



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

EVALUACIÓN DE DOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AEROPÓNICO E HIDROPÓNICO EN LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) VAR. CRISPA BAJO CUBIERTA, UBICADO EN EL CANTÓN FRANCISCO DE ORELLANA.

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO AGRÓNOMO

AUTOR: JAIRO GONZALO MONTERO ARTEAGA

DIRECTOR: Ing. VÍCTOR ALBERTO LINDAO CÓRDOVA Ph. D.

RIOBAMBA - ECUADOR

2021

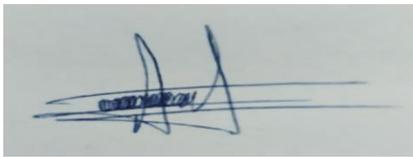
© 2021, Jairo Gonzalo Montero Arteaga

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, **JAIRO GONZALO MONTERO ARTEAGA**, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes, están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Riobamba. 25 de febrero 2021



Jairo Gonzalo Montero Arteaga

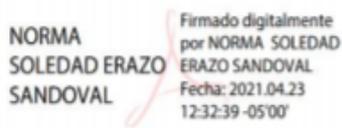
220023690-5

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto de investigación para titulación de grado, **EVALUACIÓN DE DOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AEROPÓNICO E HIDROPÓNICO EN LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) VAR. CRISPA BAJO CUBIERTA, UBICADO EN EL CANTÓN FRANCISCO DE ORELLANA**, realizado por el señor: **JAIRO GONZALO MONETERO ARTEAGA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtual el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Norma Soledad Erazo Sandoval PhD PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado digitalmente por NORMA SOLEDAD ERAZO SANDOVAL Fecha: 2021.04.23 12:32:39 -05'00'	2021-04-20
Ing. Víctor Alberto Lindao Córdoba PhD DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado electrónicamente por: VICTOR ALBERTO LINDAO CORDOVA	2021-04-20
Ing. Lucía Mercedes Abarca Villalba Mgs. ASESORA DEL TRIBUNAL	 Firmado digitalmente por Lucía Abarca Villalba DN: cn=Lucía Abarca Villalba, o=Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, email=Lucia.Abarca@espol.edu.ec, c=EC Fecha: 2021-04-20 10:24:00	2021-04-20

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres por ser un ejemplo de superación y apoyo incondicional en cada momento de mi vida.

A mis hermanos, que siempre estuvieron a mi lado brindándome su fuerza para seguir adelante.

A toda mi familia quienes me extendieron la mano en los momentos cuando más los necesité.

Jairo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, hermanos, a mis familiares y a mis verdaderos amigos, a mis familiares, quiénes me apoyaron y ayudaron a culminar esta meta en mi vida.

Al Ing. Víctor Alberto Lindao Córdoba Ph. D, por su apoyo durante el trabajo de titulación.

A la Ing. Lucía Abarca Villalba por hacer posible que este trabajo se realice.

Jairo

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.	1
CAPÍTULO I	3
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	3
1.1 Cultivo en Aeroponía.....	3
1.1.1 <i>Ventajas del cultivo en aeroponía</i>	3
1.1.2 <i>Automatización.</i>	4
1.1.3 <i>Limitaciones y desventajas.</i>	5
1.1.4 <i>Factores a considerar antes de empezar con la aeroponía.</i>	5
1.2 Cultivo en hidroponía.	6
1.2.1 <i>La nutrición de los vegetales y los cultivos hidropónicos.</i>	7
1.2.2 <i>Distinción entre sistemas hidropónicos.</i>	8
1.2.3 <i>Ventajas de los cultivos hidropónicos.</i>	9
1.2.4 <i>Desventajas del cultivo hidropónico sobre los cultivos en tierra.</i>	10
1.3 Soluciones nutritivas.....	10
1.3.1 <i>El pH de la solución nutritiva.</i>	11
1.3.2 <i>Temperatura de la solución nutritiva.</i>	11
1.4 Lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.) var. <i>crispa</i>	12
1.4.1 <i>Clasificación botánica.</i>	12
1.4.2 <i>Características morfológicas.</i>	12
1.4.3 <i>Requerimientos climáticos y edáficos.</i>	13
CAPÍTULO II	16

2.	MARCO METODOLÓGICO.....	16
2.1	Características del lugar.....	16
2.1.1	<i>Localización.....</i>	16
2.1.2	<i>Ubicación geográfica.</i>	16
2.1.3	<i>Altura.....</i>	16
2.1.4	<i>Condiciones climáticas.</i>	16
2.2	Materiales y equipos.....	16
2.2.1	<i>Materiales de oficina.</i>	16
2.2.2	<i>Materiales de laboratorio.</i>	16
2.2.3	<i>Materiales de campo.....</i>	17
2.3	Metodología.....	17
2.3.1	<i>Fase de campo.</i>	17
2.3.2	<i>Manejo del ensayo.</i>	18
2.3.3	<i>Diseño experimental.</i>	19
3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	20
3.1	Análisis de varianza para altura de planta a los 15 días después de colocado en los sistemas.....	20
3.2	Análisis de varianza para altura de planta a los 30 días después de colocado en los sistemas.....	21
3.3	Análisis de varianza para altura de la planta a la cosecha (40 días después de colocado en los sistemas).....	22
3.4	Análisis de varianza para ancho de hoja a los 15 días después de colocado en los sistemas.....	24
3.5	Análisis de varianza para ancho de hoja a los 30 días después de colocado en los sistemas.....	25
3.6	Análisis de varianza para ancho de hoja a la cosecha (40 días después de colocado en los sistemas).....	26
3.7	Análisis de varianza para longitud de hoja a los 15 días después de colocado en el sistema.	28

3.8	Análisis de varianza para longitud de la hoja a los 30 días después de colocado en los sistemas.	29
3.9	Análisis de varianza para longitud de hoja a la cosecha (40 días después de colocado en los sistemas).....	30
3.10	Análisis de varianza para número de hojas a los 15 días después de colocado en los sistemas.	32
3.11	Análisis de varianza para número de hojas a los 30 días después de colocado en los sistemas.	33
3.12	Análisis de varianza para número de hojas a la cosecha (40 días después de colocado en los sistemas).....	34
3.13	Análisis de varianza para longitud de raíz a los 15 días después de colocado en los sistemas.	36
3.14	Análisis de varianza para longitud de raíz a los 30 días después de colocado en los sistemas.	37
3.15	Análisis de varianza para longitud de raíz a la cosecha (40 días después de colocado en los sistemas).....	38
3.16	Análisis de varianza para peso de las plantas a la cosecha (40 días después de colocado en los sistemas).....	41
3.17	Análisis de varianza para rendimiento en kg/ha la cosecha de lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.) var. crispa.	42
3.18	Análisis económico según la relación beneficio costo. -.....	44
CONCLUSIONES		46
RECOMENDACIONES		47
GLOSARIO		
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2	Esquema de análisis de variancia (ADEVA o ANAVA).	19
Tabla 2-3	Análisis de varianza para altura de planta a los 15 días.	20
Tabla 3-3	Análisis de varianza para altura de la planta a los 30 días	21
Tabla 4-3	Análisis de varianza para altura de la planta a la cosecha	22
Tabla 5-3	Análisis de varianza de ancho de hoja a los 15 días	24
Tabla 6-3	Análisis de varianza para el ancho de la hoja a los 30 días	25
Tabla 7-3	Análisis de varianza para el ancho de hoja a la cosecha	26
Tabla 8-3	Análisis de varianza para longitud de hoja a los 15 días	28
Tabla 9-3	Análisis de varianza de la longitud de la hoja a los 30 días	29
Tabla 10-3	Análisis de varianza para la longitud de hoja a la cosecha (40 días)	30
Tabla 11-3	Análisis de varianza para el número de hojas a los 15 días	32
Tabla 12-3	Análisis de varianza para el número de hojas a los 30 días	33
Tabla 13-3	Análisis de varianza para el número de las hojas a la cosecha (40 días)	34
Tabla 14-3	Análisis de varianza para la longitud de raíz a los 15 días	37
Tabla 15-3	Análisis de varianza para la longitud de raíz a los 30 días	38
Tabla 16-3	Análisis de varianza para la longitud de raíz a la cosecha (40 días)	39
Tabla 17-3	Análisis de varianza del peso de las plantas a la cosecha (40 días)	41
Tabla 18-3	Análisis de varianza para rendimiento a la cosecha de lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.) var. Crispa en kg/ha.	43
Tabla 19-3	Análisis económico según la relación beneficio costo.	44

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3	Altura de planta a los 15 días	20
Gráfico 2-3	Altura de planta a los 30 días	21
Gráfico 3-3	Altura de planta a la cosecha	22
Gráfico 4-3	Curva altura de planta	23
Gráfico 5-3	Ancho de hoja a los 15 días	25
Gráfico 6-3	Ancho de hoja a los 30 días	26
Gráfico 7-3	Ancho de hoja a la cosecha	27
Gráfico 8-3	Curva ancho de hoja	27
Gráfico 9-3	Longitud de hoja a los 30 días	29
Gráfico 10-3	Longitud de hoja a la cosecha	30
Gráfico 11-3	Curva longitud de hoja	31
Gráfico 12-3	Número de hojas a los 15 días	33
Gráfico 13-3	Número de hojas a los 30 días	34
Gráfico 14-3	Número de hojas a la cosecha	35
Gráfico 15-3	Curva del número de hojas	35
Gráfico 16-3	Longitud de raíz a los 15 días	37
Gráfico 17-3	Longitud de raíz a los 30 días	38
Gráfico 18-3	Longitud de raíz a la cosecha	39
Gráfico 19-3	Curva de longitud de raíz	40
Gráfico 20-3	Peso de la planta a la cosecha	42
Gráfico 21-3	Rendimiento de los dos sistemas de producción	43
Gráfico 22-3	Relación beneficio costo	45

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A	TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA
ANEXO B	pH, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (C.E.) Y TEMPERATURA DEL AGUA POTABLE
ANEXO C	pH, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (C.E.) Y TEMPERATURA DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA
ANEXO D	RELACIÓN BENEFICIO/COSTO DEL SISTEMA HIDROPÓNICO
ANEXO E	RELACIÓN BENEFICIO/COSTO DEL SISTEMA HIDROPÓNICO
ANEXO F	REALIZACIÓN DE LOS MODULARES
ANEXO G	REALIZACIÓN DE LA CUBIERTA
ANEXO H	REALIZACIÓN DE LOS HOYOS PARA INSTALACION DE LOS TANQUES DE 200 L
ANEXO I	COMPRA DE MATERIALES
ANEXO J	REALIZACIÓN DE ARMAR EL SISTEMA
ANEXO K	REALIZACION DE SEÑALIZACIÓN
ANEXO L	INSTALACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO
ANEXO M	REALIZACIÓN DE TRANSPLANTE
ANEXO N	PREPARACION DE SOLUCION NUTRITIVA
ANEXO O	DOSIFICACIÓN PARA LA SOLUCION NUTRITIVA
ANEXO P	TOMA DE DATO DE Ph y CE
ANEXO Q	SEGUIMIENTO Y DEAROLLO DE LA PLANTA
ANEXO R	COSECHA
ANEXO S	COMERCIALIZACION
ANEXO T	ENCUESTA
ANEXO U	ENCUESTA A LOS POBLADORES

RESUMEN

La presente investigación propone: Evaluar dos sistemas de producción aeropónico e hidropónico en lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. crispa bajo cubierta, el área total del ensayo fue de 24 m², se utilizó un diseño de bloques completos al azar con dos tratamientos y tres repeticiones con la prueba de DMS al 5%. Se evaluó parámetros como: altura de planta, ancho de hoja, longitud de hoja, número de hojas, longitud de raíz, peso de planta a los 15 días, 30 días y a la cosecha (40 días), se calculó el rendimiento por parcela neta y por hectárea, se calculó la relación beneficio costo. Se determinó que el tratamiento T1 (sistema hidropónico) obtuvo la mayor altura de planta a los 15, 30 días y a la cosecha con 23,50 cm; 31,08 cm y 34,55 cm respectivamente. El mayor ancho de hoja obtuvo el T1 a los 15 días, 30 días y a la cosecha con 5,57 cm; 7,44 cm y 7,84 cm respectivamente. La mayor longitud de hoja obtuvo el T1 a los 15 días, 30 días y a la cosecha (40 días) con 10,68 cm; 13,71 cm y 14,44 cm respectivamente. El mayor número de hojas alcanzó el T1 a los 15 días, 30 días y a la cosecha con 10,37; 16,47 y 18,7 hojas respectivamente. El tratamiento T2 (sistema aeropónico) obtuvo la mayor longitud de raíz alcanzó a los 15 días, 30 días y a la cosecha con 9,88 cm; 10,37 cm y 10,91 cm respectivamente. El mayor peso de la planta a la cosecha con 32,31 g, el mayor rendimiento con 4094,53 kg/ha, y la mayor relación beneficio costo con 3,80 dólares lo que corresponde al 280,12% de rentabilidad lo obtuvo el T1. El tratamiento T1 mediante las evaluaciones realizadas superó en casi todas las variables que el tratamiento T2 (sistema aeropónico), se determinó que es el mejor tratamiento para la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa en el cantón Francisco de Orellana.

Palabras claves: <AGRONOMÍA>, <SISTEMA AEROPÓNICO>, <SISTEMA HIDROPÓNICO>, <LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa >

ABSTRACT

The present investigation aims to evaluate two aeroponic and hydroponic producción systems in lettuce (*Lactuca sativa* L.) var. *crispa* under cover, the total area of the trial was 24 m², a randomized complete block design was used with two treatments and three replications with 5% DMS test. The following parameters were evaluated: plant height, leaf width, leaf length, number of leaves, root length, plant weight at 15 days, 30 days and at harvest (40 days), the yield per net plot and per hectare, and the benefit-cost ratio were calculated. It was determined that treatment T1 (hydroponic system) got the greatest plant height at 15, 30 days and at harvest with 23.50 cm; 31.08 cm and 34.55 cm respectively. The largest leaf width was obtained by T1 at 15 days, 30 days and at harvest with 5.57 cm; 7.44 cm and 7.84 cm respectively. The longest leaf length was obtained by T1 at 15 days, 30 days and at harvest (40 days) with 10.68 cm; 13.71 cm and 14.44 cm respectively. The highest number of leaves reached by T1 at 15 days, 30 days and at harvest with 10.37, 16.47 and 18.7 leaves respectively, the highest root length reached by T2 (aeroponic system) at 15 days, 30 days and at harvest with 9.88 cm, 10.37 cm and 10.91 cm respectively. T1 got the highest plant weight at harvest with 32.31 g, the highest yield with 4094.53 kg/ha, and the highest benefit-cost ratio of 3.80 dollars, which corresponds to 280.12% profitability. The treatment T1 by means of the evaluations carried out overcame in almost all the variables to the treatment T2 (aeroponic system), it was determined that it is the best treatment for the production of lettuce (*Lactuca sativa* L.) var. *Crispa* in Francisco de Orellana canton.

Key words: <AGRONOMY>, <AEROPONIC SYSTEM>, <HYDROPONIC SYSTEM>, <LETTUCE (*Lactuca sativa* L.) var. *Crispa*>

INTRODUCCIÓN.

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa es la hortaliza más importante del grupo de los vegetales de hoja que se consumen crudos, ésta planta proviene de la India y de Asia Central. En 1565 se inició el cultivo en América, se puede cultivar durante todo el año en lugares templados o fríos, al aire libre o bajo invernadero (HydroEnviroment, 2020).

El cultivo en aeroponía es una técnica que consiste en cultivar diferentes plantas en un entorno con alta humedad, un ejemplo de esto es el sistema en mesa el cual es una estructura cerrada o semi-cerrada donde las plantas se sostienen en canastillas con solución nutritiva, la cual es suministrada por medio de un sistema de riego por aspersión, nebulización o goteo, por lo que las raíces se encuentran hidratadas, en contacto con el aire y los nutrientes todo el tiempo (HydroEnviroment, 2020).

Hidroponía es un sistema de producción en el cual las raíces de las plantas no se encuentran establecidas en el suelo, sino en un sustrato o en la misma solución nutritiva utilizada. En la solución nutritiva se encuentran disueltos los elementos necesarios para el crecimiento de la planta (INTAGRI S.C. 2001).

En el cantón Francisco de Orellana se realizó una encuesta a los pobladores que consumen lechuga en el sector y se determinó que existe una gran demanda de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa, se ve la necesidad de cultivar esta especie, pero el clima no es favorable para cultivar en suelo ya que no permitiría obtener un producto de buena calidad, por lo cual una alternativa sería cultivar esta hortaliza en los sistemas aropónicos e hidropónicos bajo cubierta, lo que permitirá que esta especie se desarrolle óptimamente y obtener un producto de buena calidad.

En el cantón Francisco de Orellana existe una gran demanda de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa por parte de la población, sin embargo, supermercados y otros establecimientos no abastecen la demanda.

La producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa se ve limitada en el cantón Francisco de Orellana, debido a que las condiciones climáticas no son favorables para este cultivar en suelo ya que presenta un clima tropical, cálido húmedo con temperaturas promedio de 26° C y un rango de precipitación entre 2800 a 4500 mm al año, (Orellana, n.d.). Los requerimientos del cultivo de lechuga se encuentran entre 1200 a 1500

milímetros de precipitación anual, y temperaturas diurnas de 15-18 °C y nocturnas de entre 3 y 8 °C. Suquilanda M, 2003 citado en (León, 2015).

Por las condiciones climáticas mencionadas anteriormente en el cantón Francisco de Orellana no se puede obtener una producción de lechuga de excelente calidad, por lo que se propone evaluar dos métodos de producción aeropónico e hidropónicos en lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa bajo cubierta y determinar mediante un análisis de varianza cuál de los dos métodos evaluados es el mejor para obtener una óptima producción y mayor rentabilidad.

En este trabajo de titulación presenta como objetivos evaluar dos sistemas de producción aeropónico e hidropónicos en lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa bajo cubierta, ubicado en el cantón Francisco de Orellana, así como también, determinar el mejor sistema de producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa, bajo cubierta, además realizar el análisis económico de los tratamientos en estudio mediante la relación beneficio costo.

Las hipótesis planteadas en el trabajo de investigación son: hipótesis nula, la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa no difiere en ninguno de los dos sistemas de producción y como hipótesis alterna, la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa difiere en uno de los dos sistemas de producción.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.

1.1 Cultivo en Aeroponía.

Aeroponía es uno de las más recientes y prometedoras fuentes de investigación, en el sector de los cultivos hortícolas y florales en ambiente protegido. Se trata de una técnica de cultivo muy avanzada, para cultivar vegetales sin suelo. Aplicada racionalmente, permite obtener mayores incrementos cuantitativos y cualitativos de producción. Se producen sensibles reducciones en el uso de mano de obra, fertilizantes y agua, y sobre todo, una drástica reducción en los consumos energéticos de los cultivos en invernadero (InfoAgro, n.d.).

En el interior de unas canaletas y en un extremo, se colocan los goteros que hacen circular la solución nutritiva, para alimentar las plantas por las raíces, las cuales no se encuentran inmersas en ningún sustrato. En un extremo se coloca también un pequeño microspersor, para oxigenar el agua. En el otro extremo, se encuentra el tubo de drenaje, para volver a llevar la solución a la cisterna inicial (InfoAgro, n.d.).

La canaleta se cierra en su parte superior, donde están instaladas las plantas con las raíces al aire, mediante una placa de poliestireno expandido blanco, dotado en su parte interna de una funda de material plástico (InfoAgro, n.d.).

1.1.1 *Ventajas del cultivo en aeroponía*

Con la técnica de aeroponía, las funciones de soporte y abastecimiento de agua y elementos nutritivos, normalmente desempeñadas por el terreno, vienen cumplidas mediante porta plantas, generalmente de material plástico, y soluciones nutritivas de sales minerales (InfoAgro, n.d.).

Se puede variar a voluntad, la posición del plano de cultivo, con el fin de utilizar racionalmente las superficies cubiertas disponibles. La fertilidad del terreno no importa, y se pueden evitar las operaciones relacionadas con ello. Es posible también, ajustar todos los parámetros nutritivos, concentración de los nutrientes, pH, temperatura, etc., para obtener los mejores resultados (InfoAgro, n.d.).

El sistema de solución nutritiva reciclada, permite evitar los graves problemas de contaminación medio ambiental, debidos al desprendimiento de la solución nutritiva utilizada en el terreno y al derroche de agua, vinculado a los métodos actualmente más utilizados (InfoAgro, n.d.).

Este sistema permite también una drástica reducción en los tratamientos fitosanitarios. Resulta interesante el uso de microorganismos no patógenos en la solución nutritiva. Su acción se explica tanto desde el punto de vista de la competencia alimentaria sobre los patógenos, así como desde el punto de vista de la producción de antibióticos. Junto a tales mecanismos directos, también existen importantes efectos estimulantes en la planta; la presencia de estos microorganismos induce en la misma planta, a la producción de sustancias importantes para su autodefensa (InfoAgro, n.d.).

1.1.2 Automatización.

Esta técnica de cultivo se puede aplicar en gran cantidad de plantas hortícolas, como tomate, pimiento, pepino, calabacín, lechuga, etc., y en gran cantidad de flores como clavel, crisantemo, rosa, etc (InfoAgro, n.d.).

El elemento más innovador de este sistema, reside en el hecho de que viene completamente controlado por ordenador. Dicho programa informático, es fabricado por las mismas empresas que diseñan este sistema de cultivo, tanto el hardware como el software (InfoAgro, n.d.).

La gestión íntegra e informatizada de los factores climáticos, puede generar ahorros energéticos y de mano de obra en torno al treinta por ciento. Sin embargo el sistema informático, tiene que ser sumamente simplificado, para poder ser utilizado por todos los operarios agrícolas (InfoAgro, n.d.).

El sistema gestiona el ambiente del invernadero, interviniendo en parámetros ambientales como temperatura, luminosidad, humedad, dióxido de carbono, etc., así como diversos parámetros de la planta como conductividad, pH, y temperatura de las soluciones nutritivas, interviniendo en los correspondientes automatismos para modificar estos parámetros (InfoAgro, n.d.).

Por otra parte, el sistema informático recoge todos los datos estadísticos en tiempo real, realizando gráficos y tablas de fácil consulta, y manteniendo un archivo histórico de todo el cultivo (InfoAgro, n.d.).

Las nuevas estrategias estructurales y de procedimiento de este sistema de cultivo, hace que se puedan diseñar y proponer en términos nuevos, la gestión de los cultivos en otro ambiente fuera del suelo y en ambientes protegidos (InfoAgro, n.d.).

1.1.3 Limitaciones y desventajas.

- Depende mucho de la disponibilidad de energía eléctrica. Cortes de energía por periodos prolongados pueden conllevar a la pérdida total del ciclo de producción.
- Se requiere personal con entrenamiento especializado.
- Como cualquier tecnología nueva, presenta varias incógnitas que deben ser resueltas con la investigación.
- Algunos materiales/equipos no se encuentran disponibles en algunos países.
- Cualquier patógeno radicular se diseminará rápidamente al resto de los cajones.
- La aeroponía no funciona bien en ambientes calientes, a no ser que se acondicionen costosos equipos de refrigeración, lo que aumentaría los costos de producción.

(Andrade *et al.*, 2015).

1.1.4 Factores a considerar antes de empezar con la aeroponía.

1.1.4.1 El invernadero.

Una estructura normal de invernadero, con una inversión mínima para el control climático interno, debe ser suficiente para proporcionar un ambiente seguro para la producción de papa. Esto nos permitirá mantener nuestros costos de producción tan bajos como sea posible. Este ambiente debe proteger a nuestras plantas de pestes y condiciones climáticas adversas (Andrade *et al.*, 2015).

1.1.4.2 Elementos básicos.

La infraestructura convencional de invernaderos para producción de semilla de papa es usualmente muy baja. En aeroponía necesitamos explotar el espacio vertical del invernadero. Tanto el follaje como el sistema radicular desarrollan mucho más en

aeroponía que con el sustrato convencional. Usualmente, un factor climático limitante dentro del invernadero es el calor. Así, invernaderos con techos bajos son más calientes que invernaderos con techos altos (Andrade *et al.*, 2015).

La orientación del invernadero es también importante para evitar el calor durante el día. Normalmente, los invernaderos con orientación este-oeste son más frescos que los que tienen orientación norte-sur. Los invernaderos sin techo (solo con malla) han probado ser inadecuados para aeroponía (Andrade *et al.*, 2015).

Hay que tomar precauciones si sólo existe una malla antiáfida como techo, porque en ella se puede acumular polvo con esporas de patógenos que con la lluvia se pueden lavar e ir hacia los cajones, contaminando eventualmente a las plantas. El terreno asignado para la construcción del invernadero debe estar adecuadamente nivelado y no debe estar rodeado de árboles ni otros cultivos, especialmente solanáceos. El ambiente debe estar provisto de servicios de agua y electricidad (Andrade *et al.*, 2015).

1.2 Cultivo en hidroponía.

Hidroponía, es un conjunto de técnicas que permite el cultivo de plantas en un medio libre de suelo. 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, etc. A partir de este concepto se desarrollaron técnicas que se apoyan en sustratos (medios que sostienen a la planta), o en sistemas con aportes de soluciones de nutrientes estáticos o circulantes, sin perder de vistas las necesidades de la planta como la temperatura, humedad, agua y nutrientes. 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 (Beltrano & Gimenez, 2015).

Hidroponía es una herramienta que permite el cultivo de plantas sin suelo, es decir sin tierra. Un cultivo hidropónico es un sistema aislado del suelo, utilizado para cultivar plantas cuyo crecimiento es posible gracias al suministro adecuado de los requerimientos hídricos nutricionales, a través del agua y solución nutritiva. Con la técnica de cultivo sin suelo es posible obtener hortalizas de excelente calidad y sanidad, permitiendo un uso más eficiente del agua y los nutrientes. Basados en la experiencia, los rendimientos por

unidad de área cultivada son altos debido a una mayor densidad, mayor productividad por planta y eficiencia en el uso de los recursos agua, luz y nutrientes (Beltrano & Gimenez, 2015).

No es una metodología moderna para el cultivo de plantas, sino una técnica ancestral; en la antigüedad hubo culturas y civilizaciones que utilizaron esta metodología como medio de subsistencia. Generalmente asociamos esta forma de cultivo con grandes invernaderos para el cultivo de plantas y el empleo de la más compleja tecnología; sin embargo, los orígenes de la hidroponía fueron muy simples en su implementación. El desarrollo actual de la técnica de los cultivos hidropónicos, está basada en la utilización de mínimo espacio, mínimo consumo de agua y máxima producción y calidad (Beltrano & Gimenez, 2015).

1.2.1 *La nutrición de los vegetales y los cultivos hidropónicos.*

El origen de las soluciones nutritivas tiene sus antecedentes históricos en cultivos en agua desarrollados por el irlandés Robert Boyle en el año 1665. Otros avances significativos a la hidroponía fueron desarrollados en el s.XIX por autores como Sprengel, Leibig, Sachs y Knop. Carl. S. Sprengel (1787-1859) y A. F. Wiegman (1771-1853), profundizaron las investigaciones, sobre la nutrición de las plantas, al publicar los resultados de sus investigaciones definen los 15 elementos químicos necesarios para el desarrollo de vegetales y comprobaron que aunque un suelo tuviese los minerales necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas, el sistema podía ser improductivo, si faltaba algún elemento esencial, o si este se encontraba presente en muy baja cantidad (Beltrano & Gimenez, 2015).

En 1860 el profesor Julius Von Sachs publicó la primera fórmula estándar para una solución de nutrientes que podría disolverse en agua y en la que podrían crecer plantas con éxito. Esto marcó el fin de la larga búsqueda del origen de los nutrientes vitales para las plantas, dando origen a la "Nutricultura". Técnicas similares se utilizan actualmente en estudios de laboratorios de fisiología y nutrición de plantas. El término "hidroponía" fue acuñado 1929, donde William F. Gericke, profesor de la Universidad de California, Davis, define el proceso como "agua que trabaja". Gericke publicó sus trabajos en 1940 como una técnica casi comercial y aparentemente acuñó la palabra de hidropónico para designarlos (Beltrano & Gimenez, 2015).

En 1948 Withrow y Withrow, de la Universidad de Purdue, y describen lo que llamaron *nutriculture*: 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 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 nickel. En años siguientes, numerosos investigadores desarrollaron fórmulas básicas diversas para el estudio de la nutrición de las plantas (Beltrano & Gimenez, 2015).

En resumen, la hidroponía es un método de cultivar plantas sin la necesidad de suelo agrícola proveyéndole a la planta los nutrientes esenciales o necesarios, para que esta lleve a cabo completamente su ciclo de vida, a través de lo que se conoce como una Solución Nutritiva y/o un medio, bajo condiciones controladas. Perez-Melian (1977) citado en (Beltrano & Gimenez, 2015) menciona que una solución nutritiva es una solución acuosa que contiene oxígeno y todos los nutrientes disueltos. Los nutrientes pueden ser aportados por sales o fertilizantes comerciales. Los iones en solución guardan una relación que está marcada por factores de tipo químico y fisiológico, en función de las necesidades nutritivas de un determinado cultivo.

1.2.2 Distinción entre sistemas hidropónicos.

1.2.2.1 Cultivos sin sustrato.

Donde se realiza el cultivo sin sustrato (técnica de la solución nutritiva recirculante (NFT), aeroponía), donde “los nutrientes están disueltos en agua los cuales son llevados en contacto con las raíces directamente. En este sistema el agua es 18 aireada o se permite que las raíces y la solución estén en contacto con el aire. En esta técnica se provee soporte a la planta mediante enganches o cables metálicos. Algunos ejemplos de este tipo de sistema hidropónico son “NFT o Nutrient Film Technique”, “Tanque nutritivo”, “Mist System” entre otros.

1.2.3 Ventajas de los cultivos hidropónicos.

Un cultivo hidropónico consume una cantidad mucho menor de agua que un cultivo en tierra, ya que en el cultivo en tierra el 80 % del riego se infiltra a las capas inferiores del terreno y otro porcentaje del riego se evapora; mientras que en un cultivo hidropónico se evita totalmente la infiltración del agua, así como gran parte de la evapotranspiración, ya que el cultivo se realiza en general en locales cerrados, con humedad relativa elevada. Al cultivar por hidroponía, se obtienen cultivos con mejor sanidad y calidad. Es por esto que es tan importante trabajar sobre un sustrato desinfectado, ya que la hidroponía nos da la oportunidad de trabajar sobre un medio estéril, lo cual es valorado por los consumidores. El producto hidropónico se coloca muy bien en cualquier mercado gracias a sus características distintas como color, sabor y tamaño, además de mayor vida en anaquel.

- Cultivos libres de parásitos, bacterias, hongos y contaminación.
- Reducción de costos de producción.
- Independencia de los fenómenos meteorológicos.
- Permite producir cosechas en contra estación Menos espacio y capital para una mayor producción.
- Ahorro de agua, que se puede reciclar.
- Ahorro de fertilizantes e insecticidas.
- Se evita la maquinaria agrícola (tractores, rastras, etcétera).
- Limpieza e higiene en el manejo del cultivo.
- Mayor precocidad de los cultivos.
- Alto porcentaje de automatización.
- Mejor y mayor calidad del producto.
- Altos rendimientos por unidad de superficie
- Aceleramiento en el proceso de cultivo
- Posibilidad de cosechar repetidamente la misma especie de planta al año
- Ahorro en el consumo del agua
- Productos libres de químicos no nutrientes.

Una de las ventajas que tiene la hidroponía sobre el cultivo en tierra es que permite una mayor concentración de plantas por metro cuadrado. Esto es muy notorio cuando

cultivamos plantas como por ejemplo fresas y lechugas, así como también al cultivar forraje hidropónico (Beltrano & Gimenez, 2015).

Existe un control sobre la nutrición vegetal gracias al uso de soluciones nutritivas; permitiendo obtener un fruto estandarizado, de mejor tamaño y calidad. En muchos casos, el tiempo de desarrollo de la planta se acorta, como por ejemplo, en las lechugas, donde en tierra su ciclo antes del consumo es de aprox. 3.5 meses, cuando en hidroponía, en la técnica hidropónica de raíz flotante las podemos cultivar en tan solo 1.5 meses a partir de su germinación (Beltrano & Gimenez, 2015).

1.2.4 *Desventajas del cultivo hidropónico sobre los cultivos en tierra.*

La hidroponía cuenta con algunas desventajas que son casi imperceptibles como el costo inicial el cual resulta algo elevado, y la idea que se requiere un conocimiento mayor para llevar adelante la producción, sin embargo esto es discutible, ya que cualquier persona lo puede hacer ya sea un ama de casa, un niño o un físico matemáticos (Beltrano & Gimenez, 2015).

1.3 Soluciones nutritivas.

Steiner (1968) citado en (Benavides, 2006) menciona que una solución nutritiva (SN) consta de agua con oxígeno y de todos los nutrimentos esenciales en forma única y, eventualmente, de algunos compuestos orgánicos tales como los quelatos de fierro 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 de coincidir con las que se determinen mediante el análisis químico correspondiente (Steiner, 1961) citado en (Benavides, 2006).

La selección de elementos nutritivos de una SN universal al momento de la absorción por la planta, se puede explicar desde un punto de vista fisiológico, al no variar el equilibrio único de la SN durante el ciclo de cultivo; sin embargo, en una producción comercial, la nutrición de los cultivos debe tomar en cuenta aspectos técnicos y económicos. Desde un punto de vista técnico, para que las plantas puedan obtener los máximos rendimientos, la SN debe cubrir sus requerimientos nutrimentales, de tal manera que se eviten deficiencias o el consumo en exceso (Benavides, 2006).

1.3.1 *El pH de la solución nutritiva.*

El pH apropiado de la SN para el desarrollo de los cultivos se encuentra entre los valores 5.5 y 6.5; sin embargo, el pH de la SN no es estático, ya que depende del CO₂ en el ambiente, de que la SN se encuentre en un contenedor cubierto o descubierto, del ritmo de absorción nutrimental, de la fuente nitrogenada utilizada, etc. Así, por ejemplo, la SN de Steiner contiene solamente N-NO₃⁻, el cual ocasiona un pH fisiológicamente alcalino; a medida que las plantas absorben el N-NO₃⁻, la SN tiende a alcalinizarse, debido a que a la absorción del N-NO₃⁻ la acompaña una liberación de HCO₃⁻ u OH⁻. Cuando se adiciona el N-NH₄⁺ el pH se amortigua, ya que al absorberlo el N-NH₄⁺, al H⁺ lo liberan las raíces y la SN se acidifica (Benavides, 2006).

De Rijck y Schrevens (1998); Amiri y Sattary (2004) citado en (Benavides, 2006) nos indica que el pH de la SN se controla con el fin de neutralizar la presencia de los bicarbonatos en el agua de riego, ya que estos iones producen un elevado pH, y un alto contenido de ellos en la zona radical provoca la inmovilización del P, Mn y Fe (Rincón (1997) citado en (Benavides, 2006); además, con un alto pH en la SN, el Ca y el Mg pueden precipitar con el HPO₄.

1.3.2 *Temperatura de la solución nutritiva.*

Cornillon (1988) citado en (Benavides, 2006) menciona que la temperatura de la solución nutritiva (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 hace.

La baja temperatura de la solución nutritiva (SN) tiene mayor efecto en la absorción de fósforo que en la de nitrógeno y agua (Adams, 1994) citado en (Benavides, 2006). Con temperaturas menores a 15 °C se presentan deficiencias principalmente de calcio, fósforo y hierro (Moorby y Graves, 1980) citado en (Benavides, 2006).

La baja temperatura favorece la deficiencia de calcio y la incidencia de pudrición apical de los frutos. Una de las causas de menor absorción de algunos nutrimentos cuando la temperatura de la solución nutritiva (SN) es baja, se debe a que en esas condiciones la endodermis de la raíz se suberiza, con lo cual se reduce la permeabilidad y disminuye la absorción de agua y nutrimentos (Graves, 1983) citado en (Benavides, 2006).

1.4 Lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. *crispa*.

El origen de la lechuga se encuentra en la cuenca del Mediterráneo en la costa meridional. Hay quienes afirman que es originaria de la India o de Asia Central. La lechuga aparece en las tumbas egipcias a manera de pinturas que datan del año 4500 A.C. (Montesdeoca, 2009).

Fue introducida a China en los años 600 a 900 D.C. Posiblemente en el Nuevo Mundo fue introducida con los primeros exploradores y cultivada inicialmente en el área del Caribe. Se acepta que las lechugas conocidas actualmente se derivaron de *Lactuca serriola*, pero se cree que ocurrieron hibridaciones entre distintas especies y un proceso evolutivo que dio origen a la lechuga actual (Montesdeoca, 2009).

Es una planta anual, propia de las regiones semitempladas, perteneciente a la familia de las Compositae, se cultiva con fines alimentarios. Debido a las muchas variedades que existen, y a su cultivo cada vez mayor en invernaderos, se puede consumir durante todo el año (EcuRed, n.d.).

1.4.1 Clasificación botánica.

Suquilanda, M. 2003, citado en León (2015), describe con detalle la clasificación científica de la especie en estudio.

Reino	Vegetal
División	Macrophyllophita
Subdivisión	Magnoliophytina
Clase	Paenopsida
Orden	Asterales
Familia	Astereaceae
Género	Lactuca
Especie	Sativa
Nombre científico	<i>Lactuca sativa</i> L. var. <i>crispa</i>
Nombre común	Lechuga

1.4.2 Características morfológicas.

Suquilanda M, 2003, citado en León (2015), cita a para detallar las características morfológicas de la lechuga.

1.4.2.1 *Raíz.*

La raíz de la lechuga es de tipo pivotante, pudiendo llegar a medir hasta 30 cm. Esta hortaliza posee un sistema radicular bien desarrollado, estando de acuerdo la ramificación a la compactación del suelo; así un suelo suelto tendrá lechugas con un sistema radicular más denso y profundo que un suelo compacto.

1.4.2.2 *Tallo.*

En el tallo de la lechuga hay un jugo lechoso al interior, que da el nombre del género *Lactuca* al cual pertenece la lechuga, que viene de la palabra latina *lac*, que se refiere a dicho jugo.

1.4.2.3 *Hojas.*

Sus hojas numerosas y grandes en densa roseta (hojas caulineas alternas, más pequeñas). Además, son ovales, oblongas, brillantes y opacas, dependiendo del tipo y variedad.

1.4.2.4 *Flores.*

Las flores de la lechuga son amarillas y los granos alargados, con una fisura longitudinal blanca, negra o rojiza. Las flores de la lechuga se auto polinizan. En la lechuga también es posible de la polinización cruzada.

1.4.2.5 *Semillas.*

Las semillas de lechuga son largas (4-5 mm), su color generalmente es blanco crema, aunque también las hay pardas y castañas. Se estima que en 1 gramo de semillas de lechuga existen entre 1000 a 1200 semillas. Para inducir su germinación se puede utilizar temperaturas ligeramente elevadas de 20 a 30°C.

1.4.3 *Requerimientos climáticos y edáficos.*

León (2015) cita a Suquilanda M, 2003 para describir el clima requerido para la producción de la lechuga.

1.4.3.1 *Temperatura.*

Las temperaturas frías con poca humedad y una adecuada irrigación son un ambiente ideal para lechuga. La firmeza del color de las variedades de las lechugas rojas depende especialmente de la variable frío-seco. Las numerosas variedades están en los diferentes climas y estaciones más la lechuga prefiere un clima fresco, ante que un clima caluroso. El mejor crecimiento es en temperaturas diurnas de 15-18 °C y nocturnas de entre 3 y 8 °C. Si las temperaturas son altas, aceleran el crecimiento del tallo floral y la calidad de la lechuga disminuye rápidamente, debido a una acumulación de látex amargo en su sistema vascular.

1.4.3.2 *Luminosidad.*

La lechuga es una planta anual que bajo condiciones de fotoperíodo largo (más de 12 horas-luz) acompañado de altas temperaturas (más de 26 °C) emite su tallo floral, el cultivo de lechuga exige mucha luz. La productividad del cultivo de las lechugas, así como su color, sabor y textura, depende en gran parte de una alta luminosidad solar. Por esta razón la ubicación de nuestro país es óptima para este tipo de cultivo especialmente en los pequeños valles interandinos.

1.4.3.3 *Precipitación.*

El cultivo requiere precipitaciones que fluctúen entre los 1200 a 1500 milímetro anuales, necesitando entre 250 a 350 mm durante su periodo vegetativo. El exceso de la humedad de campo es perjudicial para este tipo de cultivo pues favorece la proliferación de las enfermedades fungosas y bacterianas.

1.4.3.4 *Humedad Relativa.*

La falta de humedad reduce el crecimiento de las plantas y desmejora significativamente la calidad de la producción. Se considera que el nivel de humedad más adecuado para una buena producción de lechugas es de 68 a 70% de la capacidad total de campo (En términos de humedad en el suelo).

1.4.3.5 *Suelo y Altitud.*

Las lechugas se desarrollan bien entre los 1800 a 2800 m.s.n.m. el cultivo de lechuga prefiere suelos compactos. Un suelo rico en materia orgánica al retener agua y presentar buen drenaje, favorece al sistema radicular reducido de la lechuga y así puede suplir la demanda de altos volúmenes de agua por parte del cultivo. Los suelos de texturas franco arcillosas y franco arenosas son los mejores, siendo el pH más apropiado entre 5.2 y 5.8 en suelos orgánicos y de 5.5 a 6.7 en suelos de origen mineral.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO.

2.1 Características del lugar.

2.1.1 Localización.

El presente trabajo de investigación se realizó en el cantón Francisco de Orellana.

Los límites del cantón Francisco de Orellana son: al Norte con el cantón La Joya de los Sachas y la Provincia de Sucumbíos, al Sur con las Provincias Pastaza y Napo, al Este con el cantón Aguarico y al Oeste con el cantón Loreto y la Provincia de Napo (Orellana, n.d.).

2.1.2 Ubicación geográfica.

Latitud: 0°27'59"

Longitud: 76°59'13"

2.1.3 Altura.

Se encuentra a una altura de 254 m.s.n.m.

2.1.4 Condiciones climáticas.

El cantón Francisco de Orellana se caracteriza por presentar un clima tropical, cálido húmedo con temperaturas promedio de 26° C. Los niveles de precipitación en promedio va de 2800 a 4500 mm al año, siendo mayo y junio los meses con mayor pluviosidad y los meses menos lluviosos agosto, septiembre y octubre (Orellana, n.d.).

2.2 Materiales y equipos.

2.2.1 Materiales de oficina.

Computadora, programa Microsoft Word, programa Microsoft Excel, programa InfoStat, calculadora.

2.2.2 Materiales de laboratorio.

Balanza, potenciómetro, conductímetro.

2.2.3 Materiales de campo.

Libreta de campo, cámara, Techo translucido, Hoyadora, tablonces, tanques de 200 lts, Tubos pvc de 90 mm, Tubos pvc de 2 plg. de 8m, Tubos pvc de 1 plg. 6 m, Conectores de 24 pares, Mangueras de 0,5 plg, Nebulizadores, Sarán negro al 60%, planchas de espuma flex (1x2) m, Plástico negro, Caja de tachuelas (1000 unidades), Baso térmicos de 2,5 onzas, Taladro de 2 plg, Motores de 0,5 pH, 1 pega tubo, 1 ventilador.

2.3 Metodología.

2.3.1 Fase de campo.

2.3.1.1 Instalación de modulares bajo la cubierta.

- Se colocaron 4 soportes de madera de forma alineada y nivelada (hidroponía)
- Se colocó 12 tubos con sus orificios correspondientes
- Luego se colocaron los conectores en cada tapón con la manguera de presión
- Se colocó el mesón de (6x1) m para aeroponía
- Se instaló a cada modular hidroponía y aeroponía los motores con sus respectivas tuberías
- Se colocaron las mangueras con los nebulizadores (aeroponía)
- Se colocaron las 3 planchas de espuma flex con sus respectivos orificios (aeroponía)
- Después se colocaron los tanques de 200 litros para cada sistema (aeroponía e hidroponía).

2.3.1.2 Instalación del automatizador y sistema eléctrico.

- En primera instancia se colocaron los cables de 14 pareadas.
- Se colocaron 2 focos ahorradores
- Se instaló una toma corriente
- Se instaló un automatizador para programar los riegos.

2.3.1.3 Sistema Hidropónico.

- Con una broca de pomo de 2 plg se realizaron orificios en los tubos
- Se colocaron los tapones al tubo con pegamento para tubo
- Se realizaron orificios en los vasos de 2,5 onzas
- Se talló en madera un letrero para identificar el sistema.

2.3.1.4 *Sistema Aeropónico.*

- Se realizaron orificios en la plancha de espuma flex
- Se forraron las planchas de espuma flex con plantas
- También se hicieron orificios en los vasos de 2,5 onzas
- Se talló en madera un letrero para identificar el sistema.

2.3.1.5 *Áreas de estudio.*

El área de estudio se ubicó en el cantón Francisco de Orellana de la provincia Puerto Francisco de Orellana.

Los sistemas, aeropónico e hidropónico, tuvieron una superficie de 24 m² ubicados bajo invernadero, las paredes laterales fueron cubiertas con sarán negro para evitar vientos fuertes y controlar de manera óptima la temperatura. En cada sistema se instaló un tanque de 200 lts. donde se preparó las soluciones nutritivas.

2.3.2 *Manejo del ensayo.*

- Se prepararon soluciones nutritivas para los dos sistemas aeropónico e hidropónico, en tanques de 200 ltrs cada uno. Se midió el pH y conductividad de las soluciones nutritivas. Los riegos se realizaron todos los días durante la investigación hasta el momento de la cosecha.
- La planta de lechuga se colocó en cada uno de los dos sistemas aeropónico e hidropónico.
- Se realizaron evaluaciones se realizaron cada 15 días, 30 días y a la cosecha (40 días).
- La altura de las diez plantas marcadas al azar para su seguimiento se evaluó a los 15, 30 días después de colocado en el sistema y a la cosecha (40 días).
- El ancho de hoja de las diez plantas marcadas al azar para su seguimiento se evaluó a los 15, 30 días después de colocado en el sistema y a la cosecha (40 días).
- La longitud de hoja de las diez plantas marcadas al azar para su seguimiento se evaluó a los 15, 30 días después de colocado en el sistema y a la cosecha (40 días).
- El número de hojas de las diez plantas marcadas al azar para su seguimiento se evaluó a los 15, 30 días después de colocado en el sistema y a la cosecha (40 días).
- La longitud de raíz de las diez plantas marcadas al azar para su seguimiento se evaluó a los 15, 30 días después de colocado en el sistema y a la cosecha (40 días).

- A la cosecha (40 días), de las diez plantas marcadas al azar para su seguimiento se pesó hoja y raíz.

2.3.3 *Diseño experimental.*

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con dos tratamientos y tres repeticiones.

2.3.3.1 *Especificación de la parcela experimental*

Número de tratamientos	2
Número de repeticiones	3
Número de unidades experimentales	6

2.3.3.2 *Área del ensayo.*

Forma	Rectangular
Longitud	6 m
Ancho	4 m
Área del ensayo	24 m ²

2.3.3.3 *Esquema de análisis de varianza*

El esquema de análisis de varianza se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. Esquema de análisis de variancia (ADEVA o ANAVA).

Fuente de variación	Fórmula	gl
Repeticiones	(r-1)	2
Tratamientos	(t-1)	1
Error	(r-1)(t-1)	2
Total	(r x t)-1	5

Realizado por: Montero, 2020

2.3.3.4 *Análisis funcional*

- Se realizó la prueba de DMS al 5% cuando existió diferencias significativas entre tratamientos.
- Se determinó el Coeficiente de variación para cada una de las variables y se expresó en porcentaje.
- El análisis económico de los tratamientos se realizó mediante la relación beneficio costo.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Análisis de varianza para altura de planta a los 15 días después de colocado en los sistemas.

El análisis de varianza para altura de la planta a los 15 días, presentó diferencias significativas para tratamientos, con un coeficiente de variación del 5,53% (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de varianza para altura de planta a los 15 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sign.
Repetición	1,84	2	0,92	0,66	0,6035	ns
Tratamiento	28,38	1	28,38	20,26	0,0460	*
Error	2,80	2	1,40			
Total	33,03	5				

C.V. = 5,53%

Realizado por: Montero, 2020

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 *

p-valor < 0,05 y < 0,01 **

En la prueba DMS al 5% para altura de la planta a los 15 días después de colocado en los sistemas el T1 (Hidroponía) con una altura de 23,58 cm se ubicó en el grupo A, mientras que el T2 (Aeroponía) con una altura de 19,23 cm se encontró en el grupo B (Gráfico 1).

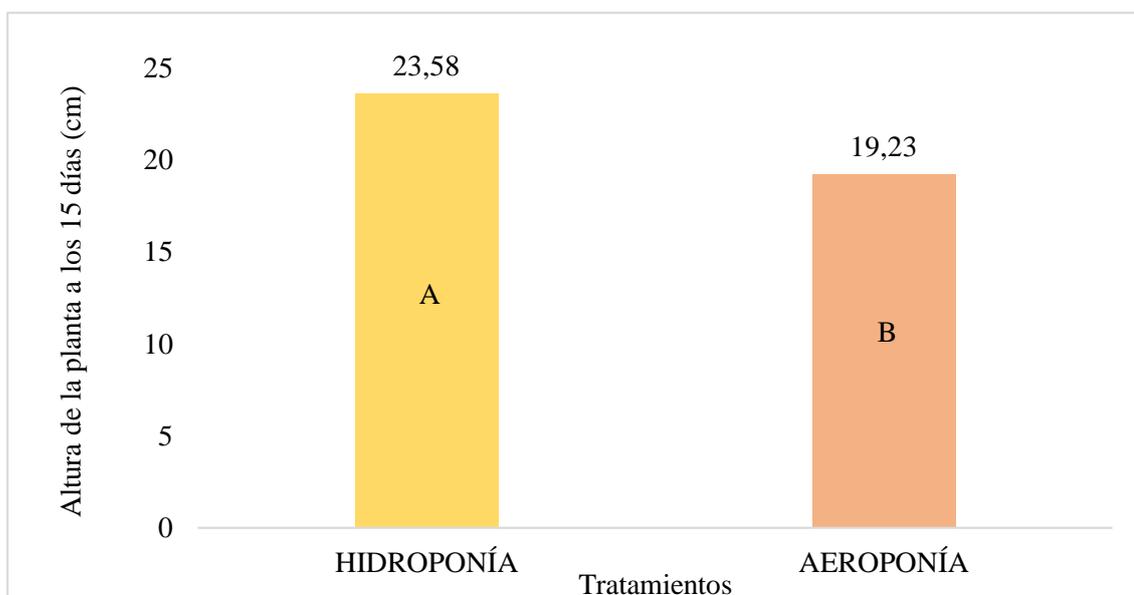


Gráfico 1. Altura de planta a los 15 días.

Realizado por: Montero, 2020

3.2 Análisis de varianza para altura de planta a los 30 días después de colocado en los sistemas.

El análisis de varianza para altura de la planta a los 30 días, presentó diferencias significativas para tratamientos, con un coeficiente de variación de 1,74% (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de varianza para altura de la planta a los 30 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sign.
Repetición	7,26	2	3,63	14,12	0,0661	ns
Tratamiento	23,40	1	23,40	91,01	0,0108	*
Error	0,51	2	0,26			
Toral	31,18	5				

C.V. = 1,74%

Realizado por: Montero, 2020

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 *

p-valor < 0,05 y < 0,01 **

En la prueba DMS al 5% para altura de la planta a los 30 días el T1 (Hidroponía) con una altura de 31,08 cm se ubicó en el grupo A, mientras que el T2 (Aeroponía) con una altura de 27,13 cm se encontró en el grupo B (Gráfico 2).

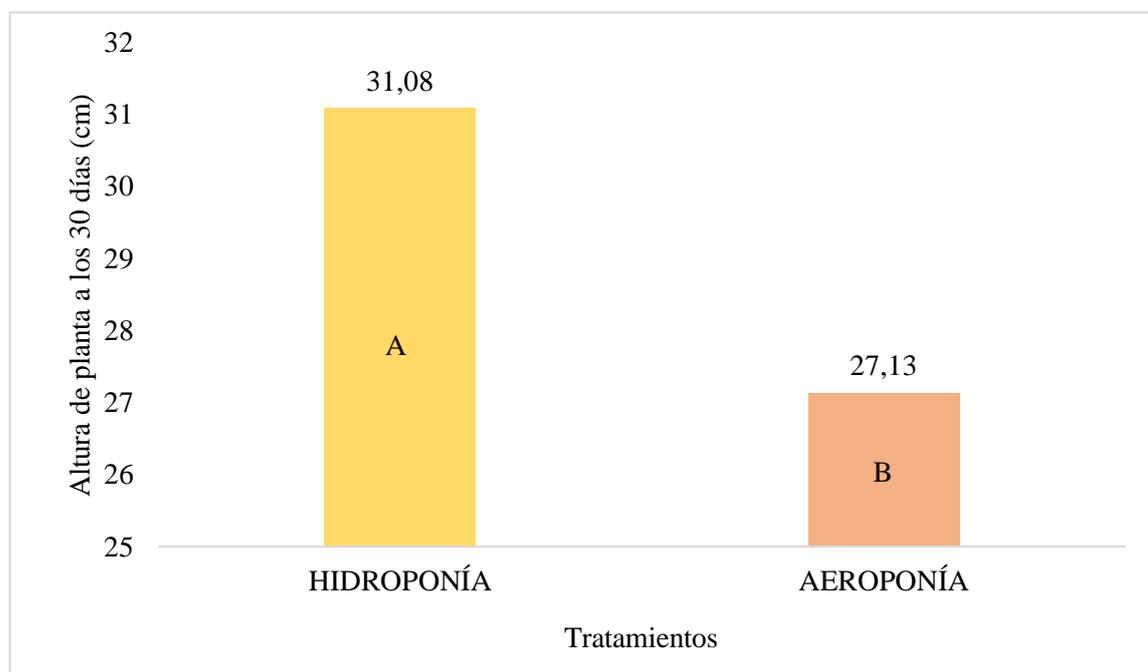


Gráfico 2. Altura de planta a los 30 días.

Realizado por: Montero, 2020

3.3 Análisis de varianza para altura de la planta a la cosecha (40 días después de colocado en los sistemas).

El análisis de varianza para altura de la planta a la cosecha, presentó diferencias altamente significativas para tratamientos, con un coeficiente de variación de 1,21% (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis de varianza para altura de la planta a la cosecha.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sign.
Repetición	1,65	2	0,82	5,80	0,1471	ns
Tratamiento	72,18	1	72,18	508,22	0,0020	**
Error	0,28	2	0,14			
Total	74,11	5				

C.V. = 1,21%

Realizado por: Montero, 2020

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 *

p-valor < 0,05 y < 0,01 **

En la prueba DMS al 5% para altura de la planta a la cosecha, el T1 (Hidroponía) con una altura de 34,55 cm se ubicó en el grupo A, mientras que el T2 (Aeroponía) con una altura de 27,61 cm se encontró en el grupo B (Gráfico 3).

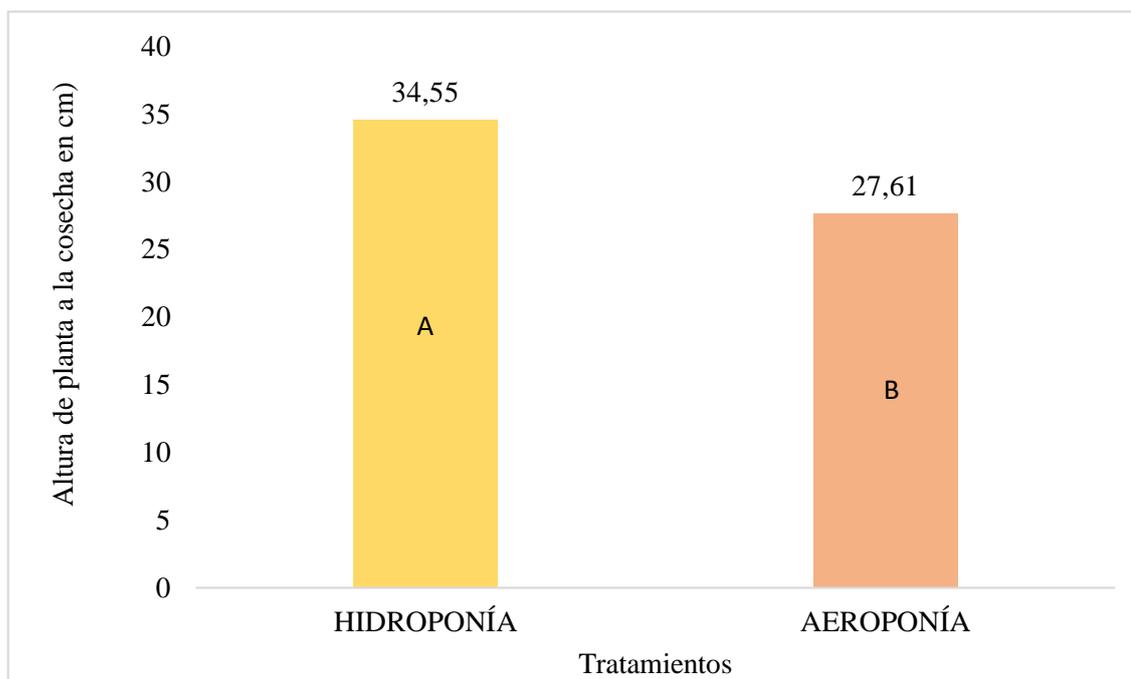


Gráfico 3. Altura de planta a la cosecha.

Realizado por: Montero, 2020

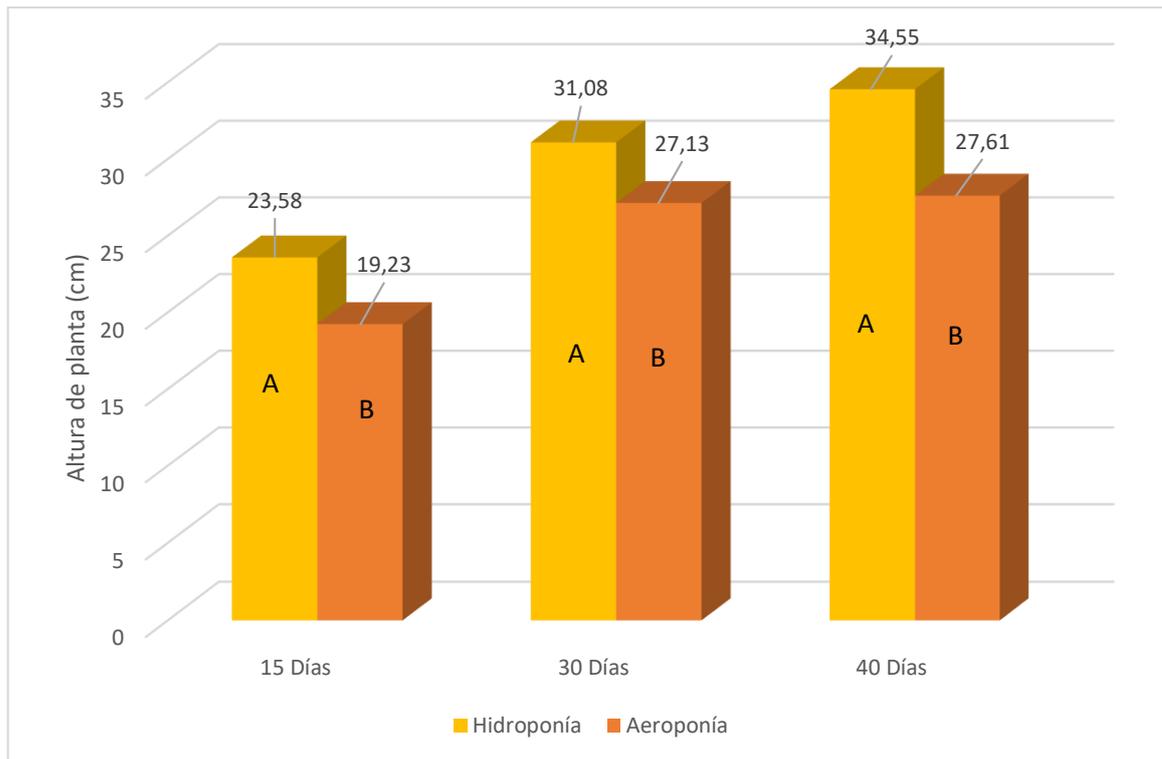


Gráfico 4. Curva altura de planta.

Realizado por: Montero, 2020

En el Gráfico 4. Podemos apreciar que las plantas colocadas en el sistema hidropónico supera en altura a las del sistema aeropónico a los 15 días, 30 días y a la cosecha (40 días), con valores que van desde 23,58 cm; 31,08 cm y 34,55 cm en el sistema hidropónico y de 19,23 cm; 27,13 cm y 27,61 cm en el sistema aeropónico.

La altura de planta en el sistema hidropónico (23,58) a los 15 días, supera a la altura de planta reportado por (Rogel, 2018), quien obtuvo una altura de 18,34 cm a los 15 días. En el sistema aeropónico la altura de planta a los 15 días fue de 19,23 cm, mayor al reportado por Solís, (2017) quien obtuvo una altura de 9,14 cm.

La altura de planta en el sistema hidropónico (31,08 cm) a los 30 días, supera a la altura de planta reportado por (Manzano, 2018), quien obtuvo una altura de 18,46 cm a los 32 días. En el sistema aeropónico la altura de planta a los 30 días, fue de 27,13 cm, mayor al reportado por Zepeda (2012), quien obtuvo una altura de 24,38 cm.

La altura de planta a la cosecha (40 días) fue de 34,55 cm, supera al reportado por (Manzano, 2018), quien obtuvo una altura de 19,51 cm a los 40 días. En el sistema aeropónico la altura de planta a la cosecha (40 días) fue de 27,61 cm, mayor al reportado por Escobar (2018), quien obtuvo una altura de 16,49 cm. en el tratamiento 2 (fertilizante foliar orgánico y variedad

2, Grand rapids o crespá).

La mayor altura de planta en el sistema hidropónico puede deberse a que sus raíces siempre se encontraban hidratadas facilitando la absorción de los nutrientes, a diferencia del sistema aeropónico en donde sus raíces se hidrataban cada 5 minutos durante 40 segundos, lo que posiblemente debido a la temperatura alta del ambiente de 27,1°C, causó estrés en las plantas afectando su crecimiento. Lo que concuerda con Urrestarazu, (2015) quién manifiesta que la temperatura óptima para el cultivo de lechuga es de 25°C.

3.4 Análisis de varianza para ancho de hoja a los 15 días después de colocado en los sistemas.

El análisis de varianza para el ancho de hoja a los 15 días, presentó diferencias significativas entre los tratamientos, con un coeficiente de variación del 8,85% (Tabla 5).

Tabla 5. Análisis de varianza de ancho de hoja a los 15 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sign.
Repetición	0,20	2	0,10	0,57	0,6369	ns
Tratamiento	4,52	1	4,52	26,12	0,0362	*
Error	0,35	2	0,17			
Total	5,07	5				

C.V.= 8,85%

Realizado por: Montero, 2020

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 *

p-valor < 0,05 y < 0,01 **

En la prueba DMS al 5% para ancho de hoja a los 15 días, el T1 (Hidroponía) con 5,57 cm se ubicó en el grupo A, mientras que el T2 (Aeroponía) con 3,84 cm se encontró en el grupo B (Gráfico 5).

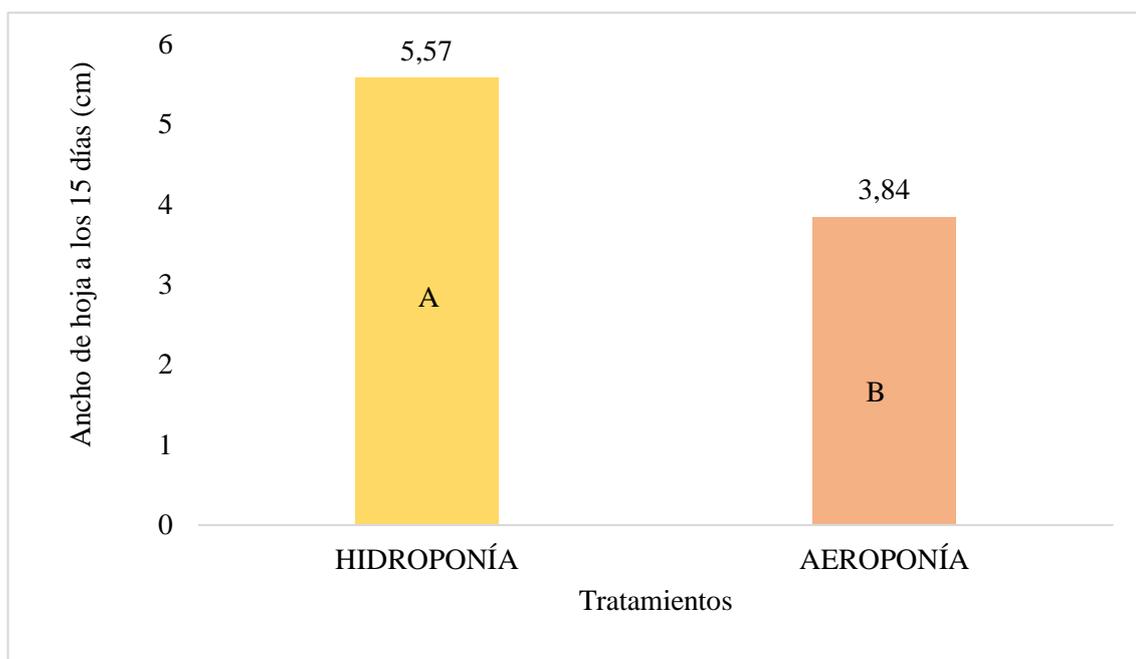


Gráfico 5. Ancho de hoja a los 15 días.

Realizado por: Montero, 2020

3.5 Análisis de varianza para ancho de hoja a los 30 días después de colocado en los sistemas.

El análisis de varianza para el ancho de hoja a los 30 días, presentó diferencias altamente significativas entre tratamientos, con un coeficiente de variación del 3,81% (Tabla 6).

Tabla 6. Análisis de varianza para el ancho de la hoja a los 30 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sign.
Repetición	0,17	2	0,08	1,45	0,4082	ns
Tratamiento	7,57	1	7,57	130,39	0,0076	**
Error	0,12	2	0,06			
Total	7,86	5				

C.V. = 3,81%

Realizado por: Montero, 2020

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 *

p-valor < 0,05 y < 0,01 **

En la prueba DMS al 5% para ancho de hoja a los 30 días, el T1 (Hidroponía) con 7,44 cm se ubicó en el grupo A, mientras que el T2 (Aeroponía) con 5,20 cm se encontró en el grupo B (Gráfico 6).

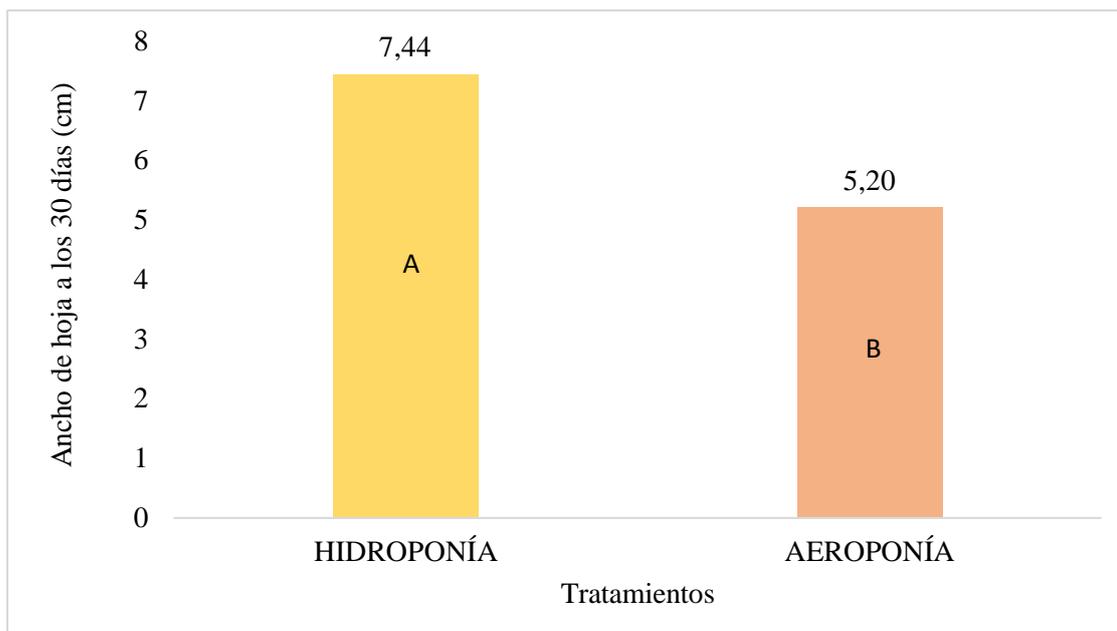


Gráfico 6. Ancho de hoja a los 30 días.

Realizado por: Montero, 2020

3.6 Análisis de varianza para ancho de hoja a la cosecha (40 días después de colocado en los sistemas).

El análisis de varianza para el ancho de hoja a la cosecha, presentó diferencias altamente significativas, con un coeficiente de variación del 3,69% (Tabla 7).

Tabla 7 Análisis de varianza para el ancho de hoja a la cosecha.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sign.
Repetición	0,01	2	0,01	0,12	0,8932	ns
Tratamiento	8,00	1	8,00	131,65	0,0075	**
Error	0,12	2	0,06			
Total	8,14	5				

C.V. = 3,69%

Realizado por: Montero, 2020

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 *

p-valor < 0,05 y < 0,01 **

En la prueba DMS al 5% para ancho de hoja a la cosecha, el T1 (Hidroponía) con 7,84 cm se ubicó en el grupo A, el T2 (Aeroponía) con 5,53 cm se encontró en el grupo B (Gráfico 7).

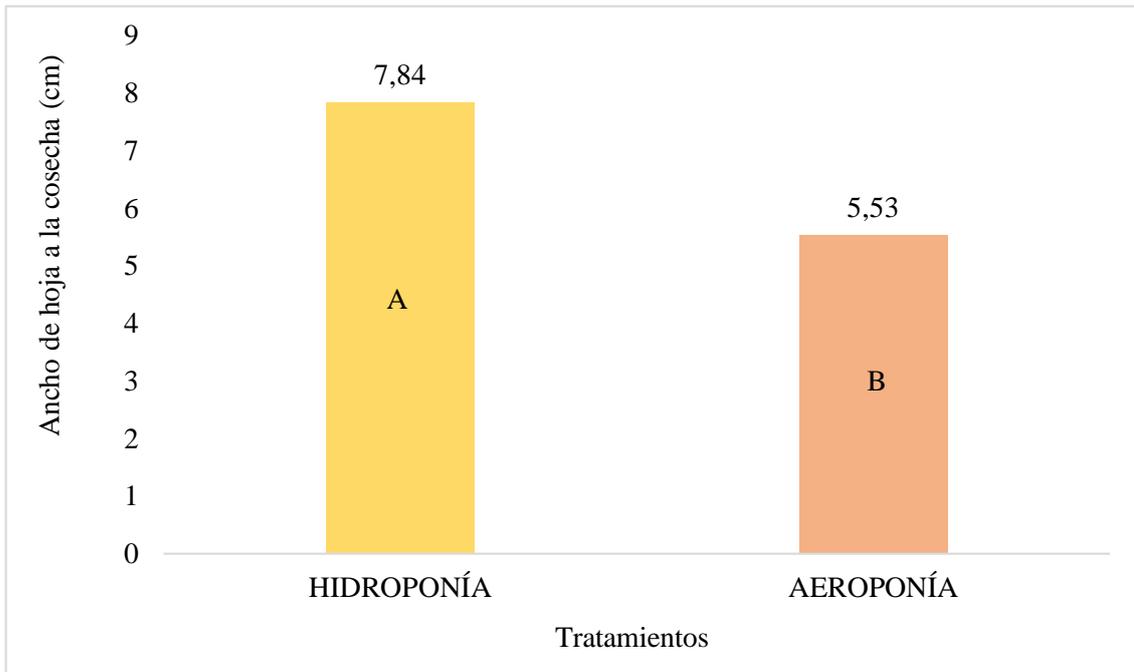


Gráfico 7. Ancho de hoja a la cosecha.
Realizado por: Montero, 2020

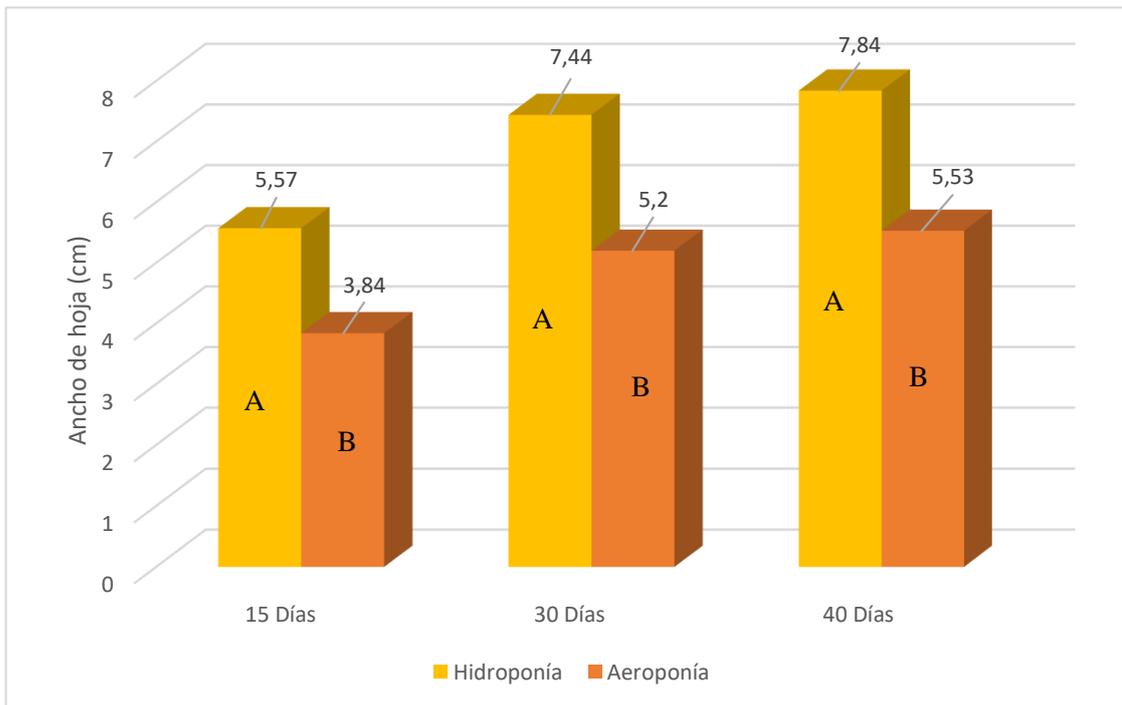


Gráfico 8. Curva ancho de hoja.
Realizado por: Montero, 2020

En el Gráfico 8. Podemos apreciar que las plantas colocadas en el sistema hidropónico supera en ancho de hoja a las plantas del sistema aeropónico a los 15, 30 días y a la cosecha (40 días), con valores que van desde 5,57 cm; 7,44 cm y 7,84 cm en el sistema hidropónico y de 3,84 cm; 5,2 cm y 5,53 cm en el sistema aeropónico.

El ancho de hoja en el sistema hidropónico fue de 5,57 cm a los 15 días, Solís, (2017) reporta valores inferiores con 3,13 cm. En el sistema aeropónico el ancho de hoja a los 15 días fue de 3,84 cm Solís, (2017) reporta valores inferiores con 3,02 cm.

El ancho de hoja en el sistema hidropónico fue de 7,44 cm a los 30 días, Cebada, *et al.*, (2016) reporta valores superiores con una media de 10,21 cm. En el sistema aeropónico el ancho de hoja 30 días, fue de 5,20 cm, Colón, (2017) reporta un valor más alto con 18,4 cm.

El ancho de hoja en el sistema hidropónico fue de 7,84 cm a la cosecha, Gutiérrez, (2014) reporta valores superiores con una media de 14,1 cm. En el sistema aeropónico el ancho de hoja a la cosecha fue de 5,53 cm, Colón, (2017) reporta valores superiores con 19,6 cm.

El mayor ancho de hoja en el sistema hidropónico puede deberse a que sus raíces siempre se encontraban hidratadas facilitando la absorción de los nutrientes, a diferencia del sistema aeropónico en donde sus raíces se hidrataban cada 5 minutos durante 40 segundos, posiblemente el rango de temperatura del ambiente que fue de 22 - 36 °C. afectó más a las plantas del sistema aeropónico. Lo que concuerda con Gutiérrez, (2014) quien manifiesta que la temperatura óptima para el desarrollo de la lechuga esta entre 18-24 °C.

3.7 Análisis de varianza para longitud de hoja a los 15 días después de colocado en el sistema.

El análisis de varianza para la longitud de hoja a los 15 días, no presentó diferencias significativas, con un coeficiente de variación del 9,99% (Tabla 8).

Tabla 8. Análisis de varianza para longitud de hoja a los 15 días.

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>	<u>Sign.</u>
Repetición	0,38	2	0,19	0,18	0,8470	ns
Tratamiento	7,04	1	7,04	6,70	0,1224	ns
Error	2,10	2	1,05			
Total	9,52	5				
<u>C.V. = 9,99%</u>						

Realizado por: Montero, 2020

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 *

p-valor < 0,05 y < 0,01 **

3.8 Análisis de varianza para longitud de la hoja a los 30 días después de colocado en los sistemas.

El análisis de varianza para la longitud de la hoja a los 30 días, presentó diferencias significativas, con un coeficiente de variación del 9,09 % (Tabla 9).

Tabla 9. Análisis de varianza de la longitud de la hoja a los 30 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sign.
Repetición	0,18	2	0,09	1,04	0,4911	ns
Tratamiento	7,82	1	7,82	88,25	0,0111	*
Error	0,18	2	0,09			
Total	8,18	5				

C.V. = 9,09 %

Realizado por: Montero, 2020

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 *

p-valor < 0,05 y < 0,01 **

En la prueba DMS al 5% para longitud de hoja a los 30 días, el T1 (Hidroponía) con 13,71 cm se ubicó en el grupo A, el T2 (Aeroponía) con 11,43 cm se encontró en el grupo B (Gráfico 9).

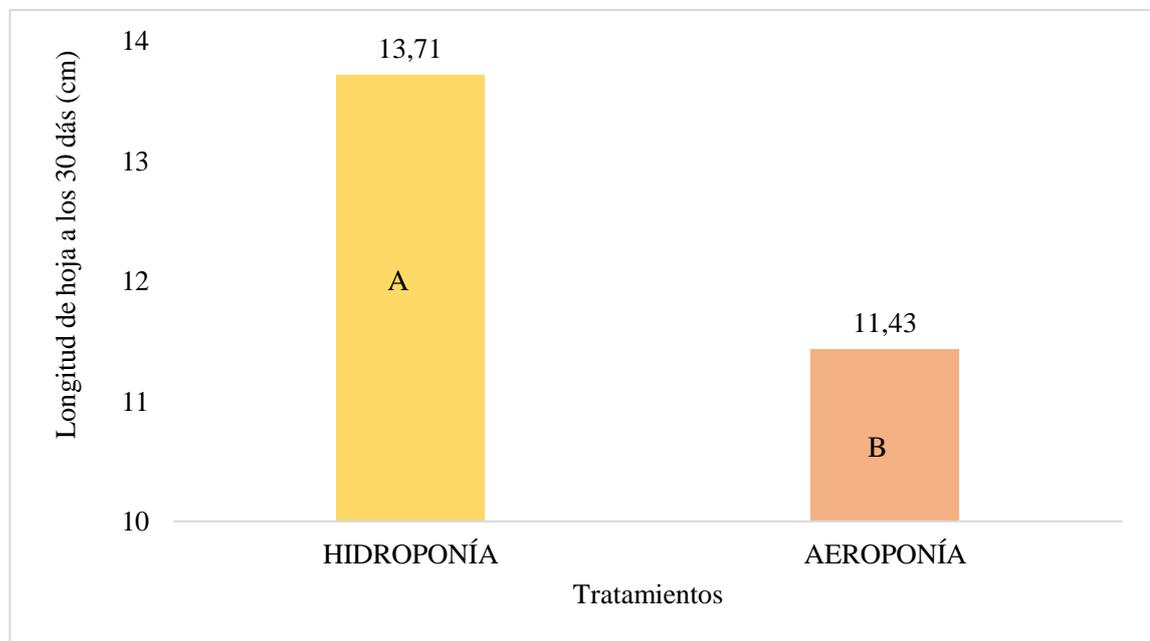


Gráfico 9. Longitud de hoja a los 30 días.

Realizado por: Montero, 2020

3.9 Análisis de varianza para longitud de hoja a la cosecha (40 días después de colocado en los sistemas).

El análisis de varianza para la longitud de la hoja a la cosecha (40 días), presentó diferencias significativas, con un coeficiente de variación del 2,82 % (Tabla 10).

Tabla 10. Análisis de varianza para la longitud de hoja a la cosecha (40 días).

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sign.
Repetición	0,33	2	0,16	1,19	0,4564	ns
Tratamiento	10,48	1	10,48	76,72	0,0128	*
Error	0,27	2	0,14			
Total	11,08	5				

C.V. = 2,82%

Realizado por: Montero, 2020

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 *

p-valor < 0,05 y < 0,01 **

En la prueba DMS al 5% para longitud de hoja a la cosecha, el T1 (Hidroponía) con 14,44 cm se ubicó en el grupo A, el T2 (Aeroponía) con 11,80 cm se encontró en el grupo B (Gráfico 10).

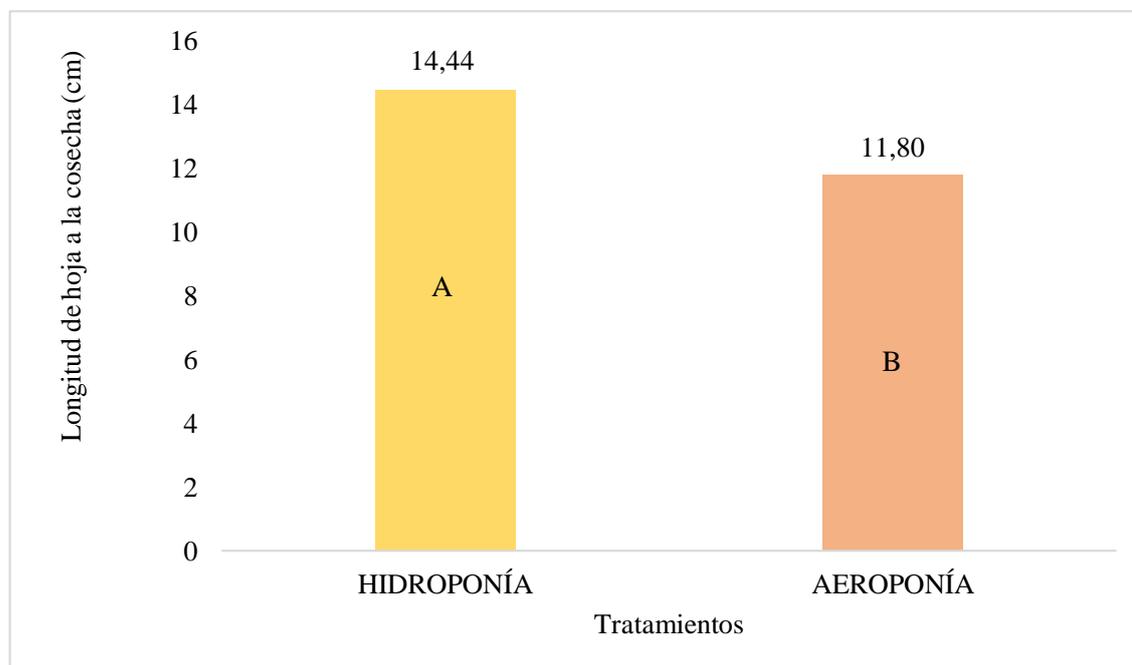


Gráfico 10. Longitud de hoja a la cosecha.

Realizado por: Montero, 2020

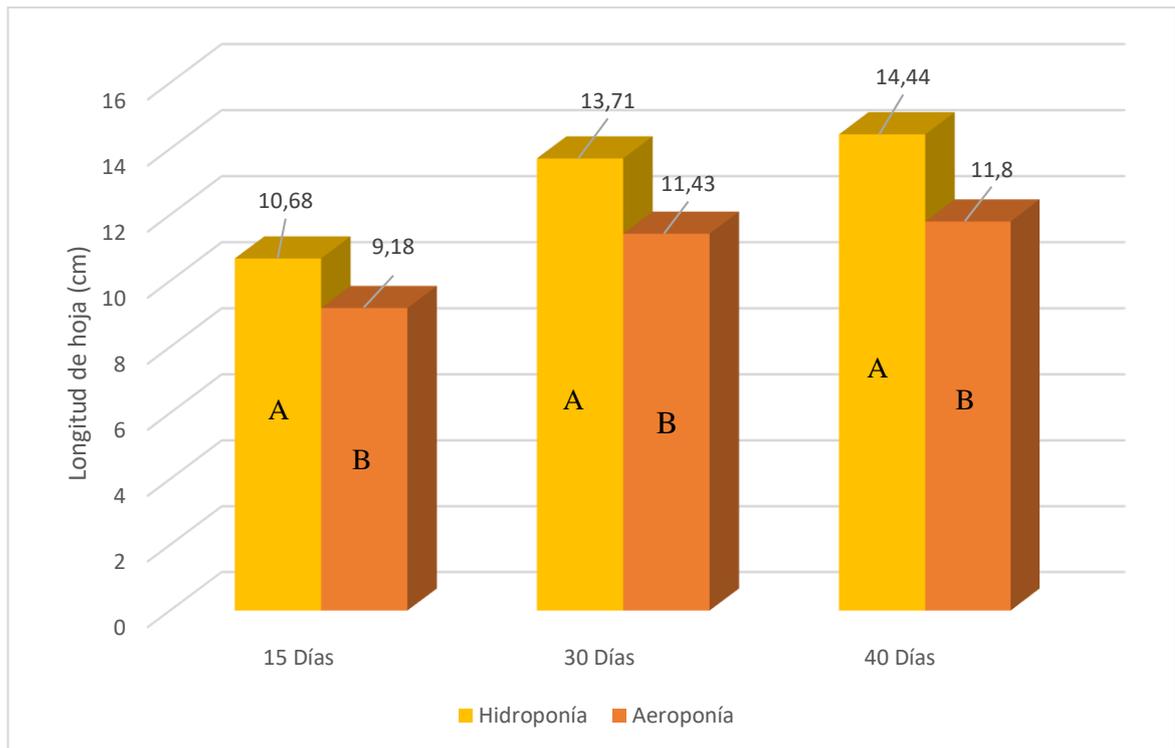


Gráfico 11. Curva longitud de hoja.

Realizado por: Montero, 2020

En el Gráfico 11. Podemos apreciar que las plantas colocadas en el sistema hidropónico supera en longitud de hoja al sistema aeropónico a los 15 días, 30 días y a la cosecha (40 días), con valores de 10,68 cm; 13,71 cm; y 14,44cm en el sistema hidropónico y de 9,18 cm; 11,43 cm y 11,80 cm en el sistema aeropónico.

La longitud de hoja en el sistema hidropónico (13,71 cm) a los 30 días, es inferior a lo reportado por Ricardo, (2019) con 22,2 cm a los 25 días. En el sistema aeropónico la longitud de hoja a los 30 días, fue de 11,43 cm, Solís (2017) reporta valores inferiores con 4,93 cm.

La longitud de hoja a la cosecha (40 días) fue de 14,44 cm, superando a los valores reportados por (Cajo, 2016) variedad crespa con un valor de 3,66 cm a los 35 días. En el sistema aeropónico la longitud de hoja a la cosecha (40 días) fue de 27,61 cm Cebada, et al., (2016), reporta valores inferiores con 11,39 cm.

La mayor longitud de hoja se obtuvo en el sistema hidropónico, esto puede deberse a que la temperatura afecta directamente al crecimiento. Seminis, (2017), menciona que la temperatura ideal es de 23 °C por el día, para un adecuado desarrollo, en nuestra investigación obtuvimos una temperatura superior con 27,1°C, por lo que, a mayor temperatura, más rápido es el crecimiento longitudinal. Beltrano & Gimenez (2015) en el sistema

hidropónico indica que el aumento de la temperatura en la solución nutritiva incrementa la absorción de iones K y fosfatos, como así también la tasa respiratoria de las raíces. A bajas temperaturas el ión NH₄⁺ se absorbe más rápidamente que los iones NO₃⁻.

En el sistema aeropónico, presenta un problema ya que la raíz al no estar en contacto con el agua y debido a las altas temperaturas provoca un marchitamiento, lo que pudo producir un estrés hídrico a la planta afectando el normal crecimiento de la misma. El estrés hídrico se produce en las plantas en respuesta a la tasa de transpiración excedente a la toma de agua. El déficit hídrico puede deberse a la baja capacidad de retención de agua de las plantas, también a las bajas temperaturas y por una elevada salinidad (EcuRed, n.d).

3.10 Análisis de varianza para número de hojas a los 15 días después de colocado en los sistemas.

El análisis de varianza para número de hojas a los 15 días, presentó diferencias altamente significativas entre los tratamientos, con un coeficiente de variación de 1,96 % (Tabla 11).

Tabla 11. Análisis de varianza para el número de hojas a los 15 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sign.
Repetición	0,06	2	0,03	1,00	0,5000	ns
Tratamiento	9,88	1	9,88	312,05	0,0032	**
Error	0,06	2	0,03			
Total	10,01	5				
C.V. = 1,96%						

Realizado por: Montero, 2020

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 *

p-valor < 0,05 y < 0,01 **

En la prueba DMS al 5% para el número de hojas a los 15 días, el T1 (Hidroponía) con 10,37 hojas se ubicó en el grupo A, mientras que el T2 (Aeroponía) con 7,80 hojas se encontró en el grupo B (Gráfico 12).

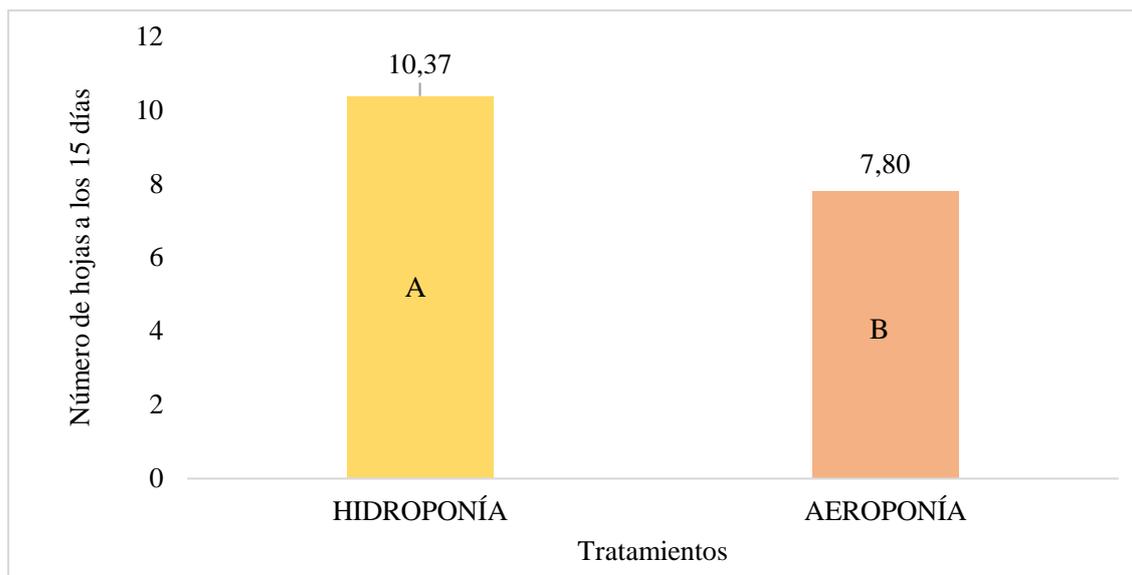


Gráfico 12. Número de hojas a los 15 días.

Realizado por: Montero, 2020

3.11 Análisis de varianza para número de hojas a los 30 días después de colocado en los sistemas.

El análisis de varianza para número de hojas a los 30 días, presentó diferencias altamente significativas entre los tratamientos, con un coeficiente de variación de 3,17% (Tabla 12).

Tabla 12. Análisis de varianza para el número de hojas a los 30 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sign.
Repetición	0,76	2	0,38	1,96	0,3379	ns
Tratamiento	38,71	1	38,71	198,92	0,0050	**
Error	0,39	2	0,19			
Total	39,86	5				

C.V. = 3,17%

Realizado por: Montero, 2020

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 *

p-valor < 0,05 y < 0,01 **

En la prueba DMS al 5% para el número de hojas a los 30 días, el T1 (Hidroponía) con 16,47 hojas se ubicó en el grupo A, el T2 (Aeroponía) con 11,39 hojas se encontró en el grupo B (Gráfico 13).

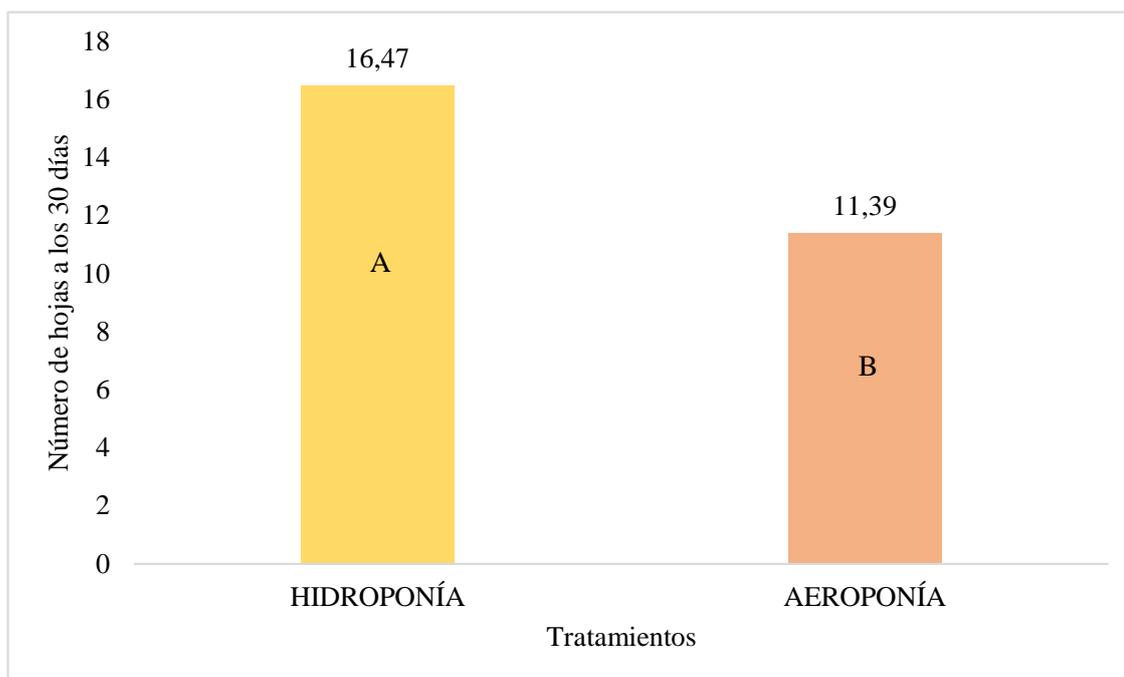


Gráfico 13. Número de hojas a los 30 días.

Realizado por: Montero, 2020

3.12 Análisis de varianza para número de hojas a la cosecha (40 días después de colocado en los sistemas).

El análisis de varianza para número de hojas a la cosecha (40 días), presentó diferencias altamente significativas entre los sistemas, con un coeficiente de variación del 4,63% (Tabla 13).

Tabla 13. Análisis de varianza para el número de las hojas a la cosecha (40 días).

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sign.
Repetición	0,81	2	0,40	0,79	0,5598	ns
Tratamiento	61,44	1	61,44	119,30	0,0083	**
Error	1,03	2	0,51			
Total	63,28	5				
C.V. = 4,63%						

Realizado por: Montero, 2020

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 *

p-valor < 0,05 y < 0,01 **

El análisis DMS al 5% para el número de hojas a la cosecha, el T1 (Hidroponía) con 18,70 hojas se ubicó en el grupo A, mientras que el T2 (Aeroponía) con 12,30 se encontró en el grupo B (Gráfico 14).

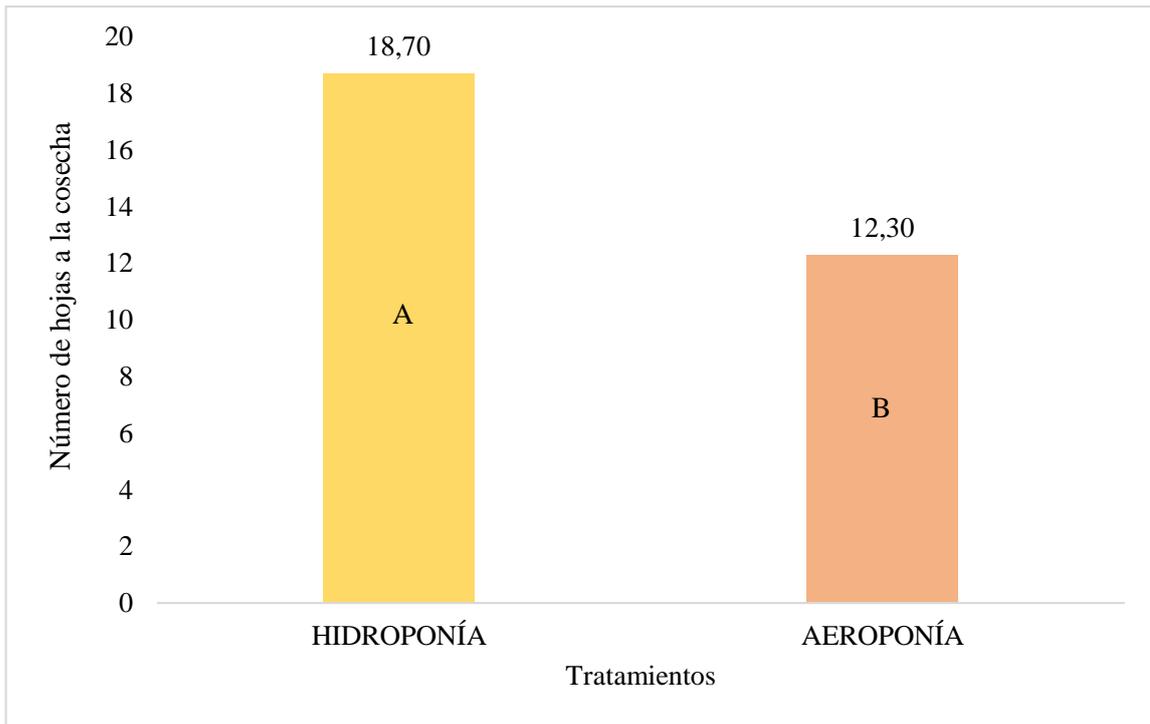


Gráfico 14. Número de hojas a la cosecha.

Realizado por: Montero, 2020

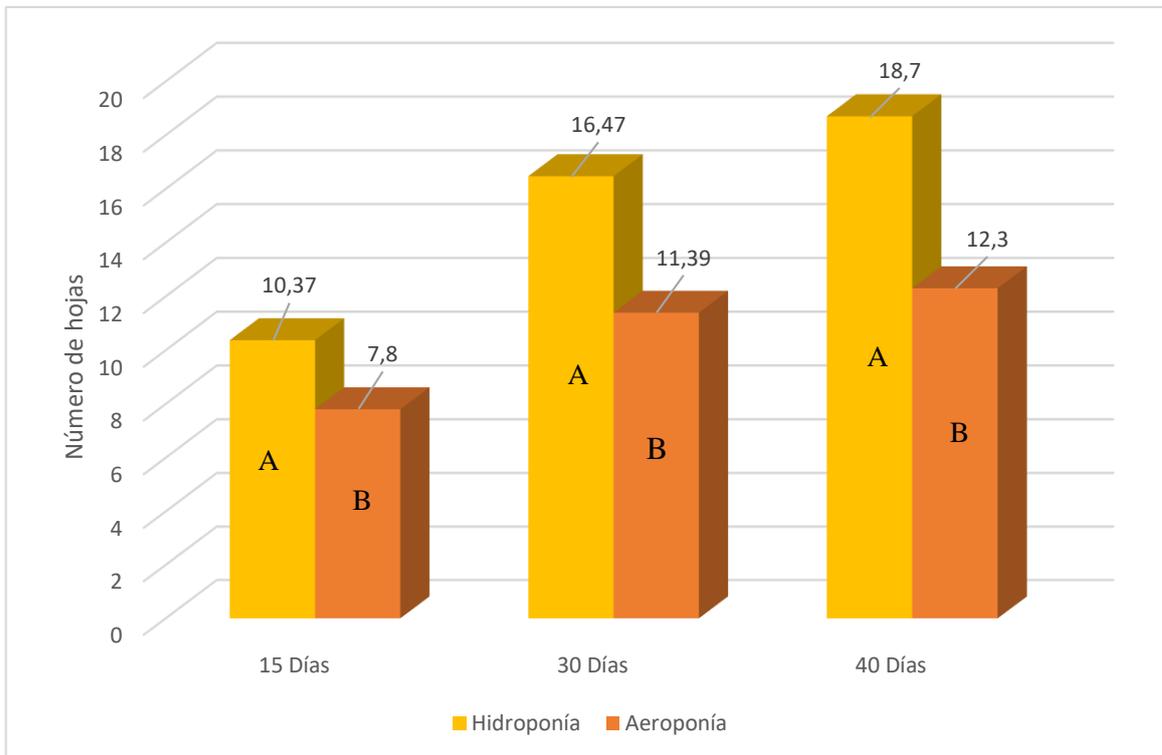


Gráfico 15. Curva del número de hojas.

Realizado por: Montero, 2020

En el Gráfico 15. Podemos apreciar que las plantas colocadas en el sistema hidropónico supera en número de hojas al sistema aeropónico a los 15 días, 30 días y a la cosecha (40

días), con valores 10,37 hojas; 16,47 hojas y 18,7 hojas en el sistema hidropónico y de 7,8 hojas; 11,39 hojas y 12,3 hojas en el sistema aeropónico.

El número de hojas en el sistema hidropónico fue de 10,37 a los 15 días, Solís, (2017) reporta valores inferiores con 4,25 hojas. En el sistema aeropónico el número de hojas a los 15 días fue de 7,8. Solís, (2017) reporta valores inferiores con 3,98 hojas

El número de hojas en el sistema hidropónico (16,47) a los 30 días, Solís, (2017) reporta valores inferiores con 10,45 hojas. En el sistema aeropónico el número de hojas a los 30 días, fue de 11,39, Solís, (2017) reporta valores inferiores con 3,62 hojas.

El número de hojas en el sistema hidropónico a la cosecha (40 días) fue de 18,7 cm, supera a los reportados por Manzano (2018) con una media de 16,67 hojas y Gutiérrez (2014) con una media 14,3 hojas a los días. En el sistema aeropónico el número de hojas a la cosecha (40 días) fue de 12,3 de hojas, estos valores son menores a los reportados por Escobar (2018) con un valor de 27 de hojas (fertilizante foliar orgánico y variedad 1-White boston o señorita).

La disminución del crecimiento en el número de hojas puede deberse a una pérdida de turgencia. A medida que va disminuyendo la cantidad de agua que la planta retiene, disminuye el volumen celular y la turgencia de la célula. La pared celular se vuelve inflexible, limitando así el crecimiento y desarrollo. Los nutrientes y minerales son absorbidos por la planta disueltos en el agua y transportados a las hojas. Al cerrarse los estomas la absorción de agua se ralentiza, pudiendo llegar a detenerse. La falta de minerales en las hojas puede causar clorosis debido, entre otras cosas, a la degradación de clorofila en las hojas (Grupo Fiesta, n.d.).

Manzano (2018) menciona que el menor número de hojas puede deberse a que la solución se encuentra muy saturada, Castellanos (1999) citado en Manzano (2018) manifiesta que el nivel de suficiencia para el potasio varía entre 250 a 350 ppm. El bajo número de hojas puede deberse a que los niveles de potasio en la solución nutritiva son relativamente superiores a los requerimientos del cultivo.

3.13 Análisis de varianza para longitud de raíz a los 15 días después de colocado en los sistemas.

El análisis de varianza para la longitud de raíz a los 15 días, presentó diferencias significativas, con un coeficiente de variación del 5,36% (Tabla 14).

Tabla 14. Análisis de varianza para la longitud de raíz a los 15 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sign.
Repetición	1,61	2	0,81	4,09	0,1965	ns
Tratamiento	15,23	1	15,23	77,24	0,0127	*
Error	0,39	2	0,20			
Total	17,24	5				

C.V. = 5,36 %

Realizado por: Montero, 2020

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 *

p-valor < 0,05 y < 0,01 **

El análisis de DMS al 5% para la longitud de raíz después de colocada en el sistema, el T2 (Aeroponía) con 9,88 cm se ubicó en el grupo A, mientras que el T1 (Hidroponía) con 6,70 cm se encontró en el grupo B (Gráfico 16).

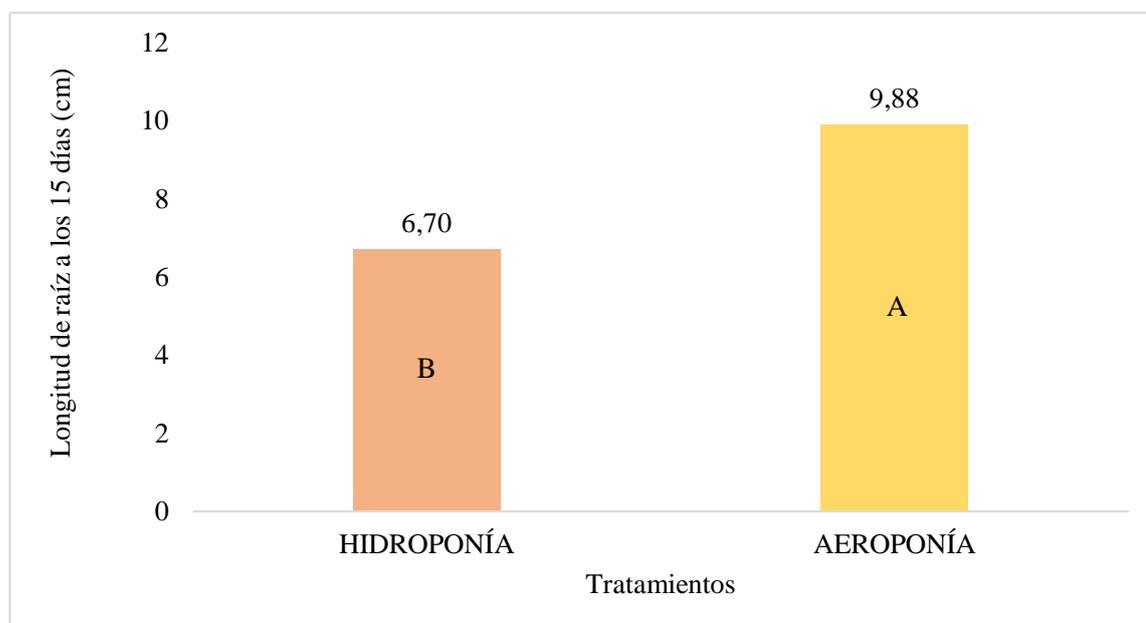


Gráfico 16. Longitud de raíz a los 15 días.

Realizado por: Montero, 2020

3.14 Análisis de varianza para longitud de raíz a los 30 días después de colocado en los sistemas.

El análisis de varianza para la longitud de raíz a los 30 días, presentó diferencias altamente significativas entre los sistemas, con un coeficiente de variación del 4,91% (Tabla 15).

Tabla 15. Análisis de varianza para la longitud de raíz a los 30 días.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sign.
Repetición	0,42	2	0,21	1,17	0,4600	ns
Tratamiento	18,10	1	18,10	100,75	0,0098	**
Error	0,36	2	0,18			
Total	18,88	5				

C.V. = 4,91 %

Realizado por: Montero, 2020

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 *

p-valor < 0,05 y < 0,01 **

El análisis de DMS al 5% para la longitud de raíz a los 30 días, el T2 (Aeroponía) con 10,37 cm se ubicó en el grupo A, mientras que el T1 (Hidroponía) con 6,90 cm se encontró en el grupo B (Gráfico 17).

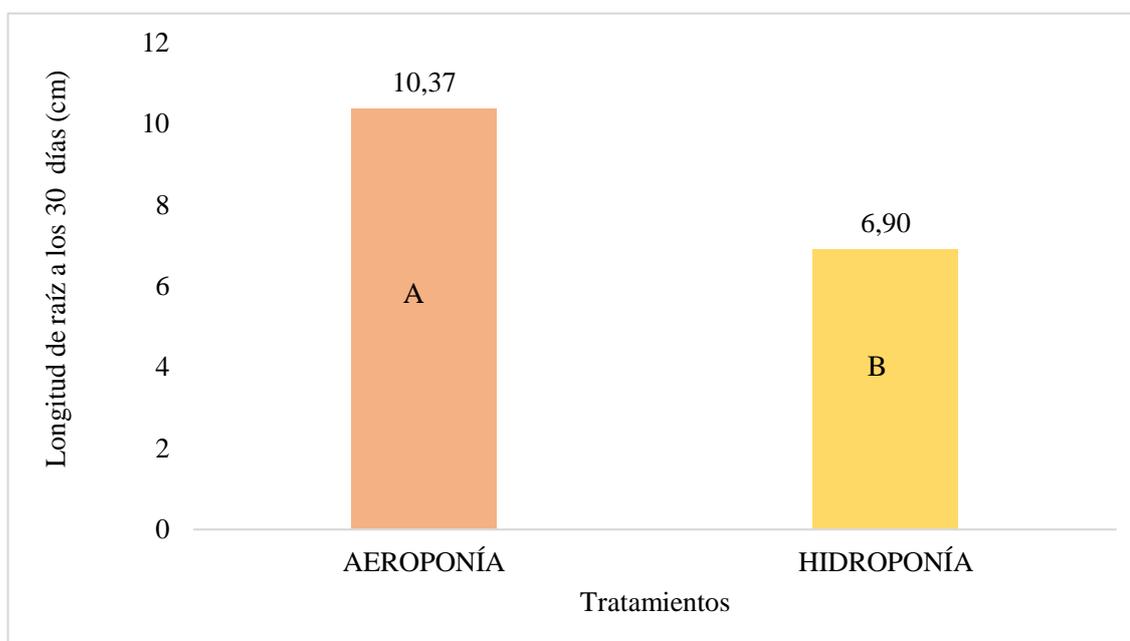


Gráfico 17. Longitud de raíz a los 30 días.

Realizado por: Montero, 2020

3.15 Análisis de varianza para longitud de raíz a la cosecha (40 días después de colocado en los sistemas).

El análisis de varianza para la longitud de raíz a la cosecha (40 días), presentó diferencias altamente significativas entre los tratamientos, con un coeficiente de variación del 2,01 % (Tabla 16).

Tabla 16. Análisis de varianza para la longitud de raíz a la cosecha (40 días).

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sign.
Repetición	0,09	2	0,05	1,47	0,4050	ns
Tratamiento	22,97	1	22,97	711,92	0,0014	**
Error	0,06	2	0,03			
Total	23,13	5				

C.V. = 2,01 %

Realizado por: Montero, 2020

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 *

p-valor < 0,05 y < 0,01 **

El análisis de DMS al 5% para la longitud de raíz a la cosecha (40 días), el T2 (Aeroponía) con 10,91 cm se ubicó en el grupo A, mientras que el T1 (Hidroponía) con 6,99 cm, se encontró en el grupo B (Gráfico 18).

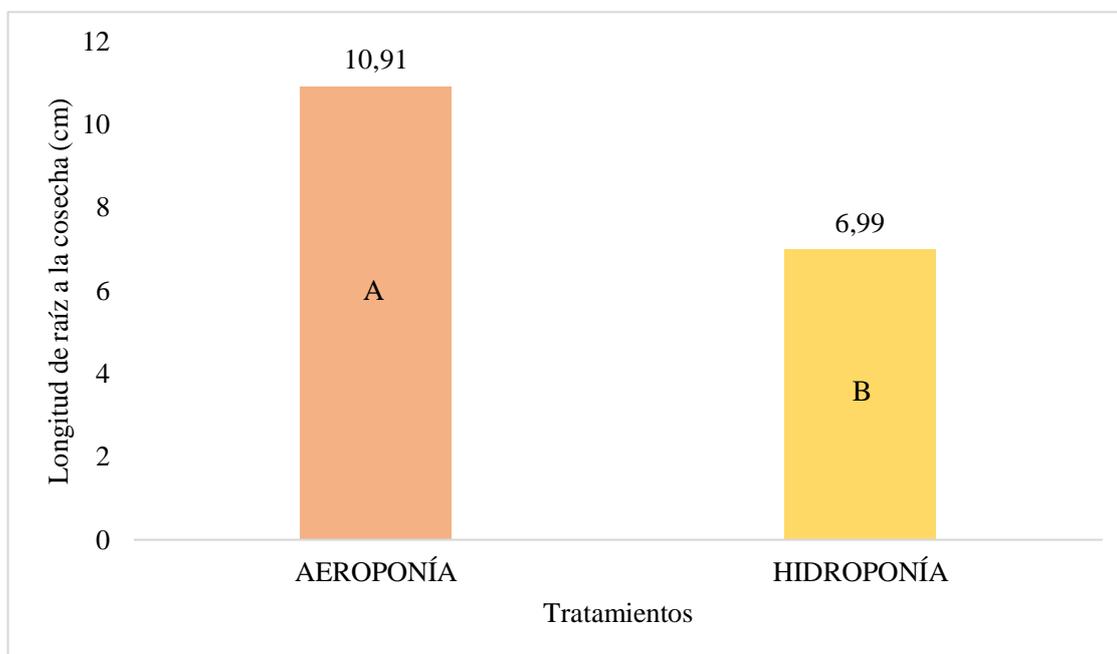


Gráfico 18. Longitud de raíz a la cosecha.

Realizado por: Montero, 2020

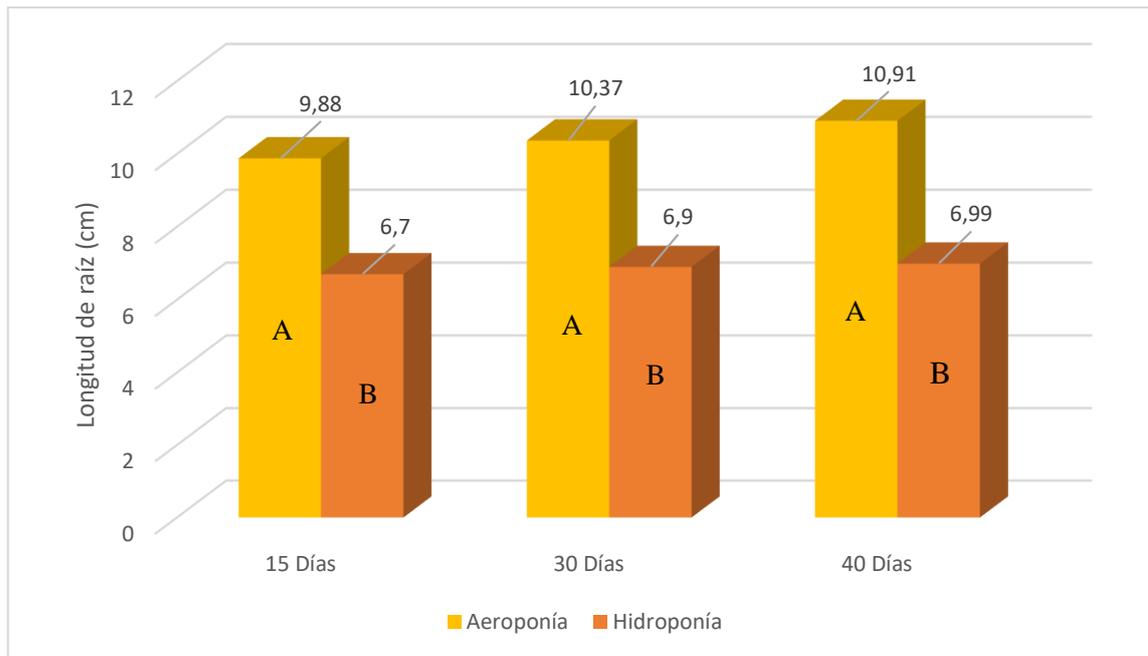


Gráfico 19. Curva de longitud de raíz.

Realizado por: Montero, 2020

En el Gráfico 19. Podemos apreciar que las plantas colocadas en el sistema hidropónico supera en longitud de raíz del sistema aeropónico a los 15 días, 30 días y a la cosecha (40 días), con valores 9,88 cm; 10,37 cm y 10,91 cm en el sistema hidropónico y de 6,7 cm; 6,9 cm y 6,99 cm en el sistema aeropónico.

La longitud de raíz en el sistema hidropónico (9,88 cm) a los 15 días, (Manzano, 2018) reporta valores superiores con 17,68 cm a los 16 días. En el sistema aeropónico la longitud de raíz a los 15 días fue de 6,7 cm, Solís, (2017) reporta valores superiores con 11,07 cm

La longitud de raíz en el sistema hidropónico (10,37 cm) a los 30 días fue menor al obtenido por Ricardo, (2019) quien reporta valores superiores con una longitud de 25.7 cm. En el sistema aeropónico la longitud de raíz a los 30 días, fue de 6,9 cm menor al obtenido por Zepeda (2012) que reporta una longitud de raíz de 10,2 cm.

La longitud de raíz a la cosecha fue de 10,91 cm, menor al obtenido por Lema, (2017) quien reporta valores superiores con una longitud de 33.63 cm a los 45 días. En el sistema aeropónico la longitud de raíz a la cosecha (40 días) fue de 6,99 cm, menor al obtenido por Colón (2017) quien presentó una longitud de raíz de 110.

En el sistema aeropónico se obtuvo una mayor longitud de raíz frente al sistema hidropónico, esto puede deberse a la mayor aireación en el sistema, coincidiendo con lo

manifestado por Colón (2017) las condiciones de temperatura mínima fueron de 17°C y máxima de 44°C, menciona que las diferencias entre valores de longitud de raíz se pueden deber a la posición de las plantas, ya que las plantas de lechuga que se encontraban en el sistema aeropónico disponen de mayor espacio, y aireación lo que facilita el desarrollo radicular.

3.16 Análisis de varianza para peso de las plantas a la cosecha (40 días después de colocado en los sistemas).

El análisis de varianza para el peso de las plantas al momento de la cosecha (40 días), presentó diferencias altamente significativas entre los tratamientos, con un coeficiente de variación del 11,52% (Tabla 17).

Tabla 17. Análisis de varianza del peso de las plantas a la cosecha (40 días).

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sign.
Repetición	16,52	2	8,26	1,40	0,4173	ns
Tratamiento	752,64	1	752,64	127,22	0,0078	**
Error	11,83	2	5,92			
Total	781,00	5				

C.V. = 11,52 %

Realizado por: Montero, 2020

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 *

p-valor < 0,05 y < 0,01 **

El análisis de DMS al 5% para el peso de la planta a la cosecha (40 días), el T1 (Hidroponía) con 32,31 g se ubicó en el grupo A, mientras que T2 (Aeroponía) con 9,91 g se encontró en el grupo B (Gráfico 20).

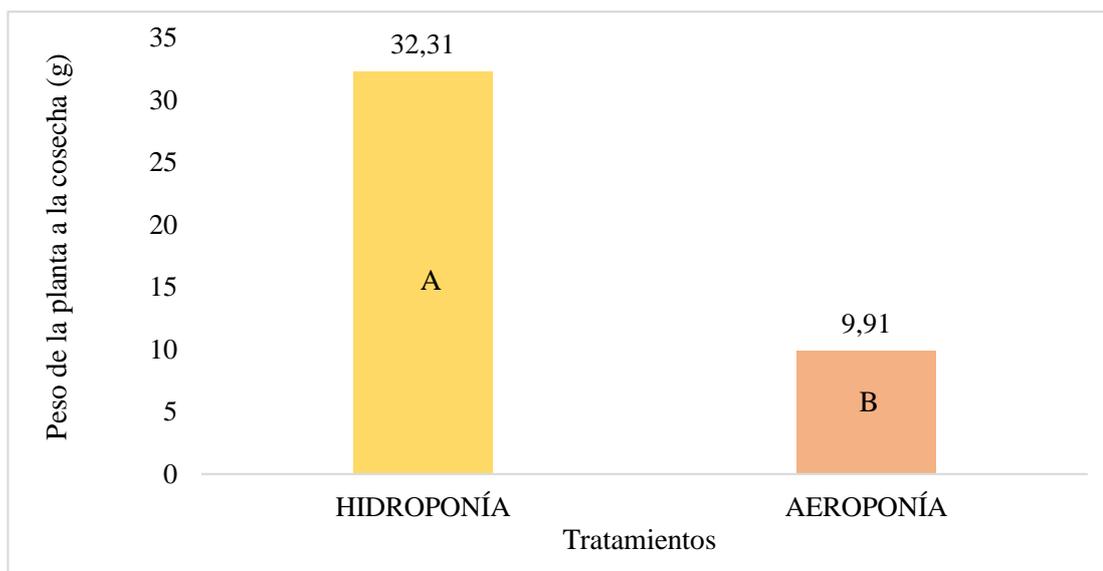


Gráfico 20. Peso de la planta a la cosecha.

Realizado por: Montero, 2020

En el Gráfico 20. Se aprecia que las plantas a la cosecha, en el sistema hidropónico es (32,31 g) a la del sistema aeropónico 9,91 g.

Gutiérrez (2014) en el sistema hidropónico, reporta valores mayores a los obtenidos en nuestra investigación con 32,91 g. En el sistema aeropónico Colón (2017) con una temperatura mínima de 17°C y una máxima de 44°C reporta valores de 301,8 g los cuales son mayores a los de nuestra investigación.,

Posiblemente estas diferencias de peso en los dos sistemas comparado con Gutiérrez (2014) y Colón (2017) puede deberse a la temperatura ambiental fue de 29°C, superior a la óptima de 23°C afectando de esta manera la fisiología de la planta principalmente en la asimilación de nutrientes, coincidiendo con lo manifestado por Colón, (2017) quien indica que la temperatura de 24°C, favorece a la obtención de un mayor peso fresco de la planta.

3.17 Análisis de varianza para rendimiento en kg/ha la cosecha de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. crispa.

El análisis de varianza para rendimiento a la cosecha de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa en kg/ha, presentó diferencias altamente significativas entre los tratamientos, con un coeficiente de variación del 14,31% (Tabla 18).

Tabla 18. Análisis de varianza para rendimiento a la cosecha de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa en kg/ha.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sign.
Repetición	239768,74	2	119881,37	1,13	0,2705	ns
Tratamiento	1988211109,77	1	19821109,77	186,80	<0,0053	**
Error	212221,29	2	106110,64			
Total	20273099,80	5				

C.V. = 14,31%

Realizado por: Montero, 2020

p-valor > 0,05 y > 0,01 ns

p-valor < 0,05 y > 0,01 *

p-valor < 0,05 y < 0,01 **

El análisis de DMS al 5% para el rendimiento de los sistemas, el T1 (Hidroponía) con 4094,53 kg/ha se ubicó en el grupo A, mientras que el T2 (Aeroponía) con 459,41 kg/ha se encontró en el grupo B (Gráfico 21).

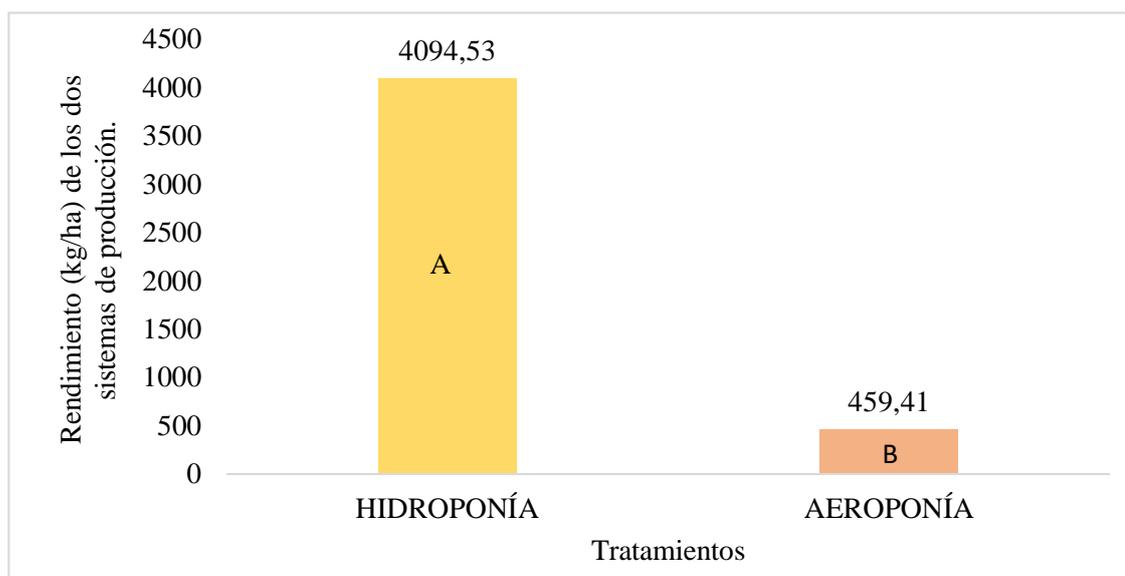


Gráfico 21. Rendimiento de los dos sistemas de producción.

Realizado por: Montero, 2020

En el Gráfico 21 podemos apreciar que el rendimiento a la cosecha de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. crispa en kg/ha, en el sistema hidropónico con 4094,53 kg/ha al sistema aeropónico 459,41 kg/ha.

El rendimiento en el sistema hidropónico (4094,53 kg/ha) a la cosecha fue menor al obtenido por Manzano (2018) quien reporta valores superiores con 15338,75 kg/ha. El sistema

aeropónico obtuvo 459,41 kg/ha menor al obtenido por (Villa, *et al.*, n.d.) quien reporta 24333 kg/ha

La diferencia en el rendimiento (kg/ha) entre los sistemas, puede deberse a que el sistema aeropónico se ve afectado por el estrés hídrico, este fenómeno afecta directamente a las vacuolas de las células vegetales ya que ejerce presión sobre el protoplasma y pared celular, ocasionando así una pérdida de turgencia en las hojas y otros órganos de las plantas Ojeda, (2015). La tasa de crecimiento de las hojas depende de la expansión de células jóvenes, que son producidas por la división celular en los tejidos meristemáticos, el bajo suministro de nutrientes pudo afectar la tasa de crecimiento foliar por la inhibición de la tasa de producción y expansión de nuevas hojas (Martínez & Garcés, 2010).

3.18 Análisis económico según la relación beneficio costo. -

En la Tabla 19, el T1 sistema hidropónico obtuvo la mayor relación beneficio costo, con un valor de 3,80 dólares. El Tratamiento T2 (sistema aeropónico) obtuvo la menor relación beneficio costo, con un valor de 1,05 dólares.

Tabla 19. Análisis económico según la relación beneficio costo.

TRATAMIENTO	B/C	% RENT.
SISTEMA HIDROPONICO	3,80	280,12
SISTEMA AEROPONICO	1,05	5,48

Realizado por: Montero, 2020

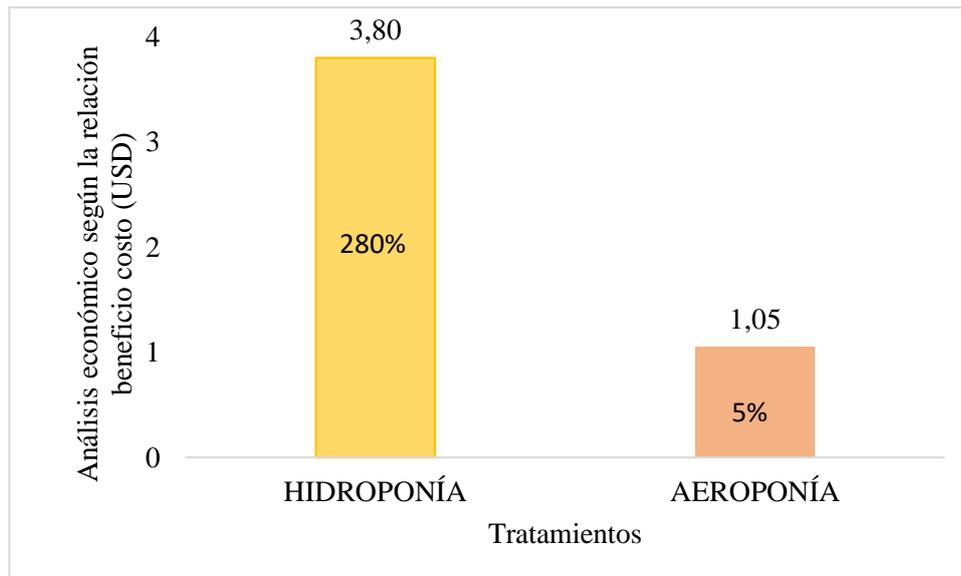


Gráfico 22. Relación beneficio costo.

Realizado por: Montero, 2020

En el Gráfico 22 se observa que el tratamiento T1 (sistema hidropónico) obtuvo la mayor relación beneficio costo, con 3,80 dólares lo que significa que recuperamos el dólar invertido y obtenemos una ganancia de 2,80 dólares que equivale a un 280,12% de rentabilidad. El tratamiento T2 (sistema aeropónico) obtuvo la menor relación beneficio costo, con un valor de 1,05 dólares lo que significa que recuperamos el dólar invertido y obtenemos una ganancia de 0,05 dólares que equivale a un 5,48% de rentabilidad.

CONCLUSIONES

- El tratamiento T1 (sistema hidropónico) obtuvo la mayor altura de planta a los 15, 30 días y a la cosecha con 23,50 cm; 31,08 cm y 34,55 cm respectivamente.
- El mayor ancho de hoja obtuvo el tratamiento T1 (sistema hidropónico) a los 15 días, 30 días y a la cosecha con 5,57 cm; 7,44 cm y 7,84 cm respectivamente. La mayor longitud de hoja obtuvo el tratamiento T1 (sistema hidropónico) a los 15 días, 30 días y a la cosecha (40 días) con 10,68 cm; 13,71 cm y 14,44 cm respectivamente
- El mayor número de hojas alcanzó el tratamiento T1 (sistema hidropónico) a los 15 días, 30 días y a la cosecha (40 DDCS) con 10,37; 16,47 y 18,7 hojas respectivamente.
- El tratamiento T2 (sistema aeropónico) la mayor longitud de raíz alcanzó a los 15 días, 30 días y a la cosecha (40 DDCS) con 9,88 cm; 10,37 cm y 10,91 cm respectivamente.
- El mayor peso de la planta a la cosecha (40 DDCS) alcanzó el tratamiento T1 (sistema hidropónico) con 32,31 g.
- El mayor rendimiento obtuvo el tratamiento T1 (sistema hidropónico) con 4094,53 kg/ha.
- El tratamiento T1 (sistema hidropónico) obtuvo la mayor relación beneficio costo con 3,80 dólares lo que corresponde al 280,12% de rentabilidad.
- El tratamiento T1 (sistema hidropónico) mediante las evaluaciones realizadas supero en casi todas las variables que el tratamiento T2 (sistema aeropónico) se determinó que es el mejor tratamiento para la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa en el cantón Francisco de Orellana.

RECOMENDACIONES

- Para lograr el mejor rendimiento agronómico y económico en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Crispa se recomienda utilizar el sistema hidropónico bajo cubierta.
- Realizar estudios del efecto de la temperatura (T°), humedad relativa (%) y aireación, para mejorar, las condiciones del medio en el que se desarrollará el cultivo.
- Probar diferentes dosis y tipos de soluciones nutritivas para mejorar la producción.
- Investigar la adaptabilidad de otras especies vegetales en el sistema hidropónico bajo cubierta en el cantón Francisco de Orellana.

GLOSARIO

N.F.T: Nutrient Film Technique.

BIBLIOGRAFÍA

- orellana.gob.ec. Datos del cantón. [en línea]. Alcaldía de Francisco de Orellana. Francisco de Orellana – Ecuador. (s.f.). [Consulta: 15 mayo 2020]. Disponible en <http://orellana.gob.ec/es/canton/datos-del-canton>
- Andrade, J., Barona, D., Benítez, J., Chuquillanqui, C., García, M., Kromann, P., Mateus, J., Monstesdeoca, F. Otazú, V. & Potosí, B. [en línea]. Manual de producción de semilla de papa de calidad usando aeroponía. Quito – Ecuador, 2015. [Consulta: 05 enero 2020]. Disponible en: CIP-Manual-Produccion-Semilla-Papa-usando-Aeroponia.pdf
- Beltrano, J. & Giménez, D. *Libros de cátedra*. [en línea]. Cultivo en hidroponía. Buenos Aires – Argentina, 2015: Editorial de la Universidad de la Plata. [Consulta: 03 febrero 2020]. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Benavides, A, Preciado, P. & Favela, E. Manual para la reparación de Soluciones Nutritivas. [en línea]. *Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro*. Torreón, Coahuila – México. 2006. [Consulta: 20 junio 2020]. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/305280176_Manual_para_la_preparacion_de_soluciones_nutritivas
- Cajo, A. Producción hidropónica de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L), bajo el sistema NFT, con tres soluciones nutritivas. [En línea]. (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad Técnica de Ambato, Cevallos, Ecuador. 2016. p 82. [Consulta: 04-06-2020]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/23421/1/Tesis-136%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20413.pdf>
- Cebada, M., Herrera, J., Andrés, P. & Leyva, O. Agro Productividad. [en línea]. *Sistema eficiente para producción de lechuga (Lactuca sativa L)*. Universidad Veracruzana. México, 2016. [Consulta: 15 mayo 2020]. Disponible en: <http://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/772>
- Colón, L. Efectos de la Temperatura, Concentración de la Solución Nutritiva y la Posición de la Planta en el Crecimiento de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) Cultivada en

- Aeroponía. [En línea]. (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Saltillo, Coahuila - México. 2017. [Consulta: 20-05-2020]. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Efectos-de-la-Temperatura%2C-Concentraci%C3%B3n-de-la-y-la-Solano-Aguilar/a4ec5ad70178e6c1d0fe65fd411c1136c7a7a7ac>
- Ecu Red. *Estrés hídrico*. [en línea]. [Consulta: 22 agosto 2020]. Disponible en: https://www.ecured.cu/Estr%C3%A9s_h%C3%ADrico#Estr.C3.A9s_h.C3.ADrico_y_respuestas_de_las_plantas
- EcuRed. *Lactuca sativa*. [en línea]. [Consulta: 20 enero 2020]. Disponible en: https://www.ecured.cu/Lactuca_sativa
- Escobar, W. Efecto del fertilizante foliar orgánico en la producción de dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo un sistema aeropónico en carpa solar en la ciudad de El Alto - La Paz. [En línea]. (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad Mayor de San Andrés. La Paz – Bolivia. 2018. [Consulta: 20-06-2020]. Disponible en <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/20515/TD-2630.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Grupo Ñesta. *¿Qué es el estrés hídrico?* [en línea]. España. [Consulta: 23 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.grupoinesta.com/que-es-el-estres-hidrico/#:~:text=Efectos%20del%20estr%C3%A9s%20h%C3%ADrico%20en%20las%20plantas&text=La%20disminuci%C3%B3n%20del%20crecimiento%20se%20debe%20a%20una%20p%C3%A9rdida%20de%20urgencia.&text=Al%20detenerse%20la%20fotos%C3%ADntesis%2C%20la,de%20minerales%20en%20la%20planta.>
- Gutiérrez, F. Efecto del sulfato de hierro y ácidos húmicos en solución nutritiva en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* var. Crispa L.), bajo hidroponía en Manglar alto. [En línea]. (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad, Ecuador. 2014. [Consulta: 28-05-2020]. Disponible en <https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/46000/2232/UPSE-TIA-2015-015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Hydro environment. *Aeroponía* [en línea]. [Consulta: 15-01-2020]. Disponible en: https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=index&cPath=383&zenid=qeph5t794s9uers4andc7eufm0
- Hydro environment. *Guía para el cultivo de Lechuga* [en línea]. [Consulta: 27-01-2020]. Disponible en: https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=292
- Infoagro. *Cultivos aeropónicos*. [en línea]. [Consulta: 05-01-2020]. Disponible en: https://www.infoagro.com/hortalizas/cultivo_aeroponico.htm
- INTAGRI. *La Hidroponía: Cultivos sin Suelo*. [en línea]. [Consulta: 13-07-2020]. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-prottegida/la-hidroponia-cultivos-sin-suelo>
- Lema, D. Evaluación de tres soluciones nutritivas en hidroponía en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. crispa, en invernadero, departamento de horticultura, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2017. [Consulta: 18-05-2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8174/1/13T0853.pdf>
- León, M. Respuesta de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. crispa) y Remolacha (*Beta vulgaris* L. var. conditiva) a la aplicación al suelo del consorcio de microalgas (*Chlorella* sp.) y (*Scenedesmus* sp.). [En línea]. (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. 2015. [Consulta: 18-03-2020]. Disponible en: <http://200.12.169.19:8080/bitstream/25000/6757/1/T-UC-0004-21.pdf>
- Manzano, J. Evaluación de tres dosis de potasio en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. crispa bajo el sistema hidropónico en invernadero. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2018. [Consulta: 03-06-2020]. Disponible en <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8176/1/13T0855.pdf>
- Martínez, F. & Garcés. G. Crecimiento y producción de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. romana) bajo diferentes niveles de potasio. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas [en línea]. 2010. (Bogotá – Colombia). (4). [Consulta: 23 agosto 2020].

Disponible en:
https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/1239

Montesdeoca, N. Caracterización química, física y funcional de la lechuga rizada para la creación de una norma técnica Ecuatoriana por parte del instituto ecuatoriano de normalización 2008. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador. 2009. pp 28 - 102. [Consulta: 20-03-2020]. Disponible en <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/5182>

Ojeda, C. Efecto de un producto bioactivo compuesto por oligogalacturónidos como mitigar del estrés hídrico en variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). [En línea] (Trabajo de titulación). (Doctorado). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México, 2015. [Consulta: 23-08-2020]. Disponible en: https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/170/1/ojeda_c.pdf

Paredes, D. Efecto de dos niveles de nitrógeno en el rendimiento de *Lactuca sativa* L. var. crisper cv. Great Lakes en sistema hidropónico en Santiago de Chuco - La Libertad. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad Nacional de Trujillo. Santiago de Chuco, Perú. 2015. [Consulta: 15-05-2020]. Disponible en <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/7783/PAREDES%20GARC%C3%8dA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ricardo, J. Evaluación del cultivo de lechuga hidropónica (*Lactuca sativa* l.) en raíz flotante bajo diferentes soluciones nutritivas. [En línea]. (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad, Ecuador, 2019. [Consulta: 20-07-2020]. Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/46000/4808/UPSE-TIA-2019-0008.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rogel, M. Respuesta de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) a cuatro soluciones nutritivas, bajo condiciones hidropónicas en invernadero. [En línea]. (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2018. [Consulta: 03-02-2020]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/7790/c9ad9d6035b6a62bf76fe869012d8d5c3cf7.pdf>

- Seminis.mx. Seminis. [en línea]. *Recomendaciones para el cultivo de lechuga*. México, 2017. [Consulta: 03 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.seminis.mx/blog-recomendaciones-para-el-cultivo-de-lechuga/>
- Solís, F. Evaluación del rendimiento en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*), en sistemas hidropónicos y aeropónicos automatizados. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Unidad académica de ciencias agropecuarias. Machala, Ecuador, 2017. [Consulta: 13-07-2020]. Disponible en: http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/10532/1/DE00006_TRABAJO_DE_TITULACION.pdf
- Urrestarazu, M. *Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía*. [en línea]. Temperatura. 3ª, 198 p. España, 2015. [Consulta: 15 mayo 2020]. Disponible en: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=5NE9CwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=que+es+el+cultivo+de+hidroponia&ots=VdgVETwBtR&sig=fVsCzHgCodDgGHvhaN18_ljyqco#v=onepage&q=temperatura&f=false
- Zepeda, I. Efecto de la solución nutritiva en el rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en dos sistemas hidropónicos: camas flotantes y aeroponía. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad autónoma de Querétaro. Santiago de Querétaro, México, 2012. [Consulta: 15-05-2020]. Disponible en: <http://ri.uaq.mx/bitstream/123456789/1244/1/RI000561.pdf>

ANEXOS

ANEXO A: TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA.

Fecha		Temperatura	HHRR
13/12/2019	MAX	33,6	84
	MIN	23,2	42
14/12/2019	MAX	34,2	79
	MIN	21,4	34
15/12/2019	MAX	32,6	87
	MIN	22,9	36
16/12/2019	MAX	34,1	80
	MIN	24,3	28
17/12/2019	MAX	33,8	79
	MIN	24,7	31
18/12/2019	MAX	33,4	78
	MIN	22,5	32
19/12/2019	MAX	28,2	84
	MIN	23,6	47
20/12/2019	MAX	29,3	84
	MIN	22,9	38
21/12/2019	MAX	32,4	87
	MIN	23,6	35
22/12/2019	MAX	29,9	80
	MIN	24,2	39
23/12/2019	MAX	30,3	85
	MIN	21,6	43
24/12/2019	MAX	34,5	78
	MIN	22,7	32
25/12/2019	MAX	34,1	80
	MIN	24,4	29
26/12/2019	MAX	35,1	86
	MIN	23,3	27
27/12/2019	MAX	34,8	89
	MIN	22,8	29
28/12/2019	MAX	33,4	88
	MIN	24,4	32
29/12/2019	MAX	36,3	74
	MIN	24,8	32
30/12/2019	MAX	35,6	82
	MIN	22,8	28
31/12/2019	MAX	36,8	72
	MIN	25,4	34
1/1/2020	MAX	37,6	68
	MIN	23,9	29

2/1/2020	MAX	36,7	81
	MIN	23,8	29
3/1/2020	MAX	34,1	78
	MIN	22,2	27
4/1/2020	MAX	35,3	83
	MIN	24,8	29
5/1/2020	MAX	36,9	73
	MIN	23,2	31
6/1/2020	MAX	38,3	65
	MIN	25,4	19
7/1/2020	MAX	35,7	74
	MIN	25,4	28
8/1/2020	MAX	37,4	62
	MIN	24,5	32
9/1/2020	MAX	38,1	57
	MIN	23,6	37
10/1/2020	MAX	35,5	86
	MIN	22,7	31
11/1/2020	MAX	36,7	78
	MIN	22,3	29
12/1/2020	MAX	38,1	72
	MIN	23,3	34
13/1/2020	MAX	36,6	69
	MIN	25,1	28
14/1/2020	MAX	37,1	72
	MIN	22,8	33
15/1/2020	MAX	34,8	82
	MIN	21,9	41
16/1/2020	MAX	33,9	88
	MIN	22,6	37
17/1/2020	MAX	35,5	82
	MIN	23,3	32
18/1/2020	MAX	36,00	74
	MIN	23,8	29
19/1/2020	MAX	35,2	86
	MIN	22,7	33
20/1/2020	MAX	37,1	65
	MIN	24,1	29
21/1/2020	MAX	35,2	79
	MIN	21,9	41

Realizado por: Montero, 2020

ANEXO B: pH, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (C.E.) Y TEMPERATURA DEL AGUA POTABLE.

AGUA POTABLE SIN SOLUCION NUTRITIVA			
FECHA		HIDROPONIA	AEROPONIA
13/12/2019	Ph	6,83	6,87
	CE (us/cm)	0,004	0,006
	Temp (H20)	26,8	
14/12/2019	Ph	6,81	6,86
	CE (us/cm)	0,042	0,075
	Temp (H20)	28,8	
15/12/2019	Ph	6,78	6,84
	CE (us/cm)	0,012	0,046
	Temp (H20)	25,9	
16/12/2019	Ph	6,8	6,85
	CE (us/cm)	0,016	0,023
	Temp (H20)	27,8	
17/12/2019	Ph	6,69	6,88
	CE (us/cm)	0,015	0,039
	Temp (H20)	26,4	
18/12/2019	Ph	6,49	6,65
	CE (us/cm)	0,026	0,039
	Temp (H20)	25,3	
19/12/2019	Ph	6,57	6,73
	CE (us/cm)	0,014	0,027
	Temp (H20)	25,8	

Realizado por: Montero, 2020

ANEXO C: pH, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (C.E.) Y TEMPERATURA DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA.

AGUA POTABLE CON SOLUCION NUTRITIVA			
FECHA		HIDROPONIA	AEROPONIA
20/12/2019	Ph	6,32	6,58
	CE (us/cm)	0,332	0,336
	Temp (H20)	28,4	
21/12/2019	Ph	6,67	6,86
	CE (us/cm)	0,444	0,452
	Temp (H20)	28,8	
22/12/2019	Ph	6,58	6,66
	CE (us/cm)	0,438	0,442
	Temp (H20)	27,9	
23/12/2019	Ph	6,27	6,42
	CE (us/cm)	0,416	0,424
	Temp (H20)	28,2	
24/12/2019	Ph	6,32	6,37
	CE (us/cm)	0,429	0,434
	Temp (H20)	27,6	
25/12/2019	Ph	6,16	6,31
	CE (us/cm)	0,411	0,431
	Temp (H20)	26,3	
26/12/2019	Ph	5,89	6,43
	CE (us/cm)	0,387	0,401
	Temp (H20)	27,9	
27/12/2019	Ph	4,46 (6,31)	6,54
	CE (us/cm)	0,332 (0,335)	0,338
	Temp (H20)	28,6	
28/12/2019	Ph	4,92 (6,26)	6,21
	CE (us/cm)	0,346 (0,353)	0,336
	Temp (H20)	28,4	
29/12/2019	Ph	4,38 (6,16)	6,67

	CE	0,482 (0,448)	0,338
	(us/cm)		
	Temp	28,7	
	(H2O)		
30/12/2019	Ph	4,52 (6,43)	6,54
	CE	0,460 (0,432)	0,342
	(us/cm)		
	Temp	26,8	
	(H2O)		
31/1/2020	Ph	4,48 (6,41)	6,75
	CE	0,487 (0,495)	0,523
	(us/cm)		
	Temp	27,9	
	(H2O)		
1/1/2020	Ph	4,26 (6,22)	6,54
	CE	0,498 (0,476)	0,506
	(us/cm)		
	Temp	28,7	
	(H2O)		
2/1/2020	Ph	4,85 (6,57)	6,76
	CE	0,578 (0,534)	0,501
	(us/cm)		
	Temp	26,4	
	(H2O)		
3/1/2020	Ph	5,02 (6,53)	6,12
	CE	0,532 (0,517)	0,496
	(us/cm)		
	Temp	28,3	
	(H2O)		
4/1/2020	Ph	4,87 (6,13)	6,54
	CE	0,467 (0,451)	0,542
	(us/cm)		
	Temp	25,3	
	(H2O)		
5/1/2020	Ph	4,95 (6,45)	6,21
	CE	0,427 (0,419)	0,485
	(us/cm)		
	Temp	25,8	
	(H2O)		
6/1/2020	Ph	4,87 (6,38)	6,62
	CE	0,529	0,474
	(us/cm)		
	Temp	26,6	
	(H2O)		
7/1/2020	Ph	5,19 (6,67)	6,37
	CE	0,587	0,498
	(us/cm)		
	Temp	25,4	
	(H2O)		
8/1/2020	Ph	4,95 (6,32)	5,97
	CE	0,512	0,76
	(us/cm)		

	Temp (H2O)	27,2	
9/1/2020	Ph	5,07 (6,81)	6,34
	CE (us/cm)	0,576	0,486
	Temp (H2O)	26,2	
10/1/2020	Ph	4,17 (6,11)	5,97
	CE (us/cm)	0,524	0,584
	Temp (H2O)	28,1	
11/1/2020	Ph	4,51 (6,58)	6,35
	CE (us/cm)	0,502	0,563
	Temp (H2O)	27,4	
12/1/2020	Ph	5,03 (6,89)	6,72
	CE (us/cm)	0,587	0,523
	Temp (H2O)	25,8	
13/1/2020	Ph	4,39 (6,51)	6,18
	CE (us/cm)	0,487	0,457
	Temp (H2O)	27,4	
14/1/2020	Ph	5,11 (6,93)	0,672
	CE (us/cm)	0,521	0,4,99
	Temp (H2O)	25,6	
15/1/2020	Ph	5,02 (6,23)	6,73
	CE (us/cm)	0,541	0,559
	Temp (H2O)	25,1	
16/1/2020	Ph	4,73 (6,44)	6,21
	CE (us/cm)	0,495	0,501
	Temp (H2O)	27,7	
17/1/2020	Ph	3,97 (6,07)	5,99
	CE (us/cm)	0,512	0,53
	Temp (H2O)	28,3	
18/1/2020	Ph	4,76 (6,47)	6,19
	CE (us/cm)	0,492	0,457
	Temp (H2O)	26,7	
19/1/2020	Ph	4,61 (6,31)	6,19

	CE	0,503	0,457
	(us/cm)		
	Temp	25,9	
	(H2O)		
20/1/2020	Ph	4,81 (6,79)	6,86
	CE	0,519	0,563
	(us/cm)		
	Temp	26,7	
	(H2O)		
21/1/2020	Ph	4,11 (6,42)	6,61
	CE	0,496	0,503
	(us/cm)		
	Temp	27,2	
	(H2O)		

Realizado por: Montero, 2020

ANEXO D: RELACIÓN BENEFICIO/COSTO DEL SISTEMA HIDROPÓNICO.

ANÁLISIS ECONOMICO MEDIANTE LA RELACION BENEFICIO/COSTO					
T1 (CULTIVO HIDROPONICO)					
RUBROS	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNIT. (USD)	P. TOTAL (USD)	%
Invernadero					
Invernadero	Invernadero m2	10000	5,50	654,76	
Plástico	kg	1780	4,69	297,83	
Sistema Hidropónico y eléctrico	Tripodes	480	650,00	2228,57	
SUBTOTAL				3181,17	23,63
Mano de obra					
Intalación de modular	1	30	15,00	450,00	
Intalación de tuberías	1	30	15,00	450,00	
SUBTOTAL				900,00	6,68
Fertilizantes					
Ácido nítrico	lt	144,00	1,40	201,60	
Nitro plus	kg	45,86	6,55	300,38	
10-52-10+ micros	kg	74,00	9,20	680,80	
Súper K-60	kg	75,00	10,25	768,75	
Agrinutri Engrose K plus	lt	40,00	14,00	560,00	
Agronutri ferro	kg	8,00	17,00	136,00	
Fuerza Microelementos	kg	8,00	15,00	120,00	
Sulfato de magnesio	kg	70,29	0,66	46,39	
SUBTOTAL				2813,92	20,90
Trasplante					
Lechuga	Planta	126710	0,02	2534,20	
Transporte	Carro	1	7,00	7,00	
Mano de obra	Jornal	30	15,00	450,00	
SUBTOTAL				2991,20	22,22
Controles Fitosanitarios					
Profeagro	lt	5	9,75	48,75	
Ridomil Gold	kg	5	18,00	90,00	
SUBTOTAL				138,75	1,03
Mantenimiento					
Limpieza de tuberías	Jornal	1	15,00	15,00	
SUBTOTAL				15,00	0,11
Cosecha					
Mano de obra	Jornal	20	15,00	300,00	
Funda	Funda	63355	0,02	1267,10	
Logotipo	Logotipo	63355	0,01	633,55	
SUBTOTAL				2200,65	16,34
TOTAL				12240,69	
Imprevistos 10%				1224,07	9,09
GRAN TOTAL				13464,76	100,00
RENDIMIENTO EN KG/HA		4094,53	25590,8125		
TOTAL INGRESO BRUTO			25590,8125		
BENEFICIO/COSTO					
INGRESO TOTAL				25.590,81	
COSTO TOTAL				13.464,76	
BENEFICIO/COSTO				1,90	
RENTABILIDAD				90 %	

Realizado por: Montero, 2020

ANEXO E: RELACIÓN BENEFICIO/COSTO DEL SISTEMA HIDROPÓNICO.

ANÁLISIS ECONOMICO MEDIANTE LA RELACION BENEFICIO/COSTO					
T2 (CULTIVO AEROPONICO)					
RUBROS	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNIT. (USD)	P. TOTAL (USD)	%
Invernadero					
Invernadero	Invernadero m2	10000	5,5	654,76	
Plástico	kg	1780	4,69	297,83	
Sistema Aeroponico y eléctrico	Mesas	552	286,8	1130,85	
SUBTOTAL				2083,44	38,27
Mano de obra					
Intalación de modular	1	10	15,00	150,00	
Intalación del sistema	1	10	15,00	150,00	
SUBTOTAL				300,00	5,51
Fertilizantes					
Nitro plus	kg	25,86	6,55	169,38	
10-52-10+ micros	kg	25,24	9,20	232,21	
Súper K-60	kg	25,43	10,25	260,66	
Agrinutri Engrose K plus	lt	8,00	14,00	112,00	
Agronutri ferro	kg	3,00	17,00	51,00	
Fuerza Microelementos	kg	5,00	15,00	75,00	
Sulfato de magnesio	kg	30,29	0,66	19,99	
SUBTOTAL				920,24	16,90
Trasplante					
Lechuga	Planta	46343	0,02	926,86	
Transporte	Carro	1	7,00	7,00	
Mano de obra	Jornal	5	15,00	75,00	
SUBTOTAL				1008,86	18,53
Controles Fitosanitarios					
Profeagro	lt	3	9,75	29,25	
Ridomil Gold	kg	3	18,00	54,00	
SUBTOTAL				83,25	1,53
Mantenimiento					
Limpieza del sistema	Jornal	1	15,00	15,00	
SUBTOTAL				15,00	0,28
Cosecha					
Mano de obra	Jornal	5	15,00	75,00	
Funda	Funda	15448	0,02	308,95	
Logotipo	Logotipo	15448	0,01	154,48	
SUBTOTAL				538,43	9,89
TOTAL				4949,22	
Imprevistos 10%				494,92	9,09
GRAN TOTAL				5444,15	100,00
RENDIMIENTO EN KG/HA					
		459,41		5742,625	
TOTAL INGRESO BRUTO				5742,625	
BENEFICIO/COSTO					
INGRESO TOTAL			5.742,63		
COSTO TOTAL			5.444,15		
BENEFICIO/COSTO			1,05		
RENTABILIDAD			5	%	

Realizado por: Montero, 2020

ANEXO F: REALIZACION DE LOS MODULARES



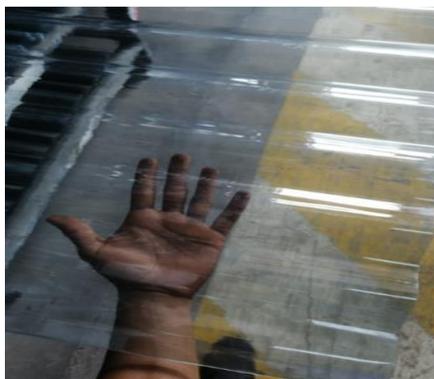
ANEXO G: REALIZACIÓN DE LA CUBIERTA



ANEXO H: REALIZACIÓN DE LOS HOYOS PARA INSTALACION DE LOS TANQUES DE 200 L



ANEXO I: COMPRA DE MATERIALES





ANEXO J: REALIZACIÓN DE ARMAR EL SISTEMA

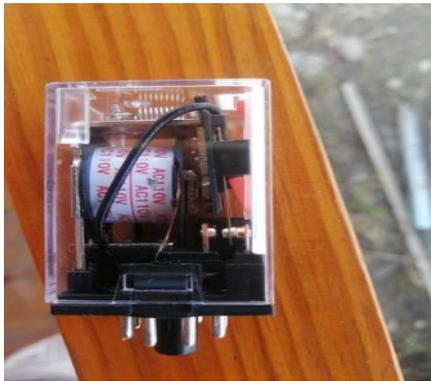
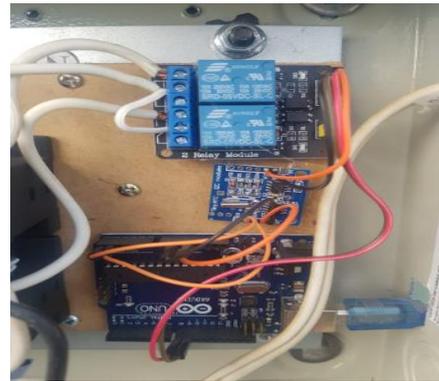
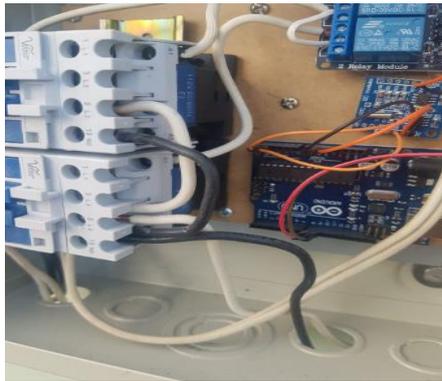




ANEXO K: REALIZACION DE SEÑALIZACION.



ANEXO L: INSTALACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO



ANEXO M: REALIZACIÓN DE TRANSPLANTE



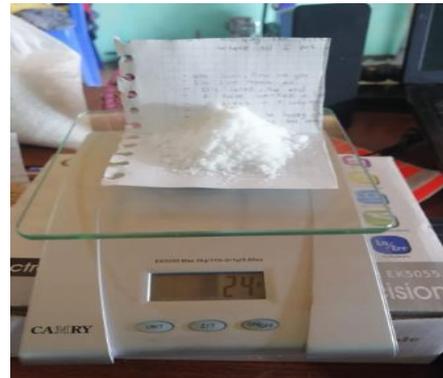


ANEXO N: PREPARACION DE SOLUCION NUTRITIVA





ANEXO O: DOSIFICACIÓN PARA LA SOLUCION NUTRITIVA

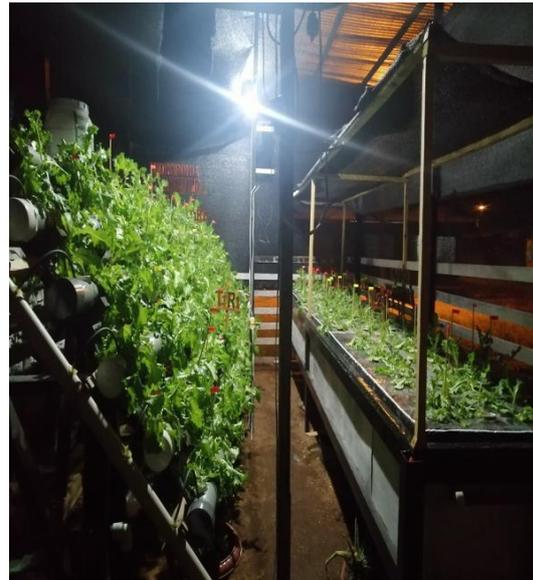




ANEXO P: TOMA DE DATO DE Ph y CE



ANEXO Q: CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LA PLANTA



ANEXO R: COSECHA



ANEXO S: COMERCIALIZACIÓN







ANEXO T: ENCUESTA

Encuesta de consumo de lechuga var. crispa en el cantón Francisco de Orellana.

1.- Usted consume frecuentemente lechuga var. crispa.

Si

No

2.- Dónde adquiere la lechuga var. crispa.

Supermercados

Minimarkets

Mercados

Tiendas

3.- Oferta de lechuga var. crispa en el establecimiento donde usted adquiere el producto.

Abundante

Escasa

Nula

4.- Calidad de lechuga var. crispa en el establecimiento donde usted adquiere el producto.

Buena

Regular

Mala

5.- Cantidad de lechuga var. crispa en el establecimiento donde usted adquiere el producto.

Buena

Regular

Mala

6.- Precio de lechuga var. crispa en el establecimiento donde usted adquiere el producto.

Alto

Aceptable

Bajo

7.- Está satisfecho con la adquisición de lechuga var. crispa en el establecimiento donde usted adquiere el producto.

Si

No

8.- Optaría por un nuevo establecimiento para adquirir la lechuga var. crispa.

Si

No

9.- Qué presentación desearía adquirir de lechuga var. crispa.

Libras

Gramos

Kilogramos

10.- Desde que precios desearía adquirir de lechuga var. crispa.

Menor a 1 USD

Mayor a 1 USD

ANEXO U: ENCUESTA A LOS POBLADORES





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 29/04/2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Jairo Gonzalo Montero Arteaga
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Recursos Naturales
Carrera: Ingeniería Agronómica
Título a optar: Ingeniero Agrónomo
f. Análisis de Biblioteca y responsable: Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.

**LUIS
ALBERTO
CAMINOS
VARGAS**

Firmado digitalmente por
LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Nombre de
reconocimiento (DN):
c=EC, l=RIOBAMBA,
serialNumber=060276697
4, cn=LUIS ALBERTO
CAMINOS VARGAS
Fecha: 2021.04.29 15:27:17
-05'00'



1030-DBRAI-UTP-2021