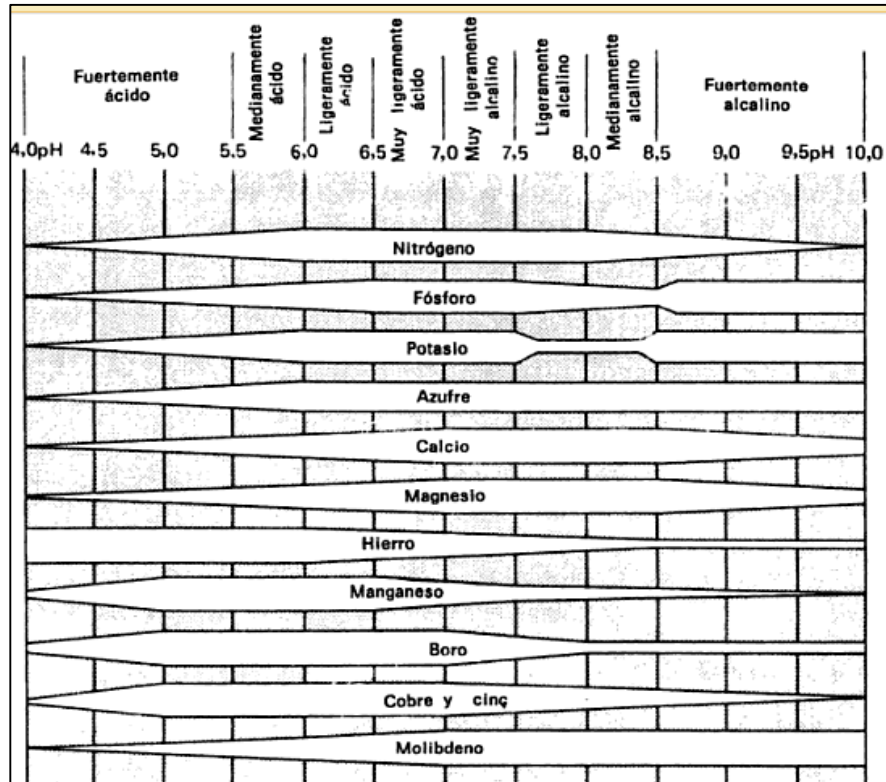


Figura 1. Disponibilidad de nutrimentos en función de pH en la solución nutritiva (Sánchez, 2010).

La absorción de nutrimentos 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 meristemos radiculares y baja la absorción de los nutrimentos, debido a esto la planta crece con mayor lentitud (Faquin *et al.*, 1996 citados por Vázquez, 2014).

La cantidad de oxígeno necesaria para la adecuada absorción de nutrimentos es como mínimo de 4 ppm, la ausencia de este hará que el proceso de absorción se interrumpa y marchite o incluso mate a la planta (Morgan, 1999).

2.5. Acidificante- Buferizante Agrícola

Hay diferentes productos en el mercado para regular el pH de la solución a su nivel óptimo, la mayoría de estos productos son agentes coadyuvantes, que gracias a su acción acidificante y buffer logran mantener un rango deseado de pH. Estos productos impiden la hidrólisis alcalina y actúan como secuestrante de cationes que eliminan la interferencia negativa de las sales. Sin embargo, las casas comerciales que los venden no brindan la suficiente información que garantice su uso (<http://bdigital.zamorano.edu>, 2015).

Para corregir el pH del agua se pueden usar acidificantes, los cuales contienen una base ácida que permite reducir el pH del agua. Algunas sustancias acidificantes no indican la dosis requerida para obtener el pH deseado y otras indican el pH que se obtiene, cuando al ser agregadas al agua ésta tiende a adquirir cierta coloración; sin embargo, esta coloración puede ser variable dependiendo de la apreciación del observador. Cuando se necesita reducir el pH del agua, el grado de alcalinidad (conductividad eléctrica) del agua original es el factor clave para determinar la dosis de un acidificante. A medida que la alcalinidad del agua es mayor se requiere más acidificante para reducirle el pH (<http://biblioteca.inifap.gob.mx>, 2015).

Los buferizantes o acidificantes son productos que se añaden para estabilizar el pH de la solución y bajar los valores de pH de la misma, sin embargo, dado que el pH del agua es controlado por la concentración de HCO_3^- y CO_3^{2-} , la regulación del pH es ideal hacerla para cada agua, al menos la primera vez que se utiliza para dicho fin (Castellanos y Santiago, 2014).

2.6. pHase1®

Es un acidificante-buferizante líquido de muy alta solubilidad y concentración, diseñada para regular el pH de las aguas utilizadas en las mezclas para las aspersiones foliares de agroquímicos de cultivos hortícolas, frutícolas, ornamentales, cereales y de granos. Cuyas principales características son: reduce y amortigua el pH de la solución, contiene un indicador que cambia de color de acuerdo al pH de la solución evita descomposición que sufren los agroquímicos por hidrolisis alcalina neutraliza los bicarbonatos de Ca y Mg disueltos en aguas duras y mejora la compactibilidad de concentrados emulsificables con fertilizantes foliares (www.arystalifesciencecayc.com, 2015). En el Cuadro 1 muestra la Composición del acidificante-buferizante pHase1®.

Cuadro 1. Composición química del producto pHase1®

Composición porcentual	% en peso
Ingredientes activos:	
Agentes acidificantes	40.8%
Equivalente a 510 g de i.a. /l	
Alcohol tridecil polioxietilenado	20.0%
Equivalente a 250 g de i.a. /l	
Dietilenglicol	6.00%
Equivalente a 75 g de i.a. /l	
Ingredientes inertes	33.20%
Total	100.00%

www.arystalifesciencecayc.com

2.7. Análisis de plantas

A veces erróneamente referida como análisis foliar, esta metodología es una técnica que determina el contenido de los nutrimentos en tejidos vegetales de plantas de un cultivo muestreado en un momento o etapa de desarrollo determinados (Campbell, 2000 citado por Correndo y García, 2012)

Normalmente, el término análisis de planta se refiere al análisis cuantitativo de laboratorio de los tejidos vegetales recolectados. Sin embargo, también existen metodologías denominadas semi-cuantitativas, para llevar a cabo a campo, que mediante diferentes pruebas determinan el contenido de nutrimentos solubles en savia, como el test de nitratos en jugo de base del tallo en maíz (Blackmer y Mallarino, 1996 citados por Correndo, 2012).

Estos análisis pueden dar una idea del contenido de nutrimentos pero no poseen la precisión característica de un análisis de planta. El análisis vegetal es una herramienta sumamente eficiente para evaluar la nutrición del cultivo ya que el contenido de nutrimentos en la planta es un valor que resulta de la interacción entre el cultivo, el ambiente y el manejo (Correndo y García, 2012).

Bates, (1971) citado por Correndo, (2012) señala que el diagnóstico foliar basado en el nivel crítico es uno de los criterios más difundidos de interpretación del análisis de plantas y requiere que la concentración de nutrimentos sea comparada con valores estándares para un determinado nutrimento, estado fenológico y órgano establecido.

Las utilidades de esta metodología pueden ser tales como: i) verificar síntomas de deficiencias nutrimentales; ii) identificar deficiencias asintomáticas (“hambre oculta”); iii) indicar interacciones entre nutrimentos; iv) localizar zonas del lote que se comportan en forma diferente; y v) evaluar el manejo nutricional de los cultivos. En el aspecto práctico de esta técnica, la misma comprende una

secuencia de procedimientos con igual importancia: muestreo, análisis químico e interpretación (Jones, 1998 citado por Correndo, 2012).

- a) **Muestreo.** Es importante considerar que el diagnóstico foliar exige un rigor de muestreo mayor que el del análisis de suelos, debido a que la especie, edad, tipo de tejido (planta entera, vainas, hojas completas, láminas, etc.), momento de muestreo, y el nutrimento en cuestión, son variables que afectan la interpretación de los resultados. Como regla general debemos tomar muestras correspondientes a tejidos similares y en el mismo estado fisiológico a los definidos por la referencia con la cual se compararan los resultados del análisis, es decir siguiendo las instrucciones correspondientes al método de interpretación que se utilizará.
- b) **Análisis químico.** El análisis químico de tejido vegetal tiene como objetivo determinar el contenido de nutrimentos, para comparar con lo de las plantas sin deficiencias nutrimentales y, conjuntamente con los resultados del análisis de suelo, recomendar mejores prescripciones de fertilización.
- c) **Interpretación.** Existen varias alternativas para la interpretación de los resultados de los análisis vegetales. De manera general, se establecen diferentes categorías de contenido de nutrimentos en tejido vegetal (Figura 2.)

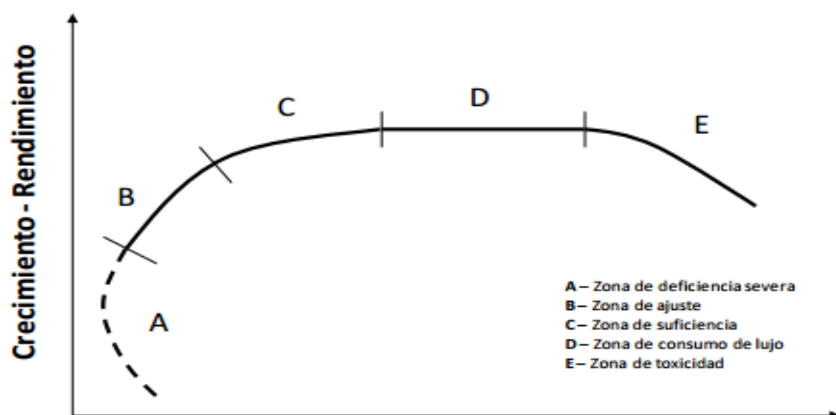


Figura 2. Relación general entre el crecimiento y/o rendimiento del contenido de nutrimentos en tejido vegetal. Jones (1998).

2.8. Desviación del Óptimo Porcentual (DOP)

El método de desviación del óptimo porcentual (DOP), también considerado como un método estadístico, usa la comparación de la concentración del nutrimento respecto de la norma, pero en una expresión porcentual. En otras palabras cuantifica la cantidad en que un nutrimento se desvía de esa norma individual. De esta manera permite una clasificación u ordenamiento de los nutrimentos en función de su efecto limitante. La sumatoria de los valores absolutos de los índices representa el balance nutritivo total de la planta y puede ser relacionado con la productividad. Este método es fácil de utilizar y sus resultados son muy similares a los obtenidos usando el DRIS (Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendado) (Cadahia, 2005).

El índice DOP es definido como la desviación porcentual de la concentración de un elemento (% sobre materia seca) con respecto a la concentración óptima considerada valor de referencia. El signo del DOP para un determinado elemento, será negativo en caso de déficit y positivo en caso de exceso. Cuando el contenido de la muestra coincida con el óptimo de referencia el DOP será igual a cero. El índice DOP se calcula aplicando la siguiente relación:

$$DOP = \frac{C \times 100}{C_{ref}} - 100$$

Donde,

C: Es concentración foliar (en porcentaje sobre materia seca) del elemento en la muestra analizada, C_{ref}: Es el óptimo del mismo elemento (porcentaje sobre materia seca) definido en las mismas condiciones en que fue tomada la muestra problema y, lógicamente, para el mismo cultivo. Calculando este DOP para cada uno de los nutrimentos minerales considerados o que se incluyeron en el estudio, dispondremos del “panorama” nutricional de la planta y podremos emitir, con suma rapidez, un diagnóstico que permitirá la adecuada toma de decisiones. Aquel valor de DOP más cercano a cero, es el que presenta un mejor balance nutricional (Montañés *et al.*, 1991).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del Área de Estudio

El presente trabajo inició el 22 de Febrero de 2014 a un área dedicada a la experimentación, adjunta al Departamento de Ciencias del Suelo del *Campus* principal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, cuya ubicación geográfica es: 25° 02" latitud norte y 101° 00" longitud oeste, con altura de 1743 m.s.n.m.; la temperatura media anual es de 19.8°C, con una máxima en los días cálidos de verano de 35°C y en días de invierno, rondan a los 5°C. (Figura 3).

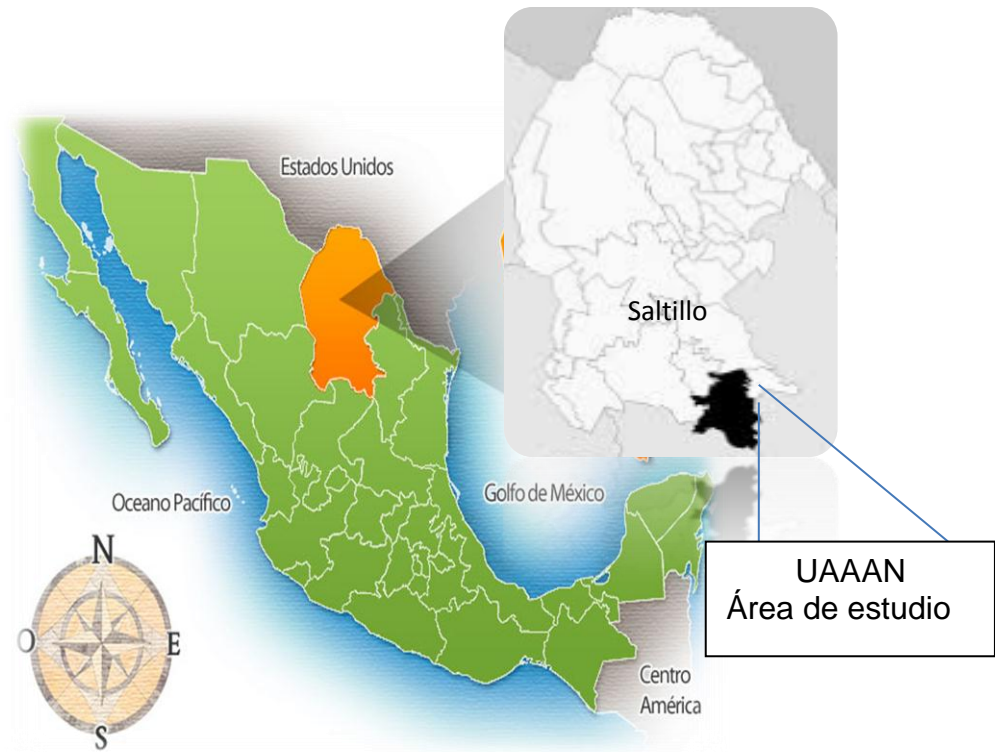


Figura 3. Localización del área experimental.

3.2. Metodología

Se produjeron plántulas de lechuga de las variedades Parrish Island, Butterhead, Black Seed y Great Lakes, las cuales fueron sembradas en charolas de poliestireno de 200 cavidades, que contenían el sustrato “peat moss” y una pequeña capa de vermiculita encima; las charolas se estibarón y se cubrieron con un plástico negro entre 5-6 días en el invernadero tipo túnel de 50m², localizado a un costado del Departamento de Ciencias del Suelo de la misma Universidad.

Cinco semanas después de la siembra en las charolas, se trasplantó bajo el sistema de hidroponía denominado New Growth Sistem (NGS[®]), el que consistió en ocho estructuras de metal a base de varilla y alambrcn de 5 m de largo y se ajustó a la pendiente de 1.5 por ciento; este sistema, fue colocado en camas de siembra de 10 m de largo y un metro de ancho y de alto. Sobre las estructuras metálicas del sistema NGS[®], se colocaron multibandas de polietileno con una separación entre orificios de 10 cm y para el trasplante se utilizó un fragmento de cartón como medio de sostén para la plántula (Figura 4).



Figura 4. Realización del trasplante en el sistema NGS[®].

Se empleó como tratamiento un acidificante-buferizante agrícola comercial, denominado pHase1® al 68.8 por ciento de SA; se empleó una solución nutritiva (SN) y para la regulación del pH de la SN, se utilizó un litro de SN y se adicionó poco a poco la cantidad necesaria de pHase1®, hasta llegar al pH deseado y posteriormente, se realizaron los cálculos para la cantidad de litros de solución a preparar.

Las lechugas estuvieron establecidas en el sistema NGS® durante 34 días desde su trasplante hasta cosecha. En este periodo se realizaron tres ajustes de pH a la SN con la solución pHase1®; el primero fue a los 14 días, el segundo a los 26 y el tercero a los 29 días (Cuadro 2) y en el Cuadro 3, se muestra la distribución de los tratamientos. En cada ajuste de pH se tomó 1L de SN añadiéndole dosis pequeñas de pHase1® hasta llegar al pH ideal.

Cuadro 2. Ajustes de pH realizados a la solución nutritiva (SN).

No. Ajuste	Cantidad de SN (Litros)	pH inicial	pH final	Gasto de pHase1® (ml)
1	100	6.3	5.8	45
2	100	6.7	6.3	30
3	85	7.8	6.5	35

Cuadro 3. Descripción de los tratamientos aplicados.

Tratamientos	Variedades	SN (%)	Acidificante-Buferizante (pHase1®)
T1	V1(Parrish Island)	100	SIN A-B
	V2(Butterhead)	100	SIN A-B
	V3(Black Seed)	100	SIN A-B
	V4(Great Lakes)	100	SIN A-B
T2	V1(Parrish Island)	100	Con A-B
	V2(Butterhead)	100	Con A-B
	V3(Black Seed)	100	Con A-B
	V4(Great Lakes)	100	Con A-B

A-B: Acidificante-Buferizante; SN: Solución nutritiva.

Para la elaboración de soluciones nutritivas, se tomó en cuenta el contenido de elementos que posee el agua de elaboración (Cuadro 4), los requerimientos idóneos de la lechuga (Cuadro 5) y posteriormente los aportes para la preparación (Cuadro 6).

Cuadro 4. Resultados de análisis de agua de la UAAAN, para la elaboración de la SN.

Aniones y cationes	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
Agua (meq L ⁻¹)	0.081	-----	3.49	1.7	1.54	-----	-----	3.9	4.2

Cuadro 5. Solución nutritiva para lechuga, según Cadahia (2005).

Aniones y cationes	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
Agua (meq L ⁻¹)	19	2	2.2	-----	-----	1.25	11	9	2

Cuadro 6. Composición del agua de riego, disolución ideal y aportes previstos para preparar la solución nutritiva.

Aniones y cationes	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
Agua (meq L ⁻¹)	0.081	---	3.49	1.7	1.54	---	---	3.9	4.2
Solución (meq L ⁻¹)	19	2	2.2	---	---	1.25	11	9	2
Aportes (meq L ⁻¹)	18.919	2	---	-1.2**	---	1.25	11	5.5	---

**Equivalente a añadir 1.2 meq/L de ácido (H). Se dejan 0.5 meq/l de HCO₃⁻ como medida de seguridad por los errores en la adición de ácidos.

Se realizaron dos modificaciones en la SN aumentando el H₂PO₄⁻ un meq L⁻¹, para lograr una mayor disponibilidad de fósforo y promover un mejor desarrollo radicular y un meq L⁻¹ de Mg⁺⁺ aunque con el agua se cubre perfectamente a este elemento, se decidió aportarlo por si se tuviese algún problema de disponibilidad. En el Cuadro 7, se observa la SN modificada final.

Cuadro 7. Solución nutritiva modificada.

Aniones y cationes	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
Aportes (meq L ⁻¹)	18.919	3	---	-1.2	---	1.25	11	5.5	1

En los Cuadros 8, 10 y 11 se muestra el cálculo de la adición de los fertilizantes que se utilizaron para la agregación de los macronutrientes y micronutrientes para preparar la solución nutritiva.

Cuadro 8. Cantidades de fertilizantes empleados para la agregación de los macronutrientes en la elaboración de la solución nutritiva.

Fertilizante	meq L ⁻¹	PE	Factor (0.001)	g L ⁻¹	Para 1007 L
KNO ₃	11	101	0.001	1.11	1.118 kg
Ca(NO ₃) ₂ 4H ₂ O	5.5	118	0.001	0.64	650 g
NH ₄ H ₂ PO ₄	1.25	115	0.001	0.14	145 g
Mg(NO ₃) ₂ 6H ₂ O	1	128	0.001	0.12	130 g
*H ₃ PO ₄	2	98	0.001	0.14	145 ml

*En el caso del ácido fosfórico se tomó en cuenta la densidad 1.6 (1/d)=0.625 y la pureza que fue de 85% (100/%)=1.176.

Para el caso de los micronutrientes se tomaron los valores empleados por Cadahia (Cuadro 9), de los cuales se realizaron algunas modificaciones tal el caso de Mn de 0.5 mg L⁻¹ a 0.7 mg L⁻¹, Zn de 0.26 a 0.5mg L⁻¹ y Cu de 0.05mg L⁻¹ a 0.5mg L⁻¹ (Cuadro 10).

Cuadro 9. Valores de los micronutrientes empleados en la SN según Cadahia, (2005).

mg L ⁻¹	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
Aportes	2.2	0.5	0.26	0.32	0.05	0.05

Cuadro 10. Valores modificados de la SN en micronutrientes.

mg L ⁻¹	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
Aportes	2.2	0.7*	0.5*	0.32	0.5*	0.05

*Elementos modificados.

Cuadro 11. Fuentes de micronutrientos para preparar la SN.

Fuente	Requerimiento (mg L ⁻¹)	Cantidad para 1007 L
Fe (EDDHA 18%)	2.2	12.3
Mn (EDTA 14%)	0.7	5.04
Zn (EDTA 14.8%)	0.5	3.4
B (Ácido Bórico)	0.32	1.84
Cu (CuSO ₄ 5H ₂ O)	0.5	1.97
Mo ((NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ 4H ₂ O)	0.05	0.093

Durante el desarrollo de la planta, se presentaron algunos daños por estrés, altas temperaturas, intensa radiación, precipitaciones y granizo que provocaron rupturas de hojas; además, problemas de mosquita blanca y algunos pulgones. Para su combate, se aplicó aceite de Neem a dosis de 0.6ml L⁻¹ de agua, alternándolo con extracto de ajo y jabón Roma® en dosis de 5gr L⁻¹ de agua, la respuesta fue satisfactoria ya que se redujo la población de estos insectos.

Las variables medidas fueron: a la SN el pH y la conductividad eléctrica (CE) (potenciómetro portátil combo pH & EC HANNA®) y a la planta: altura (AP), longitud de raíz (LR), diámetro de tallo (DT) (Vernier Scherr-Tumico), número de hojas (NH), peso fresco aéreo (PFA), peso fresco de raíz (PFR), peso seco aéreo (PSA) y peso seco raíz (PSR) (Balanza electrónica Sartorius 1216 MP). Al tejido vegetal de follaje (Estufa MAPSA® HDP-334), la concentración de potasio (K⁺), calcio (Ca⁺⁺), magnesio (Mg⁺⁺), cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn) y manganeso (Mn) (Espectrofotometría de absorción atómica, Varian SpectrAA-5) y fósforo (P) (Fotocolorímetro, MILTON ROY SPECTRONIC 20D). Mediante el Método de la Desviación del Óptimo Porcentual (DOP) (Montañés *et al.* 1991), se realizó un análisis nutricional y los valores de referencia óptimos, se presentan en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Valores utilizados como referencia óptimos en las concentraciones elementales del cultivo de lechuga.

Elemento	Símbolo	Unidades	Valor óptimo
Fósforo	P	%	0.4
Potasio	K	%	6.5
Calcio	Ca	%	1.7
Magnesio	Mg	%	0.5
Cobre	Cu	ppm	45
Zinc	Zn	ppm	87.5
Manganeso	Mn	ppm	115
Hierro	Fe	ppm	160

Fuente: Reuter y Robinson, (1986)

$$DOP = [(C_{muestra}/C_{referencia}) \times 100] - 100; \text{ Según Montañés } et al. (1991).$$

El diseño experimental empleado, fue un arreglo de parcelas divididas, en donde las parcelas grandes la conformaron las SN y las parcelas chicas las variedades, con seis repeticiones. El análisis estadístico, consistió en el análisis de varianza y la prueba de medias, mediante el método de Tukey ($p \leq 0.05$); es decir, al 95 por ciento de confianza y para ello, se utilizó el programa “Statistical Product and Service Solutions”(SPSS) (www.uclm.es, 2015), en la versión 7.0

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Monitoreo del pH y la CE

Al medir el pH de la SN, no presentó variación significativa con respecto a la otra SN; pero, al ajustar el pH con el acidificante-buferizante agrícola comercial, los niveles de pH se acercaron a los valores óptimos propuestos por Arcos *et al.* (2010), donde consideran que el pH óptimo de la SN para el crecimiento de las lechugas, deberá ser de 5.8, aunque entre 5.6 y 6.0 es aceptable y Enríquez (2010), establece que forzosamente, el pH de la SN deberá ser de 5.8 (Cuadro 13).

Con relación a la CE en las soluciones nutritivas, se presentaron valores similares, excepto cuando se realizó el ajuste, ya que se observan incrementos (Cuadro 13). Para corregir lo anterior, se adicionó agua a la SN con el fin de disminuir la concentración de sales y la planta pudiera recuperarse del estrés que sufrió por el cambio de CE. Vázquez (2014), señala que la CE puede incrementarse con la transpiración de la planta y la evapotranspiración y para solucionar esto, se puede agregar agua limpia y al disminuir, es necesario aplicar cantidades calculadas de solución madre o de fertilizantes.

Cuadro 13. Monitoreo de pH y CE registrados en el experimento.

		Soluciones nutritivas			
		SN 100% Sin ajuste		SN 100% Con ajuste	
Fecha	Lectura	pH	CE	pH	CE
17-04-2014	1	6.5	2.33	6.7	2.34
14-04-2014	2	6.5	2.57	6.4	2.60
16-04-2014	3	6.5	2.59	6.7	2.93
21-04-2014*	4	6.3	2.44	Inicial	6.3
				final	5.8
24-04-2014	5	6.6	2.80	6.0	3.90
26-04-2014	6	6.8	2.65	6.1	2.00
27-04-2014	7	6.4	2.30	6.3	2.20
28-04-2014	8	7.2	2.14	6.5	2.17
03-05-2014*	9	6.5	1.76	Inicial	6.7
				final	6.3
06-05-2014*	10	6.6	2.22	Inicial	7.8
				final	6.5
07-05-2014	11	7.6	2.40	7.8	2.16

SN=solución nutritiva *ajuste de pH.

En el Cuadro 14, se presentan los cuadrados medios para los tratamientos y la significancia correspondiente a las variables evaluadas en el experimento; en el que se aprecia diferencia altamente significativa para todas las variables medidas, con excepción de la longitud de la raíz (LR). En el Cuadro 15, se muestran los valores medios y en el 16 la prueba de comparación de medias.

Cuadro 14. Cuadrados medios y significancias de las variables evaluadas en el cultivo de lechuga, con la adición de un acidificante-buferizante, establecido en un sistema NGS®.

FV	GL	AP	DT	LR	NH	PFA	PFR	PSA	PSR
T	1	660.82**	1.08**	11.21NS	136.68**	46072.21**	960.33**	157.68**	8.41**
V	3	27.11**	0.42**	1.39NS	150.74**	1659.61*	157.811*	7.07*	2.6*
R	5	1.67NS	0.02NS	3.71NS	2.12NS	217.2NS	32.23NS	0.73NS	0.34NS
T*V	3	6.89NS	0.29NS	5.59NS	14.52NS	512.07NS	63.17NS	0.65NS	1.33NS
EE	38	5.43	0.068	4.08	7.64	380.859	53.46	2.31	0.71
CV%		11.93	13.48	25.47	16.30	34.01	39.50	33.08	35.58

F.V. Fuente de Variación. G.L. Grados de Libertad. A.P. Altura de Planta. D.T. Diámetro de tallo. L.R. Longitud de Raíz. N.H. Número de Hojas. P.F.A. Peso Fresco Aéreo. P.F.R. Peso Fresco Raíz. P.S.A. Peso Seco Aéreo. P.S.R. Peso Seco Raíz. T. Tratamiento. NS No Significativo *Significativo **Altamente Significativo. V. Variedad. T*V. Interacción de Tratamiento con Variedades. R. Repeticiones. EE. Error Experimental. C.V%. Coeficiente de Variación.

Cuadro 15. Valores medios para cada variable evaluada en lechuga, con dos SN, en un sistema hidropónico.

Solución	AP	DT	LR	NH	PFA	PFR	PSA	PSR
1	20.51	1.64	8.24	18.16	90.67	23.63	6.81	2.79
2	13.09	1.34	7.27	14.79	28.7	14.69	3.19	1.95

Cuadro 16. Comparación de medias con la prueba de Tukey al ($p \leq 0.05$) para cada variable medida a la lechuga hidropónica.

Variedad	AP	DT	NH	PFA	PFR	PSA	PSR
1	17.93 A	1.72 A	21.75 A	74.31 A	23.88 A	5.99 A	2.74 A
2	15.92 AB	1.29 B	14.08 B	45.54 B	15.67 B	4.2 B	1.94 A
3	18.21 A	1.40 B	14.91 B	60.13 AB	20 AB	5.16 AB	2.8 A
4	15.15 B	1.55 AB	15.16 B	58.77 AB	17.09 AB	4.65 AB	2.0 A

Variedad 1: Parrish Island (Orejona), Variedad 2: Butterhead, Variedad 3: Black seed (Italiana), Variedad 4: Great Lakes (Romana).

Así, en el Cuadro 14 se observa como la altura de planta (AP), mostró una respuesta altamente significativa y las variedades Parrish Island y Black Seed, mostraron los más altos resultados. El excesivo calor, puede producir flor prematura y un marcado sabor amargo en las hojas; pueden manifestarse con mayor intensidad, en función de la temperatura. Para Maroto (2000), si las temperaturas de crecimiento son inferiores a los 18°C, un alto porcentaje de plantas después de acogollar sube a flor; mientras que, si la temperatura de crecimiento es superior a 18°C, las lechugas suben a flor prematuramente sin acogollar, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el presente trabajo. Las temperaturas registradas durante el experimento oscilaron entre 15° y 33°C lo que favoreció a las variedades Black Seed y Parrish Island. En el caso de la primera variedad, tiende a ser más precoz alcanzando su plena madurez a los 45 días.

Además, la variedad Great Lakes, es la que presentó el menor valor en esta variable; aquí, Maroto (2000), menciona que esta variedad de lechuga prácticamente ha desaparecido, pues tenía varios inconvenientes, pese a que era muy rustica; el tamaño era mediano, no formaba muy bien el cogollo y se “reventaba” fácilmente, lo que concuerda con los resultados obtenidos respecto a la altura de esta variedad.

Para el diámetro de tallo (DT), se presentó diferencia altamente significativa entre soluciones y variedades; aquí, la variedad Parrish Island generó los mayores valores de diámetro de tallo. Por lo que, Arcos *et al.* (2010) señalan que entre las relaciones de las variables morfológicas utilizadas para evaluar la calidad de plántulas, el diámetro constituye uno de los más importantes atributos morfológicos para estimar el crecimiento de la lechuga después del establecimiento; también, se puede añadir que la capacidad de absorción de nutrimentos por esta variedad fue la adecuada.

Los tratamientos no realizaron efecto significativo en la longitud de la raíz (LR); por lo tanto, el comportamiento de esta variable fue similar en todos los tratamientos desde el punto de vista estadístico. Sin embargo, las medias en cuanto a las soluciones vemos que entre las variedades Parrish Island y la Butterhad existe aproximadamente una unidad de diferencia. En general la longitud de la raíz es relativamente baja, lo cual coincide con Alpízar, (2004), quien menciona que en la hidroponía el agua acarrea los nutrimentos hasta la raíz de la planta, esto hace que las raíces no tengan que desarrollarse tanto, pues no tienen que recorrer espacios en busca de alimento como sucede con los cultivos en suelo.

Tanto para los tratamientos, así como para las variedades, el número de hojas (NH) presentaron efecto significativo y fue la variedad Parrish Island la que presentó valores sobresalientes; así, Arcos *et al.* (2010), señalan que las hojas al ser el principal órgano sintetizador de carbohidratos de la planta, deben tener un buen sustrato que le garantice un suministro adecuado de nutrientes. La variedad Parrish Island, presentó un color verde intenso, borde entero, hojas gruesas y externas planas no recurvadas hacia abajo, lo que nos indica que la planta tiende a tener un buen desarrollo de hojas y en este trabajo, se muestra que esta variedad fue la superior con relación a las demás.

Para el peso fresco aéreo (PFA), se presentó respuesta altamente significativa en soluciones nutritivas y significativas para el caso de las variedades. Aquí, se muestra que la variedad Parrish Island fue la que produjo mayor peso fresco aéreo; lo anterior, concuerda con la variable anterior. Salinas (2010), menciona que el mayor peso de la lechuga (96 %) es agua y tan solo el cuatro por ciento es materia seca, la cual proporciona las características de calidad en la producción; esto, quiere decir que al lograr tener un peso mayor, la variedad Parrish Island realizó mejor absorción de agua que las demás variedades. El peso fresco de las plantas de lechuga al momento de cosecha está relacionado directamente con el peso de las semillas, ocurriendo que a mayor peso de la semilla se obtienen lechugas de mayor tamaño.

El peso fresco de raíz (PFR), mostró respuesta altamente significativa para las soluciones nutritivas y significativas para el caso de las variedades. La variedad Parrish Island, fue la que proyectó superiores pesos frescos de raíz, en cuanto a los valores medios de las SN nos indica que la SN al 100 por ciento sin ajuste de pH, generó el superior PFR. Las variedades Black Seed y Great Lakes, mostraron valores mayores y su comportamiento fue similar; mientras que, la variedad Butterhead fue la que obtuvo los pesos más bajos.

Para el peso seco aéreo (PSA), hay respuesta altamente significativa entre SN y significativa para variedades. La prueba de medias, indica que la variedad Parrish Island, presentó el mayor valor con respecto a las demás variedades. En trabajos realizados por Mallar citado por Galván y Rodríguez, (1998), reporta que el peso seco que tiene la planta de lechuga, varía respecto a su edad (días), dice que cuando la planta tiene alrededor de 20 días su peso promedio es de 0.85 g y a los 65 días, reporta un peso de 10.20 g; esto varía según la variedad y el tipo de sistema en el que se encuentre. Lo anterior coincide con los resultados del presente trabajo, es decir se tiene un comportamiento similar.

Para el peso seco de raíz (PSR), hay una respuesta altamente significativa entre SN, significativo para variedades y no significativo para repeticiones. Para el caso de las variedades según la prueba de medias, se observa que el comportamiento fue semejante y no hay variabilidad.

4.2. Índices por el Método Desviación del Optimo Porcentual (DOP)

El Cuadro 17, muestra los resultados de los análisis realizados para cada uno de los tratamientos, al obtener el índice de desbalance nutricional (IDN) que presenta cada variedad de lechuga. Como referencia de los niveles óptimos adecuados (NA), se consideraron los valores obtenidos por Reuter y Robinson (1986) (Cuadro 12).

De acuerdo a los resultados obtenidos, nos reporta que al adicionar la SN al 100 por ciento sin ajustar el pH, en la variedad Parrish Island, se presentó el mejor balance nutricional; con el orden siguiente: Cu >K >Ca>P >Zn >Mg>Mn >Fe y con un índice de desbalance nutricional de 238.31. Cuando se aplicó la SN al 100 por ciento con ajuste de pH, la variedad Black Seed obtuvo el menor balance nutricional con un valor de índice de desbalance nutricional de 391.01, con el siguiente orden de requerimiento Cu>K>Ca>Mn>Zn>P>Mg>Fe.

En el caso de los elementos minerales se puede ver que el Hierro (Fe,) fue el elemento con mayor exceso en la planta en todos los tratamientos y al Cu como el elemento con mayor deficiencia.

De forma general los macronutrientes, se presentaron en niveles deficientes, lo que obliga a agregar estos elementos en la solución nutritiva; de tal forma que Favela (2006), señala que el requerimiento de calcio encontrado en el trabajo puede deberse al antagonismo y/o precipitación entre algunos elementos nutritivos. La acumulación de SO_4^- favorece la precipitación de Ca^{2+} y el incremento de la acumulación de Ca^{2+} provoca la pérdida por precipitación de SO_4^- y H_2PO_4^- .

Además, este mismo autor dice que la planta absorbe mayor cantidad de agua que de nutrimentos, lo cual propicia que la concentración de la SN tienda a aumentar y los iones disueltos en la SN cambian su relación mutua entre ellos debido a su absorción diferencial. En este sentido, el sistema hidropónico influye de manera decisiva en sistemas cerrados, donde la SN se recicla.

Cuadro 17. Índices de desbalance nutricional (IDN) y orden de requerimiento nutricional correspondientes a cada tratamiento y variedad de lechuga, producida en hidroponía.

T. V.		P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	IDN	Orden de Requerimiento
T1V1	CTV	0.35	4.3	1.23	0.51	13	260	80	140		
	NA	0.4	6.5	1.7	0.5	45	160	87.5	115	238.31	Cu >K >Ca >P >Zn >Mg >Mn >Fe
	DOP	-11.12	-33.84	-27.64	2	-71.11	62.5	-8.57	21.73		
T1V2	CTV	0.47	2.73	1.01	0.43	8	250	50	120	350.51	
	NA	0.4	6.5	1.7	0.5	45	160	87.5	115		Cu >K >P >Zn >Ca >Mg >Mn >Fe
	DOP	-52.67	-58	-40.58	-13.6	-82.22	56.25	-42.85	4.34		
T1V3	CTV	0.512	3.1	0.88	0.362	9	270	60	110		
	NA	0.4	6.5	1.7	0.5	45	160	87.5	115	340.66	Cu >K >Ca >Zn >Mg >Mn >P >Fe
	DOP	28	-52.30	-48.24	-27.60	-80.00	68.75	-31.43	-4.35		
T1V4	CTV	0.44	2.95	0.87	0.38	6	200	60	90		
	NA	0.4	6.5	1.7	0.5	45	160	87.5	115	302.27	Cu >K >Ca >Zn >Mg >Mn >P >Fe
	DOP	10	-54.62	-48.82	-24.00	-86.67	25.00	-31.43	-21.74		
T2V1	CTV	0.418	2.97	1.04	0.471	6	230	40	150		
	NA	0.4	6.5	1.7	0.5	45	160	87.5	115	318.57	Cu >K >Zn >Ca >Mg >P >Mn >Fe
	DOP	4.5	-54.31	-38.82	-5.80	-86.67	43.75	-54.29	30.43		
T2V2	CTV	0.364	2.96	0.9	0.512	5	230	50	60		
	NA	0.4	6.5	1.7	0.5	45	160	87.5	115	336.24	Cu >K >Mn >Ca >Zn >P >Mg >Fe
	DOP	-9	-54.46	-47.06	2.40	-88.89	43.75	-42.86	-47.83		
T2V3	CTV	0.3129	2.39	0.71	0.409	5	240	50	60		
	NA	0.4	6.5	1.7	0.5	45	160	87.5	115	391.01	Cu >K >Ca >Mn >Zn >P >Mg >Fe
	DOP	-21.78	-63.23	-58.24	-18.20	-88.89	50.00	-42.86	-47.83		
T2V4	CTV	0.3074	2.88	0.81	0.479	5	170	50	80		
	NA	0.4	6.5	1.7	0.5	45	160	87.5	115	303.83	Cu >K >Ca >Zn >Mn >P >Mg >Fe
	DOP	-23.15	-55.69	-52.35	-4.20	-88.89	6.25	-42.86	-30.43		

T: Tratamiento (Soluciones) V: Variedad. CTV: Concentración en Tejido Vegetal. NA: Nivel Adecuado IDN: Índice de Desbalance Nutricional.

V. CONCLUSIONES

El acidificante – buferizante adicionado a la solución nutritiva, no realizó efecto en el pH y la conductividad eléctrica de ella; mientras que, en las variables medidas a la planta si lo efectuó, con excepción de la longitud de la raíz y en el tejido vegetal de follaje, el único nutrimento que no fue deficiente fue el fierro.

VI. RECOMENDACIONES.

- ❖ Al establecer el sistema NGS® a “cielo abierto”, se recomienda colocar alguna protección (malla sombra, coberturas plásticas, etc.), para reguardar al cultivo de los factores climáticos, como lo son: altas temperaturas, precipitaciones, granizo y radiación solar, entre otros.
- ❖ Para trabajos posteriores no se recomienda usar el acidificante-buferizante agrícola ya que crea problemas en la dinámica de la CE.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- ❖ **Alpízar, A. L. 2004.** Hidroponía Cultivo sin tierra. Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2004.
<https://books.google.com.mx/books?id=xvuGzvNxR9UC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false> (25 Septiembre 2014).

- ❖ **Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes-ANFFE, 2015.**
<http://www.anffe.com/noticias/2008/2008-06-02-La-importancia-de-los-fertilizantes-en-una-agricultura-actual-productiva-y-sostenible/LA-IMPORTANCIA-DE-LOS-FERTILIZANTES.pdf>

- ❖ **Arcos, B., Benavides, O., Rodríguez, M. 2010.** Evolución de dos sustratos y dos dosis de fertilización en condiciones hidropónicas bajo invernadero en la lechuga *Lactuca sativa* L. Revistas de Ciencias Agrícolas Año 2011- Volumen XXVII No. 2. Pags.95-108
[file:///C:/Users/particular/Downloads/18-63-1-PB%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/particular/Downloads/18-63-1-PB%20(1).pdf)
(29 Mayo 2015).

- ❖ **Barreto, B. R. 2014.** Diagnóstico nutricional de cuatro cultivares de lechuga establecidas en el sistema NGS® (New Growing System). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.

- ❖ **Blok, Ch., Urrestarazu, G. M. 2010.** El uso de los sustratos en Europa es cada vez mayor. Horticultura global. Fertirrigación e Hidroponía.
http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rhg289/50_55.pdf
(10 Septiembre 2014).

- ❖ **Bosques, V. J. H. 2003.** Curso Básico de Hidroponía.
https://books.google.com.mx/books?id=GV_XAQAQAQBAJ&pg=PA60&dq=sistemas++hidroponicos+abiertos+y+cerrados&hl=es&sa=X&ei=YIsiVOW3GePC8QHkqIGQDw#v=onepage&q=sistemas%20%20hidroponicos%20abierto s%20y%20cerrados&f=true (31 Octubre 2014).

- ❖ **Cadahia, L. C. 2005.** Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. 3ª edición. Ediciones Mundi-Prensa, España.

- ❖ **Castellanos, J. Z., Santiago, J. D. 2014.** La fertilización foliar, una estrategia para potencializar la nutrición de los cultivos. Hojas técnicas de Fertilab, México.www.fertilab.com.mx (25 mayo 2015)

- ❖ **Correndo, A., García, F. 2012.** Alternativas de diagnóstico para el manejo nutricional en cultivos extensivos. IPNI Latinoamérica Cono Sur.
[http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/203773C7E19A701285257AB70039B4BE/\\$FILE/CORRENDO%20Y%20GARCIA%20-%20VI%20CBCS.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/203773C7E19A701285257AB70039B4BE/$FILE/CORRENDO%20Y%20GARCIA%20-%20VI%20CBCS.pdf) (16 Mayo 2015).

- ❖ **Favela, C. E., Preciado, R. P., Benavides, M. A. 2006.** Manual para la preparación de soluciones nutritivas Departamento de Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Unidad Laguna, Coahuila.
http://www.nutricaodeplantas.agr.br/site/downloads/unesp_jaboticabal/Manual_Soln_Nutritivas.pdf (26 Mayo 2015).

- ❖ **Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Dirección de Estadística- FAOSTAT, 2015.**
<http://faostat3.fao.org/home/S> (26 Octubre 2015)

- ❖ **Galván, V.G., Rodríguez. L. J. 1998.** Cultivos de hoja, Lechuga, Generalidades y Ecofisiología. Universidad de la Republica.
http://www.fagro.edu.uy/~horticultura/CURSO%20HORTICULTURA/CULTIVOS_HOJA/Cultivos%20de%20Hoja%20Ecofisiolog%EDa.pdf
 (18 Mayo 2015).

- ❖ **Gutiérrez, T. J. 2011.** Producción hidropónica de lechuga con y sin recirculación de solución nutritiva. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo, México.
<http://www.chapingo.mx/horticultura/pdf/tesis/TESISMCH2011120908126441.pdf>
 (24 Mayo 2015).

- ❖ **Lara, H. A. 2000.** Manejo de la Solución Nutritiva en la Producción de Tomate en Hidroponía.
<http://www.chapingo.mx/terra/contenido/17/3/art221-229.pdf>
 (28 Mayo 2015).

- ❖ **Maroto, J. V., Miguel. G. A., Baixauli. S. C. 2000.** La lechuga y la scarola. Caja Rural Valencia. Fundación. Ediciones Mundi-Prensa.2000.

- ❖ **Maroto, J. V. 2008.** Elementos de Horticultura General. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 3ª ed.2008.481 pp.
<https://books.google.com.mx/books?id=yfwirjAGwTAC&pg=PA278&dq=las+primeras+soluciones+nutritivas&hl=es419&sa=X&ei=XIk8VMCCDseryASAxIB4#v=onepage&q=las%20primeras%20soluciones%20nutritivas&f=false>
 (20 Mayo 2015).

- ❖ **Montañés, L., Heras, L., Sanz, M. 1991.** Desviación del Optimo Porcentual (DOP): Nuevo índice para la interpretación del análisis vegetal.
<http://digital.csic.es/bitstream/10261/4114/1/analesv.20n.3-4-1991-pp93.pdf>
 (18 Mayo 2015).

- ❖ **Morgan, L. 1999.** El cultivo hidropónico de lechugas. Casper publications Pyt Ltd. Australia. (28 Mayo 2015)

- ❖ **Reuter, J. D., Robinson, B. J. 1986.** Plant Analysis And Interpretation Manual. Inkata Press. Melbourne. Sydney. (18 junio 2015)

- ❖ **Rodríguez, A. J. M. 2005.** Métodos de Investigación Pecuaria. Editorial Trillas. UAAAN México, 1991(reimp.2005) (12 Mayo 2015)

- ❖ **Rodríguez, D., Chang la Rosa, M. Hoyos, R. y Falcón, G. 2002.** Manual Práctico de Hidroponía. CIHNM. Lima, Perú.(15 junio 2015)

- ❖ **Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-SAGARPA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera-SIAP, 2015.**
http://infosiap.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=204 (26 Octubre 2015)

- ❖ **Salinas, P. S. 2010.** Efecto del ácido salicílico sobre la tolerancia a estrés hídrico en lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo condiciones de invernadero. Amazcala, el Marques, Querétaro.
<http://ri.uaq.mx/bitstream/123456789/2676/1/RI002518.pdf> (14 Mayo 15).

- ❖ **Sánchez, G. P. 2010.** Nutrición de cultivos hortícolas Instituto Tecnológico de Sonora Cd. Obregón, Sonora.
http://www.itson.mx/micrositios/nch/Documents/suelo_y_agua.pdf
 (14 Noviembre 2014).

- ❖ **Urrestarazu, G. M. 2004.** Tratado de cultivo sin suelo. Mundi-Prensa, 3ª edición, Almería. España. (26 Octubre 2015)

- ❖ **Vallejo, C. F.A., Estrada, S. E. I. 2004.** Producción de hortalizas de clima cálido. Universidad Nacional de Colombia- Sede Palmar Diciembre de 2004. Disponible en página web
https://books.google.com.mx/books?id=UpyfvNokkroC&pg=PA315&dq=cultivo+de+lechuga&hl=es&sa=X&ei=l0YRVK6bFfSI8gG__4HQDw#v=onepage&q=cultivo%20de%20lechuga&f=false (24 Septiembre 2014).

- ❖ **Vázquez, R. R. 2014.** Evaluación del Sistema NFT a Cielo Abierto en la Producción de Lechuga Hidropónica, para Pequeños Espacios en Quecholac, Puebla. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.

Paginas citadas.

1. <http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/069/ca069.pdf>
(26 Octubre 2015)
2. https://www.alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2012/446/42109/1/Documento2.pdf (24 Septiembre 2014)
3. <http://www.cultivohidroponico.com/> (25 Octubre 2014)
4. <http://www.hidroponiamonterrey.com.mx/hidroponia.asp> (27 Octubre 2014)
5. http://www.intagri.com.mx/noticia_16.html (28 Octubre 2014)
6. <http://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/soluciones-nutritivas-para-cultivos-protegidos#sthash.AowGbUs4.dpbs> (2 Noviembre 2014)
7. <http://www.intagri.com/buscador/articulos?q=soluciones+nutritivas>
(1 Junio 2015).
8. <http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/688/1/T2370.pdf>
(13 Junio 2015)
9. <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/286/19.pdf?sequence=1> (12 Junio 2015)
10. http://www.arystalifesciencecayc.com/user_files/uploads/files/Ficha_Tecnica_Phase.pdf (18, Mayo, 2015)
11. http://www.uclm.es/profesoradO/raulmmartin/Estadistica/PracticasSPSS/UNA_SESION_EN_SPSS.pdf (12 Junio 2015)