

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



TRABAJO DIRIGIDO

**PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA COMO ALTERNATIVA A LA
PROBLEMÁTICA DE ESCASES DE AGUA, EN DOS VARIEDADES DEL
CULTIVO DE ACELGA (*Beta vulgaris* var. *Cicla* L.) EN EL CENTRO
EXPERIMENTAL DE COTA COTA**

MARIO GUSTAVO CHIPANA KASA

La Paz – Bolivia

2018

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA COMO ALTERNATIVA A LA
PROBLEMÁTICA DE ESCASES DE AGUA, EN DOS VARIEDADES DEL
CULTIVO DE ACELGA (*Beta vulgaris* var. *Cicla*. L.) EN EL CENTRO
EXPERIMENTAL DE COTA COTA**

Trabajo Dirigido presentado como requisito
parcial para optar el Título de
Ingeniero Agrónomo

MARIO GUSTAVO CHIPANA KASA

Asesor:

Ing. William Alex Murillo Oporto

Tribunal Examinador:

Ing. Luis Humberto Ortuño Rojas

Ing. Esther Tinco Mamani

APROBADA

Presidente Tribunal Examinador

LA PAZ - BOLIVIA

2018

DEDICATORIA A:

Dios por darme la vida y la oportunidad de terminar este ciclo de mi vida y estar a mi lado.

Dedicado a mí papa Mario a mi mama Susana a mi esposa Heidi por su apoyo incondicional, y a mis hijos por ser un aliciente en mi vida.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por guiarme siempre por el buen camino, nunca abandonarme y permitirme terminar mi carrera una meta más en mi vida.

Agradecer a la casa superior de estudios Universidad Mayor de San Andrés, al personal docente de la carrera de Ingeniería Agronómica, por haber contribuido a mi formación académica por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional. Al personal docente y administrativo del Centro Experimental de Cota Cota, por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo, por compartir sus conocimientos y apoyo durante la investigación.

A mi asesor, Ing. William Murillo Oporto, por su colaboración y apoyo, quien con sus conocimientos en el área de hidroponía ha logrado que ejecute el proceso de investigación en campo. A mis revisores Ing. Luis Humberto Ortuño Rojas por su colaboración en la revisión de la tesis, como también a la Ing. Esther Tinco Mamani por su colaboración en la revisión de la misma.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional, a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los caminos de la vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mi, por todo lo que me han brindado y por sus bendiciones.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	1
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general.	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5. Metas.....	4
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Contexto normativo.....	4
2.2. Marco conceptual	6
2.2.1. El recurso hídrico y su importancia	7
2.2.2. Usos del agua	8
2.2.3. Uso agrícola del agua en Bolivia	8
2.2.4. El cambio climático.....	9
2.2.5. Calentamiento global.....	10
2.2.6. Efecto invernadero	10
2.2.7. Consumo del agua en un sistema tradicional.....	11
2.2.8. El agua y la planta.....	11
2.2.9. La hidroponía	11
2.2.10. Hidroponía y el uso sostenible del agua.....	12
2.2.11. Técnica de raíz flotante	14
2.2.12. Características del cultivo de acelga	14

2.2.12.1. Origen.....	15
2.2.12.2. Clasificación taxonómica.....	15
2.2.12.3. Descripción botánica	15
2.2.12.4. Morfología de la acelga.....	16
2.2.13. Requerimientos del cultivo.....	17
2.2.13.1. Temperatura.....	17
2.2.13.2. Luminosidad	18
2.2.13.3. Suelo	18
2.2.13.4. pH.....	18
2.2.14. Ciclo del cultivo.....	18
2.2.15. Plagas y enfermedades.....	19
2.2.15.1. Plagas	19
2.2.15.2. Enfermedades	19
2.2.15.2.1. Enfermedades que atacan a las semillas.....	19
2.2.15.2.2. Enfermedades que atacan a las hojas	20
2.2.16. Valor nutricional y medicinal de la acelga.....	20
2.2.17. Hidroponía.....	22
2.2.17.1. Ventajas y desventajas del cultivo hidropónico.....	24
2.2.17.2. Métodos hidropónicos	26
2.2.18. Cultivo hidropónico en medio líquido.....	27
2.2.19. Técnica de raíz flotante.....	27
2.2.20. Nutrición de las Plantas.....	28
2.2.20.1. Composición de las plantas.....	28
2.2.20.2. Nutrientes	28
2.2.20.3. Solución nutritiva	30

2.2.20.4. Requerimientos nutricionales del cultivo	30
2.2.20.5. Manejo y control de la solución nutritiva.....	31
2.2.20.6. Duración y renovación de la solución nutritiva	31
2.2.21. Oxigenación radicular.....	32
2.2.22. Agua apta para la hidroponía	32
2.2.23. Carpa solar.....	33
2.2.23.1. Ventajas y desventajas de la carpa solar	34
3. SECCION DIAGNOSTICO.....	35
3.1. Materiales y Metodos	35
3.1.1. Localización y ubicación del área de estudio	35
3.1.2. Características del lugar de estudio	36
3.1.2.1. Clima	36
3.1.2.2. Temperatura	36
3.2. Materiales.....	36
3.2.1. Material biológico	36
3.2.2. Material químico.....	37
3.2.3. Material de construcción.....	37
3.3. Metodología.....	38
3.3.1. Adaptación del sistema hidropónico de raíces flotantes.....	38
3.3.2. Sistema de oxigenación	38
3.3.3. Diseño del estudio.....	38
3.3.4. Análisis estadístico.....	39
3.3.5. Croquis del estudio.....	40
3.3.6. Densidad de siembra.....	41
3.4. Solución nutritiva	42

3.4.1. Pureza del agua	42
3.4.2. Preparación de la solución nutritiva	42
3.4.3. Pasos a seguir para la correcta disolución de los macronutrientes.....	43
3.5. Siembra en almacigo.....	44
3.6. Trasplante	44
3.7. Variables de respuesta.....	45
3.8. Distribución del área de estudio	45
3.9. Renovación de nutrientes.....	45
3.10. Toma de datos	45
3.11. Análisis económico	46
4. SECCION PROPOSITIVA.....	48
4.1. Cantidad de agua utilizada	48
4.2. Rendimiento	49
4.3. Numero de hojas	51
4.4. Altura de la planta	52
4.5. Longitud de raíces.....	53
4.6. Análisis económico.....	55
4.6.1. Costos Variables	55
4.6.2. Costos fijos.....	56
4.6.3. Costos totales	57
4.6.4. Relación ingreso bruto, ingreso neto y b/c.....	57
5. SECCION CONCLUSIVA	58
6. RECOMENDACIONES	59
7. BIBLIOGRAFIA	60

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Valor nutricional del cultivo de acelga en 100 gr de producto fresco	22
Cuadro 2. Tecnicas hidroponicas	27
Cuadro 3. Elementos esenciales macronutrientes	29
Cuadro 4. Elementos esenciales micronutrientes	30
Cuadro 5. Requerimientos nutricionales del cultivo de acelga	31
Cuadro 6. Materiales para la construcción del sistema eléctrico	37
Cuadro 7. Materiales de escritorio y toma de datos	37
Cuadro 8. Materiales utilizados para la construcción de las camas flotantes	38
Cuadro 9. Requerimiento de macro nutrientes para el cultivo de acelga en ppm. o mg/l.	42
Cuadro 10. Concentración de sales para satisfacer la demanda de macro nutrientes en 1000 litros de agua	43
Cuadro 11. Requerimiento de micro nutriente para el cultivo de acelga en ppm.	43
Cuadro 12. Solución comercial de micro nutriente para 1000 litros de agua ASBOHI	44
Cuadro 13. Comparación de la eficiencia en el uso del agua de ambos sistemas	48
Cuadro 14. ANVA para variable rendimiento.	50
Cuadro 15. ANVA para variable número de hojas.	51
Cuadro 16. ANVA para variable altura de planta.	52
Cuadro 17. ANVA para variable longitud de raíz.	54
Cuadro 18. Costos variables.	55
Cuadro 19. Materiales para la construcción de las camas flotantes	56
Cuadro 20. Materiales para la construcción del sistema de riego	56
Cuadro 21. Costos totales	57
Cuadro 22. Relación Ingreso Bruto, Ingreso Neto y B/C	57

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Ubicación geográfica del campus de la UMSA, Provincia Murillo del departamento de La Paz, zona Cota-Cota</i>	35
<i>Figura 2. Comportamiento de la temperatura dentro la carpa solar donde se realizó el trabajo de investigación.</i>	36
<i>Figura 3. Distribución de los tratamientos y sus repeticiones.</i>	40
<i>Figura 4. Densidad de siembra de los tratamientos</i>	41
<i>Figura 5. Prueba de Tukey para la comparación de eficiencia en el uso del agua.</i>	49
<i>Figura 6. Prueba de Tukey para la variable rendimiento.</i>	50
<i>Figura 7. Prueba de Tukey para la variable número de hojas.</i>	52
<i>Figura 8. Prueba de Tukey para la variable altura de planta.</i>	53
<i>Figura 9. Prueba de Tukey para la variable longitud de raíz</i>	54

ANEXOS

ANEXO 1. Calculo de Nutrientes.....	66
ANEXO 2. Datos.....	68
ANEXO 3. Archivo fotografico.....	69

RESUMEN

El agua dulce no es un recurso infinito, la agricultura es la actividad que utiliza una gran cantidad de agua, más de las dos terceras partes de la que proporcionan los ríos, lagos y acuíferos del planeta (80% aproximadamente a nivel mundial), en Bolivia los usos del agua son para su consumo doméstico y principalmente el riego. Mientras la población aumenta el agua va convirtiéndose en un recurso cada vez más escaso y valioso.

Con el objetivo de usar de manera más eficiente el recurso hídrico se empleó el sistema de producción hidropónica para el cultivo de acelga (*Beta vulgaris* var. *Cicla* L) usando dos variedades, Verde Costa Larga y variedad Fordhook Giant. Tras realizar la cosecha del cultivo de Acelga se midió la cantidad de agua empleada en este tipo de producción obtenidos los siguientes resultados:

Se utilizaron 400 litros de agua en toda la etapa de investigación hasta el momento de la primera cosecha distribuyendo a 40 litros de agua por bloque de los cuales el primer tratamiento T1 consumió 20 litros de agua siendo por planta un consumo de 2 litros de agua, en comparación con el segundo tratamiento T2 que consumió 22.5 litros de agua que por planta fue 2.25 litros de agua por planta los dos tratamientos alcanzaron un ahorro promedio del 95% de agua con respecto a una producción tradicional cuyo gasto es de 45 litros por planta.

En cuanto a las variables de respuesta, no hubo diferencia significativa de ningún tipo, ambas variedades de acelga se comportaron de similar manera, se obtuvo los siguientes resultados: el T1 obtuvo un rendimiento de 1488 g/m² en comparación al T2 que fue de 1428 g/m². El T1 obtuvo una altura de 32.9 cm en comparación al T2 con una altura de 35.8 cm. El tamaño de las raíces T1 tenía una altura de 30.3 cm, en comparación al T2 con una altura de 33.6 cm. El número de hojas el T1 tuvo 6.9 hojas y el T2 5.2 hojas.

SUMMARY

Fresh water is not an infinite resource, agriculture is the activity that uses a large amount of water, more than two thirds of that provided by the rivers, lakes and aquifers of the planet (80% approximately worldwide), in Bolivia uses water for domestic consumption and mainly irrigation. As the population increases, water becomes an increasingly scarce and valuable resource.

In order to use the water resource in a more efficient way, the hydroponic production system was used for the cultivation of chard (*Beta vulgaris* var. Cicla L) using two varieties, Long Coast Green and Fordhook Giant variety. After harvesting the chard crop, the amount of water used in this type of production was measured, obtaining the following results:

400 liters of water were used throughout the research stage until the time of the first harvest, distributing 40 liters of water per block, of which the first T1 treatment consumed 20 liters of water, with a consumption of 2 liters of water per plant, compared to the second T2 treatment that consumed 22.5 liters of water per plant was 2.25 liters of water per plant, the two treatments achieved an average saving of 95% of water compared to a traditional production whose cost is 45 liters per plant.

Regarding the response variables, there was no significant difference of any kind, both varieties of chard behaved in a similar way, the following results were obtained: T1 obtained a yield of 1488 g / m² compared to T2 which was 1428 g / m². The T1 obtained a height of 32.9 cm compared to the T2 with a height of 35.8 cm. The size of the roots T1 had a height of 30.3 cm, in comparison to the T2 with a height of 33.6 cm. The number of leaves T1 had 6.9 leaves and T2 5.2 leaves.

1. INTRODUCCIÓN

El agua dulce es un recurso limitado, el crecimiento demográfico y el desarrollo socioeconómico determinan un incremento de la demanda de agua y, al mismo tiempo, los cambios climáticos a nivel mundial y la geopolítica internacional no hacen sino crear una mayor incertidumbre con respecto al agua, a su vez el cambio climático ha llevado a que en algunas regiones se registre un mayor número de sequías.

La agricultura es la actividad que utiliza una gran cantidad de agua, más de las dos terceras partes de la que proporcionan los ríos, lagos y acuíferos del planeta (80% aproximadamente a nivel mundial), en Bolivia los usos del agua son para su consumo doméstico y principalmente el riego. A medida que aumenta la población y crecen las economías, el agua va convirtiéndose en un recurso más escaso y valioso.

Pero, paradójicamente, aunque el agua es cada vez más escasa, en muchas zonas se utiliza todavía de forma muy ineficaz. En algunos lugares hasta el 60 % del agua desviada o bombeada para el riego no llega a la zona de cultivos.

El despilfarro en la aplicación del riego no sólo entraña la pérdida de agua, sino que además ocasiona problemas de anegamiento y de salinización.

Para conseguir resultados satisfactorios en la eficiencia del uso del agua no bastará con construir más represas y más canales, nivelar o regar superficies más extensas, sino que cada vez será más necesario mejorar la gestión del agua rehabilitando los sistemas ineficientes y sustituir los sistemas tradicionales por otros que utilicen una tecnología más desarrollada.

La hidroponía es uno de esos sistemas que tiene un manejo eficiente del agua al momento de producir alimentos. Es por ello que en el presente estudio se observó la eficacia de la producción hidropónica respecto a la producción tradicional, usando la técnica de raíces flotantes.

Estas consideraciones mencionadas hacen que en el presente trabajo se haya considerado la importancia del agua en la producción de alimentos, observando las diferencias del consumo de agua entre un sistema tradicional y un sistema de producción hidropónica, donde se midió la cantidad de agua usada y las variables de rendimiento en dos variedades de cultivo de acelga (*Beta vulgaris* var. *Cicla* L.) variedad Verde Costa Larga y variedad Fordhook Giant.

1.1. Antecedentes

El cultivo de las plantas sin tierra (Hidroponía) es una técnica utilizada en todo el mundo desde hace muchos años atrás, ocupando un lugar importante dentro de la horticultura principalmente, usando bases científicas y comerciales existen grandes invernaderos con cultivos hidropónicos diversos en todo el mundo. Este sistema se adapta a varias condiciones ecológicas, con el fin de obtener verduras frescas permanentemente, tal es el caso que en países de climas secos y de altas temperaturas como Marruecos, Egipto e Israel se realiza esta práctica con mucho éxito.

Hay ejemplos de su uso en la antigüedad como ser los Jardines Colgantes de Babilonia o también existían en la antigua China, Las Chinampas de la cultura Azteca, en la India, Egipto, también en la cultura Maya. También es un hecho poco difundido que durante la segunda Guerra Mundial los ejércitos de USA en el pacífico se abastecían de alimentos gracias a la hidropónica. Los japoneses, por falta de espacio y de agua, desarrollaron la tecnología norteamericana a niveles asombrosos. La NASA el año 2013 empezó con su proyecto (Veggie) pretende cultivar vegetales como lechugas, tomates, pimientos, cebollas y rábanos para el consumo de los astronautas en órbita (Beltrano, Gimenez, 2015)

El consumo de agua durante todo el ciclo de los cultivos fue de 228 l/m² para el riego sub superficial y 450 l/m² para el riego tradicional (R. Chipana y G. Serrano, 2007).

1.2. Planteamiento del problema

El agua es un recurso natural vital, estratégico, finito, vulnerable y sus usos cumplen una función vital, social, ambiental, cultural y económica, por ello es importante aprovechar en forma eficaz, más aún cuando hay la posibilidad de realizar proyectos, para la implementación de sistemas de riego a nivel comunidades rurales del altiplano y valle. La comunidad y el área urbana cuenta con fuentes de agua, el cual debe ser aprovechado para satisfacer las necesidades hídricas de sus cultivos, mediante la implementación de proyectos de riego formas de cultivo alternativos, por ello es necesario contar con el adecuado diseño para la posterior construcción de obras.

1.3. Justificación

El agua es un recurso de gran importancia para el hombre y puesto que de este dependen muchos procesos productivos y es esencial para la salud humana y por ende para la vida, sin olvidar que es un recurso escaso, se vuelve necesario su uso racional. Esto implica un cambio en la visión del usuario que lleve a valorar el agua como un recurso finito que puede agotarse y considere que disponer de agua apta para consumo humano implica un costo económico y ambiental, por lo cual es necesario implementar tecnologías para el uso eficiente del agua lo cual es una necesidad crucial para garantizar la sostenibilidad de los recursos hídricos.

La hidroponía es una alternativa al problema de escasez de tierras agrícolas y de agua en todo el mundo, dado los principios científicos y técnicos en los cuales se basa la hidroponía, la convierten en una tecnología operativamente viable y sencilla, siendo una buena alternativa de solución a los problemas de producción de alimentos en nuestro país y la región, ya que los rendimientos por unidad de área cultivada son superiores al de un cultivo en campo tradicional, de 3 a 4 veces más gracias a las altas densidades de siembra y elevada producción por planta (Catacora, 1996).

La hidroponía es una alternativa para la agroindustria mexicana. Permite obtener altos rendimientos con 60% menos agua en comparación con el esquema abierto. (<http://www.manufactura.mx>)

La técnica de Raíces Flotantes es una de las técnicas con lo cual se logra una alta densidad de plantas, alto aprovechamiento del espacio capaz de mecanizarse y adaptarse a regiones limitadas de precipitación, suelos no aptos para la agricultura y de climas adversos.

Se entiende el "Cultivo sin Tierra" al método que provee los alimentos que requieren las plantas para su perfecto desarrollo, no por intermedio de su vía natural, la tierra, sino que por intermedio de una solución sintética de agua y sales minerales adecuadas (Barros, 2000).

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la producción hidropónica como alternativa a la problemática de escases de agua con el método de raíz flotante en dos variedades de cultivo de acelga (*Beta vulgaris* var. *Cicla* L.) variedad Verde Costa Larga y variedad Fordhook Giant en el Centro Experimental de Cota-Cota UMSA La Paz.

1.4.2 Objetivos específicos

- Comparar el crecimiento de las dos variedades de cultivo de acelga con respecto a la cantidad de agua utilizada al primer corte.
- Determinar el consumo de agua en las dos variedades de cultivo de acelga.

1.5. Metas

- Probar la eficacia de la solución utilizada en el cultivo de acelga.
- Determinar la cantidad de agua utilizada en los diferentes tratamientos al primer corte.
- Determinar la densidad de siembra de las dos variedades de acelga en el sistema de raíz flotante en carpas solares.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Contexto normativo

Para el presente trabajo se requiere el uso de las diferentes normativas estatales e institucionales que están involucrados en el sector de riego y áreas afines. Las leyes, decretos y reglamentos que regulan en Bolivia el aprovechamiento del recurso natural, como el agua, que han sido promulgados en gran parte recientemente en los últimos años, hallándose al presente varios de los cuerpos legales en proceso de reglamentación o aplicación.

Para ello nos basamos en la consulta bibliográfica referida a estos aspectos:

- CONSTITUCIÓN POLÍTICA DEL ESTADO, Capítulo V, de los Recursos hídricos, en el Artículo 373, El agua constituye un derecho fundamental para la vida, en el marco de la soberanía del pueblo. El estado promoverá el uso y acceso al agua sobre la base de principios de solidaridad, complementariedad, reciprocidad, equidad, diversidad y sustentabilidad. Los recursos hídricos en todos sus estados, superficiales y subterráneos, constituyen recursos finitos, vulnerables, estratégicos y cumplen una función social, cultural y ambiental. En el Artículo 374, “Es deber del estado gestionar, regular, proteger y planificar el uso adecuado y sustentable de los recursos hídricos, con participación social, garantizando el acceso al agua a todos sus habitantes.” En el Artículo 406, numeral 7, establece: “Promover sistemas de riego, con el fin de garantizar la producción agropecuaria”
- LEY N° 2878, de Promoción y Apoyo al Sector Riego para la Producción Agropecuaria y Forestal, de 8 octubre de 2004, mediante los decretos complementarios, hace énfasis al Reconocimiento y otorgación de derechos de uso y aprovechamiento de recursos hídricos para el riego. En sus V títulos, VI capítulos, 55 artículos y disposiciones finales, reglamenta la Ley de Promoción y Apoyo al Sector Riego para la Producción Agropecuaria y Forestal, en lo relativo a los derechos de uso y aprovechamiento de recursos hídricos para riego. Señalando, en el presente, algunas disposiciones: “Se establecen dos clases de Registro de uso y aprovechamiento de agua para riego: a) Registro Colectivo.- Es un acto administrativo que reconoce derecho de uso y aprovechamiento de fuentes de agua, otorgado a organizaciones de usuarios y asociaciones de sistemas de riego correspondientes a pueblos y organizaciones indígenas, originarias, campesinas, regantes, colonizadores, ayllus, Organizaciones Económicas Campesinas – OECA, asociaciones de pequeños productores agropecuarios y forestales y otras formas de organización social comunitaria que usan agua para actividades agropecuarias y forestales. b) Registro Familiar.- Es un acto administrativo que reconoce derecho de uso y aprovechamiento de fuentes de agua, otorgado a familias de pequeños productores agropecuarios o forestales, familias campesinas, indígenas u originarias que pertenecen y están afiliadas a una organización campesina, económica, indígena u originaria, asociaciones, organizaciones de regantes,

colonizadores, cuyo uso de la fuente de agua es de alcance exclusivamente familiar según usos y costumbres. “El Registro Colectivo tiene prioridad sobre el Registro Familiar.” “El incumplimiento de las obligaciones establecidas, se considerará infracción grave y estará sujetas a las sanciones previstas en el Reglamento aprobado por los Directorios del SENARI y los SEDERI.” “Preparación e implementación de un plan de gestión integral de recursos hídricos para la preparación e implementación de proyectos de riego.”

- LEY DE MEDIO AMBIENTE, Ley 1333, la Reglamentación de la ley del Medio Ambiente, en materia de contaminación hídrica, en el Artículo 2, establece la aplicabilidad a toda persona natural o colectiva, pública o privada y en el Artículo 48, menciona que el caudal de captación de agua, deberán ser como promedio diario, menores al 20% del caudal mínimo diario del río, con un periodo de retorno de 5 años.
- LEY DE MUNICIPALIDADES, Ley 2028, en el Título I, Capítulo I, artículo 5 (finalidad), inciso 1, “Promover y dinamizar el desarrollo humano sostenible, equitativo y participativo del municipio, a través de la formulación y ejecución de políticas, planes, programas y proyectos concordantes con la planificación del desarrollo departamental y nacional”. En Capítulo II, Artículo 8 (competencias), señalan: inciso 1, “Construir, equipar, mantener la infraestructura en los sectores de microriego...”; inciso 3, “El Gobierno Municipal establecerá normas de financiamiento para la construcción, equipamiento y mantenimiento de infraestructura y servicios en el sector de microriego”

2.2. Marco conceptual

En la presente investigación se analizó los diferentes aspectos relativos a los conceptos y líneas de base que requiere cada una de las actividades, particularmente en aspectos agronómicos, hidropónicos, para ello en la propuesta se detallan de la siguiente manera:

2.2.1. El recurso hídrico y su importancia

El cambio climático podría afectar de manera notable al ciclo hidrológico, alterando la intensidad y la distribución temporal y espacial de la precipitación, de la escorrentía de la superficie y de la recarga de agua, produciendo impactos diversos sobre diferentes ecosistemas naturales y actividades humanas. Las áreas áridas y semiáridas serán particularmente vulnerables a un cambio en la disponibilidad de agua. Los impactos sobre los recursos de agua podrían ser suficientes para provocar conflictos entre usuarios, regiones y países (IPCC, 2001).

El cambio climático causará un importante impacto en nuestros recursos hídricos y algunos de estos efectos son ya visibles. Prácticamente la totalidad de los países de la región de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (UNECE), y más allá, se verán afectados negativamente por la enorme repercusión de una mayor frecuencia e intensidad de las inundaciones y sequías, una mayor escasez de agua, un agravamiento de la erosión y sedimentación, una reducción de los glaciares y del manto de nieve, la subida del nivel del mar y una degradación de la calidad del agua y de los ecosistemas. Además, el impacto del cambio climático en los recursos hídricos provocará un efecto en cadena sobre la salud humana y en muchos ámbitos de la economía y la sociedad ya que sectores tales como la agricultura, la energía y la energía hidroeléctrica, la navegación, la salud, el turismo dependen directamente del agua, al igual que el medio ambiente (UNECE 2017).

La seguridad alimentaria está estrechamente relacionada con la seguridad hídrica. Entre el 30 y el 40 por ciento de los alimentos del mundo procede de las tierras de regadío (el 17 por ciento del total de tierras cultivadas) En el próximo siglo, la seguridad y estabilidad de los suministros de alimentos guardarán una estrecha relación con el éxito en la regulación del agua (FAO, 2006).

La escasez de agua pone en riesgo la producción de alimentos, que deberá aumentar un 60 % para satisfacer la demanda de una población estimada de 9.000 millones de personas en el año 2050, según la Organización de la ONU para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2006).

2.2.2. Usos del agua

Según Vuille (2007) la humanidad inicialmente, utilizó el agua en sus formas más simples; como consumo directo, para calmar la sed, demanda que ha sido estimada en un promedio del orden de 5 litros por hora por día e indirectamente como componente de los alimentos de origen vegetal y animal. En volumen hubo agua en exceso. Algunos miles de años después hay escasez, que se acentúa cada vez más y según una tasa geométrica de crecimiento poblacional. La causa genérica es el “desarrollo” socio-económico de la humanidad. Desde hace mucho tiempo, la mayor parte del agua consumida por el hombre se destina a la agricultura, que actualmente absorbe alrededor del 70 por ciento del agua extraída en el mundo, el 30 por ciento restante se destina a usos domésticos, municipales e industriales. El clima y la economía influyen en la utilización del agua que se extrae de los cursos naturales. La mayor parte del agua utilizada en la agricultura se destina al riego de los 250 millones de hectáreas que existen aproximadamente en el mundo.

2.2.3. Uso agrícola del agua en Bolivia

Los datos de esta fundación señalan que no todo el territorio tiene el mismo acceso al líquido elemento, pero las reservas más importantes del agua dulce serían el Izozog, Parapetí, el Pantanal, los lagos Poopo y Uru Uru, el lago Titicaca, entre los principales.

El consumo del agua potable en la región oriental de Bolivia es de “250 litros por habitante al día y en el caso del occidente sólo 80 litros por habitante. El sector que explota más cantidad de agua es la industria principalmente el sector agrario que absorben por mes unos 40 hectómetros cúbicos, y el sector minero, haciendo el 86% de las extracciones totales. El restante 14% se distribuye para otros usos; dentro de este porcentaje, consumido en las ciudades, el 75% es para consumo doméstico, el 15% consumo comercial, el 3% industrial y el 6% para otros usos”.

De acuerdo al artículo 373 de la Constitución Política del Estado (CPE) “el agua constituye un derecho fundamentalísimo para la vida, en el marco de la soberanía del

pueblo. El Estado promoverá el uso y acceso al agua sobre la base de principios de solidaridad, complementariedad, reciprocidad, equidad, diversidad y sustentabilidad”.

Los datos del Ministerio de Medio Ambiente y Agua señalan que el nivel central trabaja en proyectos de agua potable, como la construcción, ampliación y mejoramiento de sistemas de agua de baja complejidad; proyectos de riego como represas menores, captación, aducción, almacenamiento, conducción y perforación de pozos; proyectos abrevadero animales, riego de bofedales, cosecha de agua (atajados, vigiñas, otros). Todo para que la población pueda acceder a este recurso.

El Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) sostiene que Bolivia está haciendo una apuesta fuerte a una política pública de largo plazo para el Sector Agua y Saneamiento, “la inversión pública en el Sector pasó de US\$ 83 MM en 2008 a cerca de USD 300MM en 2013 (Participación del 10% del total de la IP)” (IPDRS, 2018)

El uso agrícola del agua en Bolivia por medio de sistemas de riego es de limitado aprovechamiento. Se estima que el 2003 en Bolivia existían 1.800.000 hectáreas de tierra cultivadas de las cuales tenían riego unas 226.564Ha, la mayoría bajo el sistema de micro riego y generalmente organizado bajo el control de comunidades o asociaciones campesinas (SENARI, 2007).

2.2.4. El cambio climático

El cambio climático es la alteración de las temperaturas locales normales y la modificación en el comportamiento de lluvias y vientos en prolongados espacios de tiempo debido al incremento en la temperatura de la tierra por la excesiva presencia de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (CIPCA, 2009).

Por otro lado el PNCC, (2007) define al cambio climático como las alteraciones ocurridas en el clima, como consecuencia directa o indirecta de las actividades humanas. Estas alteraciones se han generado sobre todo desde la era industrial, un aumento en la concentración de Gases de

Efecto Invernadero provocando un incremento en la temperatura global y produciendo una serie de impactos negativos en los diversos ecosistemas. El cambio climático, supone quizás, el mayor reto de adaptación de mediano y largo plazo para economías en vías de desarrollo en el mundo (PNUD, 2008). CIPCA, (2009) menciona que la población mundial ha empezado a sentir los efectos del cambio climático a través de fenómenos como inundaciones, sequías, cambios en temporadas de lluvias, frío y calor intenso, incendios, derretimiento de hielos en los nevados, especies vegetales y animales amenazadas de extinción. Si no se toman medidas, en los próximos años los eventos climáticos podrían causar serios problemas a poblaciones vulnerables.

2.2.5. Calentamiento global

Para PNCC, (2007) calentamiento global es el aumento de la temperatura de la superficie terrestre como consecuencia de las actividades del ser humano, que generan a su vez una alteración significativa en la variabilidad climática y un desequilibrio en la composición atmosférica por el aumento de los llamados Gases de Efecto Invernadero (GEI). El dióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso son los tres gases de efecto invernadero más importantes, aunque el primero es el más relevante dado que su vida media en la atmosfera es de aproximadamente 100 años.

2.2.6. Efecto invernadero

El PNCC (2007) menciona que, el efecto invernadero es un fenómeno natural que permite que la tierra reteniendo la energía del sol, conserve la temperatura adecuada para garantizar la vida en ella. La tierra recibe constantemente rayos de energía del sol, una parte de estos se pierden entre las nubes, pero la mayoría de ellos atraviesan la atmosfera y llegan a la superficie terrestre para calentarla. Los océanos también son calentados por esta energía solar.

Del total de la energía liberada por la Tierra a la atmósfera una porción queda atrapada en la atmósfera donde habitan los llamados Gases de Efecto Invernadero (GEI), llamados así dado que poseen la cualidad de absorber y reenviar la radiación proveniente de la superficie terrestre (PNCC, 2007).

2.2.7. Consumo de agua en un sistema tradicional

En las zonas bajas del altiplano boliviano el consumo de agua en los cultivos de lechuga y nabo bajo el sistema tradicional es de 450 litros por metro cuadrado, teniendo una densidad de siembra de 10 plantas por metro cuadrado (Chipana y Serrano, 2008).

2.2.8. El agua y la planta

Las raíces absorben agua del suelo para permitir la subsistencia y crecimiento de las plantas, la mayor parte de esta agua absorbida no es retenida en la planta, sino que escapa a la atmósfera en forma de vapor a través de las hojas y tallos verdes. Las raíces tienen dos funciones: anclar la planta, es decir, servir de medio para fijarla en el suelo y absorber el agua y las materias nutrientes que obtienen del suelo (Peñaranda, 2003).

2.2.9. La hidroponía

Rodríguez *et al.* (2002) citado por Urey (2007), menciona que el término “hidroponía” es usado solo para describir sistemas basados en agua. Pero en el sentido más amplio, el término es el de cultivo sin suelo. Por lo tanto, “un cultivo hidropónico o cultivo sin suelo, es un sistema aislado del suelo utilizado para cultivar diversos tipos de plantas de importancia económica. El crecimiento de las plantas es posible por un suministro adecuado de todos sus requerimientos nutricionales a través del agua o solución nutritiva”.

Se entiende el “cultivo sin tierra” al método que provee los alimentos que requieren las plantas para su perfecto desarrollo, no por intermedio de su vía natural, la tierra, sino que por intermedio de una solución sintética de agua y sales minerales adecuadas (Barros, 2000).

Sánchez (2004), indica que una cualidad importante al cultivar plantas en un medio sin tierra es que permite tener más plantas en una cantidad limitada de espacio, las cosechas maduraran más rápidamente y producirán rendimientos mayores, se conservan el agua y los fertilizantes, ya que pueden reciclarse, además, la hidroponía

permite ejercer un mayor control sobre las plantas, con resultados más uniformes y seguros.

Resh (2005), menciona en cuanto a la salud y alimentación, este sistema es importante porque la hidroponía provee de alimentos frescos de alto valor nutritivo (vitaminas, proteína, fibra y minerales), siendo mejor la calidad del producto, ante la menor presencia de plagas y enfermedades y por lo tanto de contaminación de productos tóxicos por el menor uso de pesticidas¹⁰ contribuyendo así en la conservación del medio ambiente.

La hidroponía es considerada como un sistema de producción agrícola apto para la siembra de hortalizas, plantas ornamentales y medicinales, almácigos, forrajes, producción de algas y semillas certificadas en lugares donde estos productos son de difícil accesibilidad, pudiendo ser posible la obtención de varias cosechas al año y de la misma especie (Malca, 2001).

Es un método utilizado para cultivar plantas en donde se prescinde del uso del suelo y se utilizan soluciones minerales para su nutrición (Resh, 2005).

Los sistemas que utilizan la solución nutritiva (SN) hacen un uso más eficiente de los fertilizantes dando más ventajas al productor porque tienen ahorros de fertilizantes, causan menor impacto ambiental, disminuyen la contaminación de suelos y hay también una disminución de uso del agua se obtienen rendimientos de los cultivos mayores a los sistemas de producción tradicionales (Dasgan y Ekici, 2005).

2.2.10. Hidroponía y el uso sostenible del agua

A pesar de la gran importancia del agua para el crecimiento y desarrollo de las plantas (para la fotosíntesis y para el transporte de nutrientes), la cantidad de este recurso requerido para un cultivo hidropónico es pequeño, se estima que entre el 5 y el 8%. Estos valores son muy pequeños cuando se compara la cantidad de agua requerida para la transpiración de las plantas. Al considerar la suma de la transpiración más evaporación, estos valores se vuelven aún más significativos. Cuantitativamente, para

producir 1 kg de trigo, se necesitan 1.000 kg de agua. Ya para 1 kg de arroz, se necesitan 2.500 kg de agua (Barbado, 2005).

Así, la utilización de sistemas agrícolas sostenibles en términos de uso eficiente del agua es de fundamental importancia en los días actuales, visto los períodos de sequía cada vez más habituales, el uso de la hidroponía como sistemas sostenible para la economía de agua es muy importante en este contexto de escasez de agua, principalmente en las regiones áridas, el uso de la hidroponía se destaca como medida mitigadora para tal problema (Barbado, 2005).

El uso de la hidroponía se vuelve aún más relevante para la producción de hortalizas, por, ahorrar cerca de 50 a 70% de agua disponible a las plantas, ya que las tasas de evaporación, escurrimiento superficial y percolación son significativamente reducidas. Estas tasas son aún más expresivas cuando el cultivo se realiza en un ambiente protegido (invernaderos). Fisiológicamente, una planta para formar 1 g de masa seca, necesita de 500g de agua transpirada (Izquierdo, 2005).

Así, al considerar una lechuga de 500g de masa fresca y, que la concentración de agua en ésta se acerca al 90%, podemos suponer que para que esta planta consiga crear el 10% de masa seca (50g), ella necesitará en el ciclo de vida (de aproximadamente 40 días), 25.000 g de agua, es decir, 25 L de agua. Sin embargo, podemos considerar que la evaporación, la percolación y el flujo superficial pueden triplicar este consumo, llegando a 75 L / planta / ciclo. Con el uso de la hidroponía, se estima que el consumo de agua para el crecimiento de esta misma planta se aproxime al consumo del agua transpirada, es decir, 25 L, representando una significativa economía del agua (Uribe, 2001)

En la técnica hidropónica de “Raíces Flotantes” las plantas crecen sobre agua sin la presencia de sustrato, el sistema radicular se encuentra sumergido totalmente en una solución nutritiva (SN) la cual brinda los nutrientes que requiere dicha planta para crecer (Resh, 2005).

2.2.11. Técnica de raíz flotante

La producción de hortalizas bajo este sistema consiste en que las raíces están sumergidas en solución nutritiva, las plantas se encuentran en planchas de poli estireno expandido que flotan sobre el agua con la solución nutritiva en donde la plancha actúa como soporte mecánico y cada una flota sosteniendo un determinado número de plantas, y muy importante para lograr una buena producción es airear la solución nutritiva en forma manual o mecánica (Duran, 2000).

Alvarado, Chavez, Anna (2001), señalan que es un sistema de cultivo muy utilizado en los proyectos de hidroponía social en diferentes países latinoamericanos.

2.2.12. Características del cultivo de acelga

Valadez (1993), indica que la acelga es una hortaliza cuya parte comestible la constituyen las hojas, aunque también pueden consumirse los pecíolos, se le considera como una planta semi-perenne y de rebrote permanente. Posee un gran contenido de vitaminas A y C.

Es una planta bienal y de ciclo largo que no forma raíz o fruto comestible, donde el vástago floral alcanza una altura promedio de 1.20 m. (Suquilanda, 1995).

Es una remolacha que se cultiva por sus pecíolos y hojas suculentas. A medida que se cortan se forman nuevas hojas, en esta forma la planta está en producción durante una temporada de crecimiento relativamente larga (Villon, 2002).

Para Alonzo (2004), su origen se sitúa posiblemente en las regiones costeras de Europa, a partir de la especie *Beta marítima*, obteniéndose por un lado la acelga y por el otro la remolacha (variedad vulgaris). Fueron los árabes quienes iniciaron su cultivo hacia el año 600 a.C. Tanto los griegos como los romanos conocieron y apreciaron las acelgas como alimento y como planta medicinal. En la actualidad, Europa central y meridional, y América del Norte, son las principales zonas productoras.

Según Woodland (1991), mencionado por Ube (2014), la acelga pertenece a la división de las plantas con flores dicotiledóneas y está situada dentro de la familia de las Quenopodiaceae. Esta familia incluye más de 100 géneros y unas 1500 especies. Su distribución es amplia, pero principalmente se encuentran en zonas áridas y semiáridas templadas y subtropicales.

2.2.12.1. Origen

Los primeros informes que se tienen de esta hortaliza la ubican en la región del Mediterráneo y en las Islas Canarias (Vavilov, 1951). Aristóteles hace mención de la acelga en el siglo IV a.C. La acelga ha sido considerada como alimento básico de la nutrición humana durante mucho tiempo.

2.2.12.2. Clasificación taxonómica

Según Rojas (2006), la acelga ha sido clasificada de acuerdo al siguiente sistema:

Taxonomía de la Acelga

Orden	Caryophyllales
Familia	Chenopodiaceae
Género	<i>Beta</i>
Especie	<i>Beta vulgaris</i> var <i>cicla</i> L.
Nombre común	Acelga
Otros nombres	Beta, Betarraga blanca, selga, etc.

Fuente: Rojas, (2006)

2.2.12.3. Descripción botánica

Maroto, (1989) mencionado por Flores (2007) indica que, la acelga es una planta bianual, pertenece a la misma especie botánica que la remolacha pero de raíz menos hinchada, de hojas muy grandes, con los pecíolos y nervadura central muy desarrollada, limbos foliares gruesos y enteros, redondeados, algo escotados en su zona media baja y en ocasiones recubierto hasta su incisión, color variable, entre verde

claro y oscuro según la variedad, en el segundo año emite el tálamo floral formando la inflorescencia.

Paz y Souza-Egipsy (2003) mencionado por Mamani (2015) indica que, se trata de una especie bienal que se cultiva como anual, porque la floración aparece en el segundo año y las hojas adquieren un sabor amargo cuando inicia la floración.

Ramírez (2006) afirma que, la acelga es una planta bienal y de ciclo largo que no forma raíz o de fruto comestible. En el primer año de vida es cuando se recogen las hojas, cuando son jóvenes y tiernas y se encuentran situadas al pie de la planta en forma de roseta. Durante este año, este vegetal tiende a centrar toda su producción en el desarrollo de sus hojas mientras que la raíz se encuentra poco engrosada. En el segundo año la planta empieza su floración para la producción de semilla, y engrosar su raíz.

2.2.12.4. Morfología de la acelga

De acuerdo a Agroes.es (2018) la morfología de la acelga es la siguiente:

- a. Planta.** - la acelga es una planta bianual y de ciclo largo que no forma raíz o fruto comestible.
- b. Sistema radicular.** - la raíz del cultivo de acelga es bastante profunda y fibrosa.
- c. Hojas.** - constituyen la parte comestible y son grandes de forma oval tirando hacia acorazonada; tiene un pecíolo o penca ancho y largo, que se prolonga en el limbo; el color varía, según variedades, entre verde oscuro fuerte y verde claro. Los pecíolos pueden ser de color crema o blancos.
- d. Flores.** - para que se presente la floración necesita pasar por un período de temperaturas bajas. El vástago floral alcanza una altura promedio de 1.20 m. La inflorescencia está compuesta por una larga panícula. Las flores son sésiles y hermafroditas pudiendo aparecer solas o en grupos de dos o tres. El cáliz es de color verdoso y está compuesto por 5 sépalos y 5 pétalos.

- e. **Fruto.** - las semillas son muy pequeñas y están encerradas en un pequeño fruto al que comúnmente se le llama semilla (realmente es un fruto), el que contiene de 3 a 4 semillas.

2.2.13. Requerimientos del cultivo

2.2.13.1. Temperatura

La acelga es una planta de clima templado, que vegeta bien con temperaturas medias; le perjudica bastante los cambios bruscos de temperatura. Las variaciones bruscas de temperatura, cuando las bajas siguen a las elevadas, pueden hacer que se inicie el segundo periodo de desarrollo, subiéndose a flor la planta.

Valadez, (1996) citado por flores (2007) menciona que, es importante la temperatura para germinar entre 10°C a 25°C emergiendo los cotiledones a los 8 a 10 días la temperatura óptima para el desarrollo 15°C a 18°C sin embargo a temperaturas entre 4,5°C a 18°C emite el vástago floral, en regiones tropicales se desarrolla bien, puede ser perenne debido a la ausencia de invierno.

Paz y Souza-Egipsy (2003) citado por Mamani (2015) afirma que, el clima más adecuado para el desarrollo de la acelga debe ser suave y templado, nunca caluroso, y que con estas características, se podrá obtener una mejor cosecha.

Por otra parte Ramírez (2006) menciona que, las acelgas pueden cultivarse desde zonas cálidas moderadas (1.200 m.s.n.m.), hasta áreas de clima frío; no tolera heladas y granizo (2.500 m.s.n.m.). Necesitan preferiblemente climas suaves aunque pueden vivir en cualquier tipo de clima, siempre que no baje a los -5°C o que supere los 40°C. La temperatura ideal de producción se sitúa entre los 15°C y 18°C, aunque se vienen produciendo en lugares con climas que se sitúan entre -1°C y 38°C. Su producción es más elevada cuando el clima es fresco pero pueden aguantar y producir en lugares y climas calientes.

La planta se hiel a cuando las temperaturas son menores de -5°C y detiene su desarrollo cuando las temperaturas bajan de 5°C. En el desarrollo vegetativo las temperaturas

están comprendidas entre un mínimo de 6°C y un máximo de 27 a 33° C, con un medio óptimo entre 15 y 25° C. Las temperaturas de germinación están entre 5°C de mínima y 30 a 35°C de máxima, con un óptimo entre 18 y 22°C. (Terranova, 1995).

2.2.13.2. Luminosidad

No requiere excesiva luz, perjudicándole cuando ésta es elevada, si va acompañada de un aumento de la temperatura. La humedad relativa está comprendida entre el 60 y 90% en cultivos en invernadero (Aguilar, 1993).

En algunas regiones tropicales y subtropicales se desarrolla bien, siempre y cuando esté en zonas altas y puede comportarse como perenne debido a la ausencia de invierno marcado en estas regiones (Terrazas, 2000).

2.2.13.3. Suelo

La acelga necesita suelos de consistencia media; vegeta mejor cuando la textura tiende a arcillosa que cuando es arenosa. Requiere suelos profundos, permeables, con gran poder de absorción y ricos en materia orgánica en estado de humificación.

2.2.13.4. pH

Es un cultivo que soporta muy bien la salinidad del suelo, resistiendo bien a cloruros y sulfatos, pero no tanto al carbonato sódico. Requiere suelos con un pH óptimo comprendidos entre 5,5 y 8 no tolerando los suelos ácidos.

Necesita una humedad elevada y constante en el suelo, por lo que si no llueve lo suficiente, son imprescindibles los riegos (Alonzo, 2004).

2.2.14. Ciclo del cultivo

De acuerdo a Seymour (1999), los elementos que deben considerarse en el ciclo de cultivo son los siguientes:

Vida útil	: 2 años.
Inicio de cosecha	: 2 a 3 meses.
Recolección de hojas:	manual.
Rendimiento	: entre 15. 000 y 20. 000 kilos por hectárea.

2.2.15. Plagas y enfermedades

El cultivo de la acelga puede ser afectada por plagas y enfermedades como ser:

2.2.15.1. Plagas

Las plagas que atacan a la acelga son:

a) Nematodo de la remolacha

(*Heterodera schachtii* Smith). Se observan nudosidades que llevan consigo el marchitamiento de las plantas. Lucha: desinfección del suelo.

b) Pegomia o mosca de la remolacha

(*Pegomya betae* Curtis). Se observan manchas apergaminadas translúcidas que indican la existencia de galerías, en las que albergan las formas larvarias. Lucha: control químico mediante pulverización.

c) Pulgones

(*Aphis fabae* Scop y *Myzodes persicae* Sulz). En el envés de las hojas se desarrollan colonias, provocando un crispamiento del follaje. Lucha: pulverización de aficidas.

2.2.15.2. Enfermedades

2.2.15.2.1. Enfermedades que atacan a las semillas

a. *Pythium spp.* y *Rhizoctonia solani*

Los síntomas de esta enfermedad se dividen en dos clases: los que aparecen antes de que las semillas germinen, y los que aparecen después (post-emergencia). Durante la primera, las semillas pueden simplemente no germinar y comenzar a podrirse, o bien

comenzar a germinar (emitir raíz) y que ésta se pudra antes de que los cotiledones emerjan. Lucha: desinfección de simientes con un fungicida (tiram).

2.2.15.2.2. Enfermedades que atacan a las hojas

b. Mildiu de la acelga

(*Peronospora spimaceae* Laub, *P. Farinosa* y *P. Efusa* (Gw) Tul). En el haz aparecen manchas de contorno indefinido, con un color verde pálido que más tarde pasa a amarillo. En el envés estas manchas se cubren con un abundante gris violáceo. Se produce con altas humedades relativas. Lucha: rotaciones de cultivos, desinfección de las simientes, uso preventivo de fungicidas, empleo de variedades resistentes.

c. *Pythium ultimum* Trow

En este caso se observan los típicos síntomas de vuelco y marchitamiento a causa del desarrollo de una lesión necrótica a nivel del cuello. Las raíces también se presentan necrosadas. Las hojas se tornan más pequeñas, se engrosan y se vuelven quebradizas.

d. *Pythium bryanum* Hesse

El follaje se marchita y se vuelve clorótico. La raíz principal se encuentra necrosada desde su extremidad hasta unos 8-10 mm del cuello.

2.2.16. Valor nutricional y medicinal de la acelga

García (2013), mencionado por Bolívar (2017), reporta el valor nutritivo y medicinal de la acelga que se describe a continuación.

- a) La acelga posee un importante valor nutricional y medicinal. Es una verdura con cantidades mínimas de hidratos de carbono, proteínas y grasas, dado que su mayor peso se lo debe a su elevado contenido en agua. Por ello resulta una poco energética, aunque es rica en nutrientes

reguladores, como ciertas vitaminas, sales minerales y fibra. Sus hojas más externas son las más vitaminadas.

- b)** En la acelga, el mineral más abundante es el potasio. Sin embargo, se destaca por su mayor contenido en magnesio, sodio, yodo, hierro y calcio.
- c)** El potasio es un mineral necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso para la actividad muscular normal. Interviene también en el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula.
- d)** El magnesio se relaciona con el funcionamiento de intestino, nervios y músculos, forma parte de huesos y dientes, mejora la inmunidad y posee un suave efecto laxante.
- e)** El yodo es un mineral indispensable para el buen funcionamiento de la glándula tiroidea, que produce las hormonas tiroideas. Éstas intervienen en numerosas funciones metabólicas, como el mantenimiento de la temperatura y metabolismo corporal. Asimismo, el yodo es esencial en el crecimiento del feto y en el desarrollo de su cerebro.
- f)** Goza de numerosas aplicaciones medicinales y alimenticias, por ser refrescante, digestiva, laxante y diurética.
- g)** Por su escaso valor energético constituye un alimento idóneo para preparar platos de verduras, recomendables en especial, para quienes siguen una dieta de adelgazamiento.
- h)** Tiene un excelente contenido de folatos, es una opción fundamental en la alimentación de la mujer embarazada.
- i)** Es rica en fibra presenta por ello posee propiedades laxantes, por lo tanto, previene o mejora el estreñimiento.
- j)** Tiene un abundante contenido en agua y potasio, resulta diurética, lo que es beneficioso en un buen número de afecciones, como la hipertensión, retención de líquidos y oliguria (producción escasa de orina).
- k)** La falta de hierro o de ácido se relaciona con distintos tipos de anemia. En la acelga sobresalen estos nutrientes, lo que hace que sea interesante para incluirla en caso de anemia. Si se toma cruda en ensalada, su contenido natural en vitamina C favorece la absorción de hierro.

En el cuadro 1, Encontramos el valor nutricional de la acelga.

Cuadro 1.
Valor Nutricional del cultivo de Acelga en 100 gramos de producto fresco.

Agua (%)	0,25
Grasas (g)	2,86
Fibra (g)	3,5
Hierro (g)	99
Calcio (g)	2,71
Vitamina A (U.I.)	79
Vitamina C (mg)	49

Fuente: Infoagro (2018)

2.2.17. Hidroponía

Chang (2000), mencionado por Ube (2014), expone que el rango óptimo de conductividad eléctrica para un estado de crecimiento del cultivo se establece entre 1.5 a 2.5 ppm, cuando la solución nutritiva sobre pasa el límite del rango óptimo de conductividad eléctrica, se procede agregar agua o en caso contrario si se encuentra por debajo del rango deseado, deberá renovarse totalmente.

Filippetti (2008), mencionado por Ube (2014), expresa que hidroponía es la forma de cultivar plantas sin tierra. Para ello, se utiliza una combinación precisa de diferentes sales minerales que contienen todos los nutrientes que requieren las plantas para su desarrollo y que habitualmente les entrega la tierra, diluidas en agua potable (solución nutritiva), la cual se aplica directamente a las raíces de diferente forma, según el método de cultivo hidropónico que se adopte.

Terrazas (2000), sostiene que la nutrición mineral es una rama muy importante de la fisiología vegetal. La hidroponía desarrolló un papel importante en la investigación de

cual y cuantos elementos se requiere para el desarrollo de una planta y en qué cantidades deben suministrarse para optimizar el desarrollo y producción de los cultivos.

Según Rodríguez, Hoyos, Chang (2002), hidroponía es un término que tiene raíces griegas: "Hydro" = agua y "ponos" = trabajo, quiere decir "trabajo en agua". Este término fue acuñado en 1930 por el profesor William Gericke de la Universidad de California.

El término "hidroponía" es usado sólo para describir sistemas basados en agua. Pero en el sentido más amplio, el término es el de cultivo sin suelo. Por lo tanto, "un sistema hidropónico o cultivo sin suelo, es un sistema aislado del suelo, utilizado para cultivar diversos tipos de plantas de importancia económica.

El crecimiento de las plantas es posible por un suministro adecuado de todos sus requerimientos nutricionales a través del agua con solución nutritiva. El cultivo hidropónico o cultivo sin tierra, es una forma de producir verduras frescas y sanas en lugares en donde no es posible desarrollar agricultura, como complemento de la dieta familiar (Catacora, 1996).

Rodríguez, Hoyos, Chang (2002), indica que los cultivos sin suelo, también denominados cultivos hidropónicos, surgen como una alternativa a la Agricultura tradicional, cuyo principal objetivo es eliminar o disminuir los factores limitantes del crecimiento vegetal asociados a las características del suelo, sustituyéndolo por otros soportes de cultivo y aplicando técnicas alternativas.

Según Huterwal (1991), con el método hidropónico la planta debe encontrar mismas condiciones ambientales que le ofrece la naturaleza con lo cual reacciones químicas en el interior del tejido vegetal quedan facilitadas. De ahí la importancia esencial de la solución nutritiva bien formulada y aplicada puesto que la planta absorberá sin esfuerzo los nutrientes, sin necesidad de que sus raíces se extiendan largamente evitando gasto de energía.

Todo esto es posible por la relación entre la planta y los elementos nutritivos. No es tierra lo que la planta necesita, son las reservas de nutrientes, y humedad contenida en la tierra, así como el sustento que la tierra da a la planta (Sánchez, 2004).

2.2.17.1. Ventajas y desventajas del cultivo hidropónico

Para poder comenzar a trabajar bajo un sistema hidropónico es necesario tener en cuenta todas las ventajas y desventajas.

Sánchez y Escalante (2004), menciona las siguientes ventajas y desventajas:

- **Ventajas del cultivo hidropónico**

La hidroponía presenta una serie de ventajas tanto en lo técnico como en lo económico, con respecto a otros sistemas de producción como describe Sánchez y Escalante (2004):

- Reduciendo la posibilidad de problemas causados por plagas y enfermedades disminuye, permitiendo un mejor control de estos.
- La incidencia de malezas es nula o casi nula.
- La incidencia de problemas radicales causados por plagas y enfermedades disminuye. - Permite producir cosechas fuera de estación.
- Al ser un sistema cerrado, en donde el drenaje es reutilizado, se puede conseguir un ahorro de agua de hasta un 90%.
- Por el hecho de tener controlado dicho drenaje se evita la contaminación del suelo y acuíferos.
- Se puede realizar en terrenos desérticos, áridos y pedregosos no apto para cultivo tradicional.
- Permite una mayor densidad de plantas por metro cuadrado.
- Se ahorra en fertilizantes e insecticidas.
- Se evita el manejo de maquina agrícola (tractores, rastras, etc.).
- El sistema permite una fácil limpieza e higiene en el manejo del cultivo.

- Existe una mayor precocidad de los cultivos y mayor potencial productivo, debido a que la planta cuando toca la solución nutritiva, consume menos energía para su desarrollo.
- Existe un alto porcentaje de automatización.
- Se corrige fácil y rápidamente la deficiencia nutricional.
- Se espera una rápida recuperación de la inversión.
- Se puede cultivar en ciudades, zonas áridas o frías.
- Se obtiene una óptima relación aire/agua en el sistema radicular de la planta, favoreciendo por tanto el desarrollo del cultivo.
- La nutrición está mucho más controlada que en los sistemas de cultivo en suelo.
- La producción es intensiva, lo que permite tener mayor número de cosechas por año.
- El uso de agua potable o de pozo, garantiza que el cultivo hidropónico sea un producto libre de contaminación y de enfermedades.
- No requiere de rotación de cultivos para evitar una infestación de nematodos en las raíces, se trabaja de forma intensiva y continuamente con monocultivo.
- Se utiliza menos mano de obra al suprimir los trabajos de incorporación de abonados de fondo, preparaciones de suelo y eliminación de malas hierbas, mejorando y facilitando en general las condiciones de trabajo.
- El precio de las hortalizas hidropónicas es mayor, posee un valor agregado por su procedencia.

- **Desventajas del cultivo hidropónico**

Antes de iniciar un proyecto hidropónico, es importante conocer el manejo agronómico del cultivo porqué, muchos proyectos, sobre todo aquellos con "llave en mano", han fracasado debido a las falsas expectativas de altos retornos que ofrecían las empresas proveedoras, sin tener en cuenta el conocimiento de las plantas, plagas y enfermedades (Sánchez y Escalante 2004).

La hidroponía es una tecnología atractiva, frecuentemente sobre simplificada, la cual es más fácil de promover que de sostener. Desafortunadamente, los fracasos exceden

grandemente a los éxitos, debido a la inexperiencia o a la falta de apoyo técnico y científico". Entre las desventajas podemos considerar:

- El costo inicial de implementación es elevado.
- Es necesario un conocimiento técnico de las plantas como también del sistema hidropónico para poder operarlo correctamente.
- La materia orgánica y los animales benéficos del suelo están ausentes.
- Las variedades de plantas disponibles no son siempre las mejores.
- Se debe tener sumo cuidado con las soluciones de nutrientes para no ocasionar alteraciones en el crecimiento de las plantas ya sea por excesos o deficiencias nutricionales.
- Se debe tener mucho cuidado cuando se trata del control de factores ambientales como el pH, la temperatura, la humedad, etc. Puesto que el mal manejo de alguna puede ocasionar la pérdida del cultivo.
- El desconocimiento del manejo agronómico puede reducir significativamente los rendimientos.

2.2.17.2. Métodos hidropónicos

Existen diferentes métodos o sistemas de producción hidropónica, desde los más simples, de trabajo manual, hasta los más sofisticados, donde un alto grado de tecnología y automatización son los protagonistas del funcionamiento, lo que se traduce también en una alta inversión (Alvarado, Chavez, Anna 2001).

Duran (2000), agrega que dependiendo del medio en el que se desarrollan las raíces, los sistemas de cultivo sin suelo se pueden clasificar en tres grupos: cultivos en sustrato, cultivos en agua y cultivos en aire.

Alvarado, Chavez, Anna (2001), señalan que los métodos de cultivos, más utilizados son: cultivos en agua como raíz flotante y el NFT (Nutrient Film Technic), sistemas de columnas, aeroponía, entre otros.

En síntesis, el cultivo de plantas sin suelo, puede ser desarrollado de la manera más simple y económica, hasta la más compleja y costosa.

En el cuadro 2, se observa los métodos hidropónicos:

Cuadro 2.
Técnicas Hidropónicas

Técnica	Descripción
Recirculante	NFT (técnica de película nutritiva)
Recirculante	DFT (técnica de flujo profundo)
Estacionaria	Raíz flotante
Aérea	Spray
Con sustrato	Inorgánicas y Orgánicas

Fuente: Hidro Environment (2018)

2.2.18. Cultivo hidropónico en medio líquido

Según Resh (2005), es aquel en el que, mediante un sistema adecuado de sujeción, la planta desarrolla sus raíces en medio líquido (agua con nutriente disuelto) sin ningún tipo de sustrato sólido. Las raíces están sumergidas en solución nutritiva en movimiento o estacionadas, en la cual se regulan constantemente el pH, aireación y concentración de sales.

2.2.19. Técnica de raíz flotante

La producción de hortalizas bajo este sistema consiste en que las raíces están sumergidas en solución nutritiva, las plantas se encuentran en planchas de poli estireno expandido que flotan sobre el agua con la solución nutritiva en donde la plancha actúa como soporte mecánico y cada una flota sosteniendo un determinado número de plantas, y muy importante para lograr una buena producción es airear la solución nutritiva en forma manual o mecánica (Duran, 2000).

Alvarado, Chávez, Anna (2001), señalan que es un sistema de cultivo muy utilizado en los proyectos de hidroponía social en diferentes países latinoamericanos.

2.2.20. Nutrición de las plantas

2.2.20.1. Composición de las plantas

De acuerdo a Resh (2005), de los 108 elementos naturales que se conocen, solamente 60 de ellos han sido encontrados en diversas plantas, no obstante, muchos de estos no se consideran esenciales para el crecimiento, solamente 16 elementos están generalmente considerados como esenciales para el crecimiento de la mayoría de las plantas.

El mismo autor señala que la composición de la materia fresca de las plantas incluye cerca de un 80 a 90% de agua. El exacto porcentaje de esta dependerá de su especie, así como de la turgencia de la planta en el momento de la toma de muestra, la cual será el resultado de la hora del día, de la cantidad de humedad existente en el suelo, de la temperatura, de la velocidad del viento y de otros factores, a causa de la variabilidad del peso en fresco de las plantas.

2.2.20.2. Nutrientes

Resh (2005), reporta que solamente 16 elementos están generalmente considerados como esenciales para el crecimiento de la mayoría de las plantas. Para el mismo autor estos están divididos entre macro nutrientes (macro elementos), aquellos requeridos relativamente gran cantidad por las plantas, y los micro nutrientes (elementos menores), aquellos que son necesitados en menor cantidad.

Paye (2005), menciona que se requiere ciertos nutrientes minerales esenciales para el crecimiento y desarrollo del cultivo, los cuales son esenciales para la floración, fructificación y calidad del fruto, un elemento mineral es esencial, si la planta, ante la falta, no puede completar su ciclo de vida, porque el elemento faltante es parte del metabolismo de la planta.

También menciona que son 16 elementos esenciales, de los cuales 14 son minerales, los elementos esenciales se clasifica macronutrientes y micronutrientes. El carbono (C)

es obtenido del dióxido de carbono (CO₂), el hidrogeno (H) y el oxígeno (O₂) son obtenidos del agua y oxígeno.

- **Los macro nutrientes minerales son:** nitrógeno (N), fosforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) (cuadro 3).

Cuadro 3.
Elementos esenciales MACRONUTRIENTES

Elemento	Símbolo	Peso Atómico
Hidrogeno	H	1
Carbono	C	12
Oxigeno	O	16

MACRONUTRIENTES

Nitrógeno	N	14
Fosforo	K	39
Potasio	Ca	40
Calcio	Mg	24,3
Magnesio	P	31
Azufre	S	32,7

Fuente: Resh (2005)

- **Los micronutrientes son:** cloro (Cl), hierro (Fe), manganeso (Mn), boro (B), cobre (Cu), zinc (Zn) y molibdeno (Mo). A pesar de que los micronutrientes se requieren en concentraciones muy bajas, estos desempeñan funciones vitales para el crecimiento y desarrollo de las plantas (cuadro 4).

Cuadro 4.
Elementos esenciales MICRONUTRIENTES

MICRONUTRIENTES		
Cloro	Cl	35,46
Boro	B	10,8
Hierro	Fe	55,85
Manganeso	Mn	55
Zinc	Z	65,4
Cobre	Cu	63,5
Molibdemo	Mo	96

Fuente: Resh (2005)

2.2.20.3. Solución nutritiva

Izquierdo (2005) y Marulanda (2003), mencionan que la solución nutritiva como el producto que contiene todos los elementos que necesitan las plantas para crecer y desarrollarse como: nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre, molibdeno y zinc. Estos elementos vienen en forma de sales minerales. El nutriente hidropónico contiene y aporta en forma balanceada todos los elementos que una planta necesita para crecer sana, vigorosa y dar buenos frutos o cosecha.

Howard (2001), afirma que una formulación óptima de nutrientes depende de las siguientes variedades: Especie y variedad de la planta, estado de desarrollo de la planta, parte de la planta a ser cosechada, clima y temperatura.

Estrada (2001), indica que la cantidad de cualquier mineral presente en una solución nutritiva es medida en partes por millón (ppm), es exactamente lo mismo que medir en mg/L o g/1000 L.

2.2.20.4. Requerimientos nutricionales del cultivo

Resh (2005) menciona en la Guía del huerto hidropónico del Perú (2000), los requerimientos nutricionales para cultivos hortícolas de hoja de porte bajo se encuentran en el cuadro 5.

Cuadro 5.***Requerimientos nutricionales cultivo acelga en ppm.***

N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
175	50	150	150	75	100	9	5	10	1,3	5	0,1

Fuente: Resh (2005)

2.2.20.5. Manejo y control de la solución nutritiva

Las cantidades de solución concentrada A y B que se agregan, dependerá del volumen de agua que almacena el tanque. Es necesario medir diariamente en la solución nutritiva el pH y la C.E. para cuidar las concentraciones de sales y la disponibilidad de nutrientes.

Estrada (2001), indica que la cantidad de cualquier mineral presente en una solución nutritiva es medida en partes por millón (ppm), es exactamente lo mismo que medir en mg/L o g/1000 L.

2.2.20.6. Duración y renovación de la solución nutritiva

La vida útil de la solución nutritiva dependerá de las correcciones oportunas que se hagan durante las lecturas de pH, CE y del nivel de agua que se tenga.

Si las plantas son de la misma edad en el sistema de producción, la solución nutritiva puede renovarse cada 2-3 semanas, pero cuando se tienen producciones escalonadas dependientes de un solo tanque y electro bomba, con plantas de diferente edades, se deberá renovar totalmente la solución nutritiva (principalmente el nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio) que son absorbidos más rápidamente por las plantas que están a punto de ser cosechadas que las recién trasplantada (Soil Improvement Committee California Fertilizer Association, 2004).

2.2.21. Oxigenación radicular

El éxito que se obtenga con este sistema de cultivo hidropónico, depende en gran parte del suministro adecuado de oxígeno para las raíces de las plantas a través de la solución nutritiva. El suministro de oxígeno puede ser natural, o bien, forzado de diversas maneras.

Según Marulanda C. (2003), el método más común para oxigenar la solución, consiste en dejar un espacio de aire entre la superficie de la misma y la parte inferior del lecho que soporta a las raíces, de tal manera que, las raíces superiores estén rodeadas por aire húmedo mientras que las inferiores están sumergidas en la solución.

Para el mismo autor Marulanda C. (2003), para aumentar el abastecimiento de aire a medida que crecen las raíces, hay que bajar el nivel de la solución hasta dejar un espacio máximo de 5 cm, un espacio mayor puede dañar por secamiento a las raíces superiores. También, es usual agregar oxígeno en la solución haciendo pasar burbujas de aire a través de ella mediante una bomba de aire conectada a un tubo con perforaciones de 1 mm de diámetro y 30 cm de separación, que recorre el fondo del tanque.

Para Gilsanz, J. (2007), el volumen de aire necesario depende principalmente del volumen de solución, de la temperatura y la clase de planta para tinas o recipientes caseros, las bombas de acuarios son adecuadas para oxigenar la solución. Otra forma de airear la solución consiste en hacerla caer al aire libre desde una altura suficiente para que pueda oxigenarse debidamente (efecto de cascada), sin embargo, la circulación de la solución debe ser lenta para la absorción de nutrientes por las raíces.

2.2.22. Agua apta para la hidroponía

Para determinar las cantidades y tipos de fertilizantes que se deben utilizar en la preparación de la SN (solución nutritiva) ya que, según sus propiedades químicas, se realizan los ajustes necesarios para que la SN (solución nutritiva) tenga un adecuado pH, contenido de sales, balance entre los iones. Las principales propiedades del agua que se deben tomar en cuenta para la preparación de la SN (solución nutritiva), son las

siguientes: el pH, PO (presión osmótica) de las sales disueltas, (aniones, cationes, micro nutrientes y los elementos tóxicos) (Favela, 2006).

Según Huterwal (1991), el tipo ideal de agua, será el agua destilada, ninguna más pura, sin embargo, su empleo no es económico. Además, está totalmente despojada de los llamados oligoelementos. Por otro lado, el agua de lluvia es, sin duda, la más apropiada a nuestros fines, si algún elemento tiene agregado ello no perjudicaría, al contrario resulta útil.

En cuanto a la calidad del agua, como regla general, si el agua que se utilizará es apta para el consumo humano, servirá para el cultivo hidropónico, también se podrán utilizar aguas con alto contenido de sales, pero habrá que tener en cuenta el tipo de cultivo que se hará, ya que solo algunos de ellos (el tomate, el pepino, la lechuga o los claveles) son más tolerantes (Barros, 2000).

2.2.23. Carpa solar

Hartmann (1990) señala que una carpa solar es una construcción que permite controlar el ambiente y producir cultivos delicados. Existen diferentes tipos, el más, común es del tipo túnel, media agua; su construcción es por lo general sencilla, se utiliza adobe para los muros, madera o hierro de construcción para el armazón del techo y polietileno (agro film) en su cubierta. El mismo autor indica que la cubierta de polietileno resulta más económica y de mayor difusión por su resistencia regula y durabilidad de 1 a 3 años.

Kohl (1990), señala que los cultivos en carpa surgen en el país como respuesta a las frustraciones de no poder encarar problemas estructurales en el Altiplano; sin embargo, aunque las carpas no pueden solucionar problemas de fondo, si pueden tener un rol como componente de desarrollo.

Las estructuras de protección usados en cultivos hidropónicos deben ser especialmente diseñados para evitar daños por variación extrema de temperatura tanto máximas como mínimas, además deben atenuar la excesiva radiación solar especialmente en días

despejados lo cual sumado al bajo contenido de humedad del ambiente pueden ocasionar daños a nivel de raíces, provocar la aparición de síntomas de deficiencias o quemaduras por radiación solar y evitar un desarrollo normal de la planta (Resh, 2005).

2.2.23.1. Ventajas y desventajas de la carpa solar

Garbi (1997), menciona que presenta las siguientes ventajas.

Ventajas

- Intensificación de la producción
- Aumento de los rendimientos
- Menor riesgo de producción
- Mayor control de plagas, malezas y enfermedades
- Posibilidad de cultivar todo el año
- Uso más eficiente de insumos
- Obtención de productos fuera de temporada
- Obtención de productos en regiones con condiciones restrictivas
- Obtención de productos de alta calidad
- Mayor comodidad y seguridad
- Condiciones ideales para investigación

Desventajas

- Inversión inicial elevada
- Altos costos de producción
- Alto nivel de capacitación
- Condiciones óptimas para el desarrollo de patógenos

3. SECCIÓN DIAGNÓSTICO

3.1. Materiales y métodos

3.1.1. Localización y ubicación del área de estudio

El centro experimental de Cota Cota se encuentra ubicado en ciudad de La Paz está a una altura de 3.445 m.s.n.m., el clima semihumedo, con inviernos secos y fríos con nevadas ocasionales y veranos frescos. El promedio anual de la temperatura máxima es 21.5 °C y la mínima es 11.5. Tiene vientos moderados en invierno. La temporada de lluvia se concentra de manera estacional desde noviembre hasta marzo con una precipitación 488.53mm. Lo que ha producido desplazamientos de suelo. Está situada entre 16°32'04" de latitud sur y los 68°03'44" de longitud oeste del Meridiano de Greenwich (Instituto Geográfico Militar, 2010).

Figura 1. Ubicación geográfica del invernadero donde se realizó la investigación, Provincia Murillo del departamento de La Paz, zona Cota-Cota



Fuente : (Digital Google Earth 2018)

3.1.2. Características del lugar de estudio

3.1.2.1. Clima

El SENAMHI (2005), indica que la característica de esta región es templada por considerarse cabecera de valle, con una temperatura máxima de (32°C) y una temperatura media (11.5°C) y una mínima temperatura de (-3°C); con una precipitación pluvial media anual (380mm); Humedad relativa (58%); la velocidad máxima promedio de los vientos es de 1.4 m/s.

3.1.2.2. Temperatura

Se tomó en cuenta las temperaturas máximas y mínimas registradas dentro de la carpa solar el comportamiento de los mismos se presenta en la figura 2.

Figura 2 Comportamiento de la temperatura dentro de la carpa solar, periodo comprendido entre enero a abril - 2018.



Fuente: Elaboración propia

3.2. Materiales

3.2.1. Material biológico

Se usaron dos variedades de Acelga (*Beta vulgaris* var. *Cicla* L.), variedad Verde Costa Larga y variedad Fordhook Giant., 20 gramos de cada una.

3.2.2. Material químico

Se utilizaron sales minerales para la formulación de la solución nutritiva según los requerimientos del cultivo de Acelga:

- Nitrato de Calcio 490 g
- Nitrato de Potasio 148 g
- Sulfato de Magnesio 197 g
- NPK 16-16-16 358 g
- Solución comercial de micronutrientes hidropónicos ASBOHI

3.2.3. Material de construcción

En el cuadro 6, se ve el listado de los materiales eléctricos y para el sistema de bombeo de oxígeno.

Cuadro 6.

Materiales para la construcción del sistema eléctrico

MATERIALES ELÉCTRICOS	UNIDADES
Bombas oxigenadoras	5
Cable de extensión eléctrica	1
Manguera para bomba de agua	10 metros

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 7, están listados los materiales de escritorio para la toma y análisis de datos.

Cuadro 7.

Materiales de escritorio y toma de datos

MATERIALES	
Regla de 50 cm	Laptop
Cámara fotográfica	Cuaderno
Cámara filmadora	Impresora
Calculadora	Bolígrafos
Flexómetro	Balanza eléctrica

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 8, se observa los materiales para la construcción de las camas flotantes.

Cuadro 8.

Materiales utilizados para la construcción de las camas flotantes

MATERIALES		
Amoladora	Electrodos	Marcador
Taladro	Escuadra	Alicates
Flexómetro	Martillo	Tijeras
Soldadora	Cinta aislante	Engrampadora

Fuente: Elaboración propia

3.3. Metodología

3.3.1. Adaptación del sistema hidropónico raíces flotantes

Para la implementación de la presente investigación se usó las 5 camas flotantes divididas en dos secciones del Centro Experimental de Cota Cota, haciendo unas ligeras modificaciones como ser: la densidad de siembra y el sistema de oxigenación.

3.3.2. Sistema de oxigenación

Se usó 5 bombas oxigenadoras dobles, de 4 litros por minuto de caudal, oxigenando 12 horas diarias, el tiempo de oxigenación se controló con la ayuda de un temporizador eléctrico.

3.3.3. Diseño del estudio

Los tratamientos se evaluaron utilizando un DBA (diseño de bloques al azar), con igual número de unidades por tratamiento. Usando un modelo aditivo lineal (Ochoa, 2009).

$$X_{ij} = \mu + \beta_j + \alpha_i + E_{ij}$$

Dónde:

X_{ij} = Una observación cualquiera.

μ = Media poblacional.

α_i = Efecto del i-esimo tratamiento.

β_j = Efecto del j-esimo bloque.

E_{ij} = Error experimental.

3.3.4. Análisis estadístico

Los datos que se obtuvieron en el experimento se ordenaron y sistematizaron con el análisis estadístico de acuerdo al modelo adoptado, se realizó el análisis de varianza (ANVA).

Los resultados de las variables de respuesta, fueron procesados con el paquete estadístico Excel.

La diferencia entre los tratamientos se realizó con la prueba de Tukey usando la siguiente formula:

$$HSD = Q_{\alpha} * \sqrt{CEM/n}$$

Dónde:

HSD = Diferencia honestamente significativa

Q alfa = Tabla

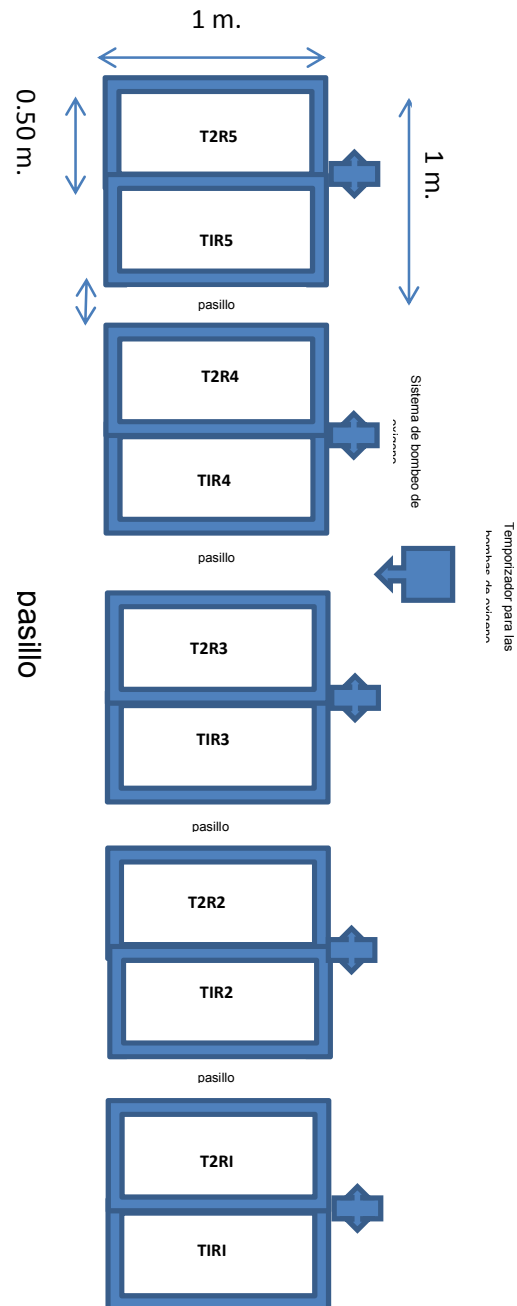
CEM = Cuadrado del error medio de bloques

N = Numero de repeticiones

3.3.5. Croquis del estudio

Las camas fueron distribuidas como se muestra en la figura 3, bajo semi sombra para evitar la excesiva temperatura y evaporación del agua.

Figura 3. Distribución de los tratamientos y sus repeticiones.

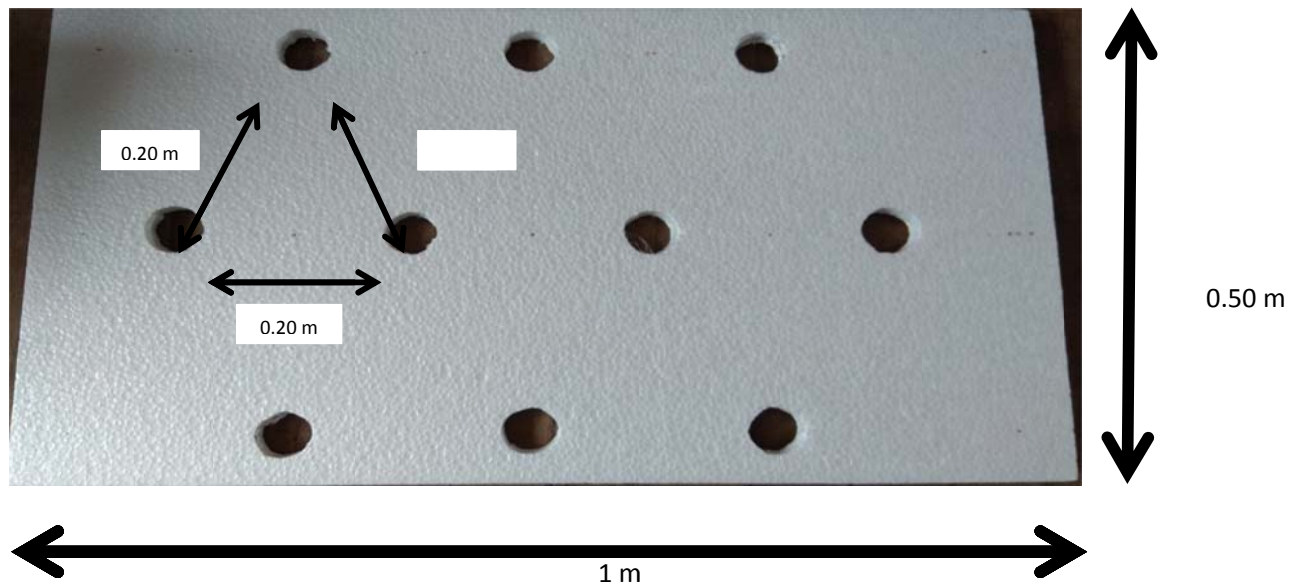


Fuente: Elaboración propia

3.3.6. Densidad de siembra

La densidad de siembra fue de 20 plantas por metro cuadrado usando el método tres bolillo que se observa en la figura 4.

Figura 4. Densidad de siembra de cada tratamiento



Fuente: Elaboración propia

El marcado de plantación al tresbolillo, las plantas ocupan en el terreno cada uno de los vértices de un triángulo equilátero, guardando siempre la misma distancia entre plantas que entre filas.

La siguiente fórmula nos determina el número de plantas por superficie que se pretende plantar al tresbolillo:

$$n = Su \text{ m}^2 / (d * d) * \text{Cos } 30^\circ$$

Dónde:

n = número de plantas.

Su = superficie del campo, en metros cuadrados (m²).

d = distancia entre plantas, en metros (m), multiplicada por sí misma.

Coseno de 30° = es un coeficiente que siempre es invariable, cualquiera que sea el marco.

3.4. Solución nutritiva

3.4.1. Pureza del agua

Según Resh (2005), cualquier agua que sirve para el consumo humano se puede usar para cultivos hidropónicos.

En el Centro Experimental de Cota-Cota, se cuenta con agua potable, que proviene del agua de los nevados, el cual también se usa para el consumo de la población. Pero a esta agua se le adiciono cloro para asegurar su potabilidad, por ello se la dejo reposando durante un día antes de su uso, para que el cloro se desvanezca del agua y así tener un agua óptima para el cultivo hidropónico.

3.4.2. Preparación de la solución nutritiva

Según los requerimientos del cultivo se realizó el cálculo de nutrientes usando las recomendaciones de Resh (2005).

En el cuadro 9, se observa los requerimientos de macro nutrientes.

Cuadro 9.

Requerimiento de macro nutrientes para el cultivo de acelga en ppm o mg/l.

Nitrógeno (N)	Fosforo (P)	Potasio (K)	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)	Azufre (S)
175	50	150	150	75	100

Fuente: Resh (2005)

En el cuadro 10, se observa la concentración de sales para satisfacer la demanda de macro nutrientes en 1000 litros de agua.

Cuadro 10.

Concentración de sales para satisfacer la demanda de macro nutrientes en 1000 litros de agua

Sal mineral	Cantidad g
Nitrato de calcio Ca(NO ₃) ₂	641
Nitrato de Potasio KNO ₃	333,33
16-16-16	312,5
Sulfato de magnesio MgSO ₄	625

Fuente: *Kit hidropónico ASBOHI*

3.4.3. Pasos a seguir para la correcta disolución de los macronutrientes:

- Pesar la cantidad de las sales individualmente con balanza electrónica minerales según la cantidad de agua utilizada en el cultivo hidropónico (ejemplo en detalle del cálculo de solución de nutrientes en anexos)
- Disolver en forma individual cada solución, se recomienda comenzar con el calcio.
- Al finalizar incorporar la solución de micronutrientes.

El requerimiento de micronutrientes para el cultivo de la acelga se observa en el cuadro 11.

Cuadro 11.

Requerimiento de micro nutrientes para el cultivo de acelga en ppm o mg/l.

Hierro (Fe)	Manganeso (Mn)	Cobre (Cu)	Zinc (Zn)	Boro (B)	Molibdeno (Mo)
9	5	10	1,3	5	0,1

Fuente: Resh (2005)

Nota: Para el caso de los micro nutrientes se usó una solución comercial llamada “Kit hidropónico ASBOHI micro nutrientes 1000 litros”

La solución de micronutrientes que se usó fue la comercial para 1000 litros de agua, las cantidades se observan en el cuadro 12.

Cuadro 12.

Solución comercial de micro nutrientes para 1000 litros de agua ASBOHI

Sales Minerales	Cantidad en gr
Boro	7,21
Cobre	12,51
Hierro	10,31
Manganeso	7,01
Molibdeno	0,2
Zinc	1,22

Fuente: Kit hidropónico ASBOHI

3.5. Siembra en almacigo

- Se usó un recipiente como almaciguera de 36 x 36 cm, de 5 cm de profundidad.
- Se sembró una cantidad de 180 semillas de acelga variedad Verde Costa Larga y 180 semillas de la variedad Fordhook Giant.
- Se cubrió con las necesidades de humedad, calor que requiere el cultivo.
- Pasados 14 días las plántulas presentaron sus primeras hojas verdaderas, posteriormente se trasladaron al área de camas flotantes.

3.6. Trasplante

Para el trasplante, se procedió a retirar una a una las plántulas del almacigo, eliminando cualquier rastro de sustrato.

Por último, con la ayuda de un cubo de esponja de 4 cm por lado y 4 de ancho y vasos plásticos, se procedieron a colocar planta por planta en cada una de los espacios de las camas flotantes obteniendo un total de 100 plantas que permanecieron ahí hasta el día de la cosecha.

3.7. Variables de respuesta

- **Numero de hojas** Al momento previo a la cosecha se realizó el conteo del número de hojas de todas las plantas por tratamiento.
- **Rendimiento gr** El rendimiento se determinó por el peso de las hojas cosechadas, por tratamiento a los 61 días.
- **Longitud de hojas cm** Al momento previo a la cosecha se realizó la toma de datos midiendo el largo de hoja, desde el peciolo hasta la punta de la hoja de todas las plantas por tratamiento.
- **Tamaño de las raíces cm** Se midieron al momento de la cosecha.

3.8. Distribución del área de estudio

- Área total disponible..... 14 m²
- Área de estudio a emplearse..... 5 m²
- Área de cada bloque..... 0.5 m²
- Número de bloques..... 10
- Número de plantas por bloque..... 10
- Número de plantas totales..... 100
- Pasillos 6 m²

3.9. Renovación de nutrientes

La frecuencia de riego depende de naturaleza de la planta, del estado de desarrollo de la planta, y de las condiciones climáticas del ambiente, Según Resh (2005).

Para este experimento se renovó la solución de nutrientes dependiendo de los cambios de la conductividad eléctrica cada semana.

3.10. Toma de datos

- **Cantidad de agua utilizada por tratamiento** 40 litros de agua en cada bloque agua utilizada por bloque, el T1 utilizo en promedio 20 litros de agua con solución, por planta 2 litros, el T2 utilizo 22.5 litros de agua con solución, por planta 2.25 litros.

- **Control de pH** El control del pH que se realizó semanalmente durante el tiempo que duro el proyecto estando dentro del rango permitido por la planta de 6.0 a 7.5.
- **Control de la conductividad eléctrica** La conductividad eléctrica de la investigación tuvo valores de 2750 ppm, descendiendo 50 ppm datos tomados semanalmente a lo largo de la investigación hasta el primer corte, observándose también mantenimiento de valores a lo que ameritaba aumentar la solución de nutrientes o solo agua semanalmente tratando de mantener un nivel de agua óptimo para las raíces.
- **Cosecha** Se realizó a los 61 días de realizado el trasplante al lugar definitivo.

3.11. Análisis económico

El análisis económico de la producción hidropónica en el sistema de raíces flotantes se realizó de acuerdo con el cálculo de rendimientos de los tratamientos combinado con el costo por unidad de bolsa de acelga para tener el beneficio bruto general.

Para análisis económico se consideró el ingreso bruto, ingreso neto y la relación Beneficio - Costo de la producción que genera la implantación del sistema estudiado.

También se calculó los costos de producción a partir de los costos fijos y costos variables utilizando, las siguientes formulas:

$$IB = R * P$$

$$IN = IB - C$$

$$B/C = IB/C$$

Dónde:

- R = rendimiento del cultivo.
- P = precio del producto, considerando que en el Centro de Cota-cota el precio fue de 2.5 Bs/bolsa de 300 g.
- C = costo variable de producción en Bs/ciclo productivo, considerando los costos de insumos, mano de obra y herramientas.
- IB = ingreso o beneficio bruto, resultado de la multiplicación del rendimiento con el precio del producto.

- IN = ingreso o beneficio neto, resultado de la diferencia entre el IB y C. La relación beneficio costo (B/C).

Cuando la relación B/C es menor a 1, significa que no existe beneficios, por lo tanto esas condiciones no son rentables, si la relación B/C es igual a 1 los beneficios logrados solo compensan los costos de producción, por lo tanto se debe analizar bien si se puede mejorar esta relación, mejorando el sistema o ampliando el área productiva y cuando la relación B/C es mayor a 1, los beneficios son mayores que los costos parciales de producción, por lo tanto este tipo de producción es rentable (Mokate, 1988).

4. SECCIÓN PROPOSITIVA

4.1. Cantidad de agua utilizada

Se midió la cantidad de agua empleada para la producción de acelga hidropónica bajo el sistema de raíces flotantes, obteniendo los siguientes resultados.

En el cuadro 13, se realizó una comparación de consumo de agua siendo el uso total de 400 litros de agua, observándose un consumo del T1 de 20 litros de agua con solución por bloque y en consecuencia de 2 litros por planta en comparación al consumo tradicional en la agricultura de 45 litros por planta obtuvo un ahorro de 95.6 % y el T2 de 22.5 litros de agua con solución por bloque y en consecuencia de 2.25 litros por planta en comparación al consumo tradicional en agricultura de 45 litros por planta obtuvo un ahorro del 95% por toda la investigación y mostrando notoriamente un ahorro de agua significativo.

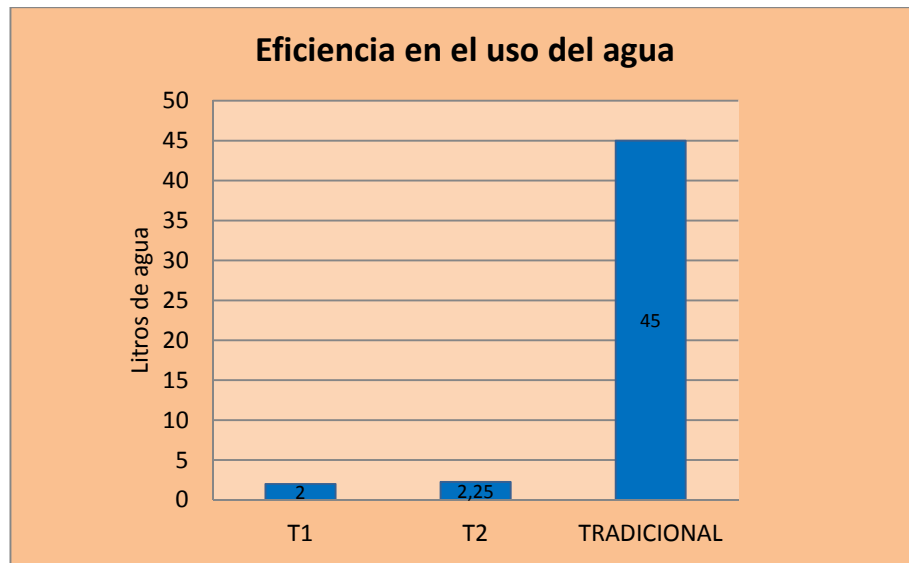
Cuadro 13.

Comparación de la eficiencia en el uso del agua de ambos sistemas.

Datos	Raíz flotante T1	Raíz flotante T2	Tradicional
Total litros por tratamiento	200	200	
Litros por bloque	40	40	
Litros por bloque sobrante	20	17,5	
Litros por bloque utilizado	20	22,5	
Litros de agua por planta	2	2,25	45
Porcentaje de comparación	4,40%	5%	100%
Porcentaje de ahorro	96%	95%	

Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Grafica de comparación comparación de eficiencia en el uso del agua.



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 5, se observó que el consumo de agua en el sistema hidropónico de raíz flotante fue en promedio el T1 2 litros de agua por planta y el T2 de 2.25 litros de agua por planta, en relación al sistema tradicional con riego tradicional que es de 45 litros de agua por planta notamos que el ahorro de agua es importante, notando que el ahorro es de un 95.6% para el T1 y 95% para el T2 en agua.

4.2. Rendimiento

Para una evaluación precisa del rendimiento total que se obtuvo en la investigación se pesó las hojas de acelga al momento de la cosecha por planta realizando un análisis de varianza (datos utilizados anexo 2) que se presenta a continuación en el cuadro 14, el cual muestra los efectos de cada factor en esta variable.

Cuadro 14.

Cuadro anva para el rendimiento.

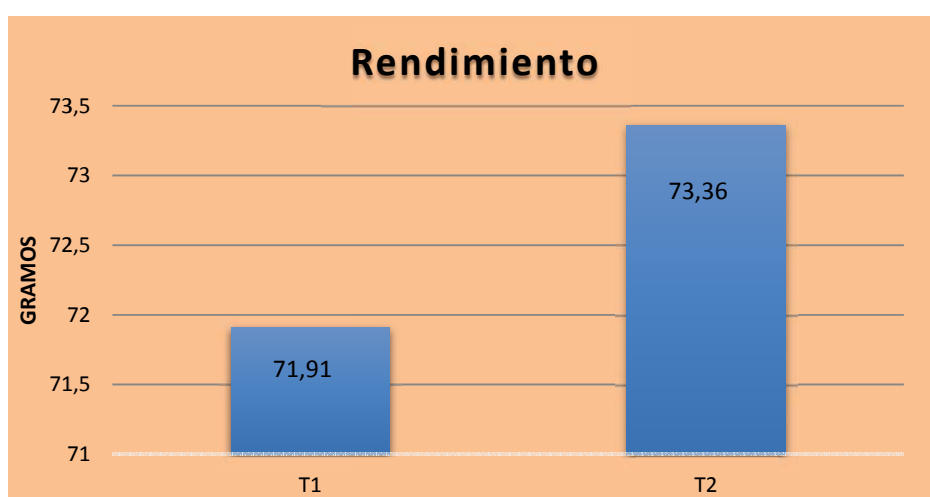
ANÁLISIS DE VARIANZA							0,05
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	
Tratamiento	5,04	1	5,04	0,09	0,78	7,71 NS	
Bloques	206,32	4	51,58	0,91	0,53	6,39 NS	
Error	225,87	4	56,47				
Total	437,23	9					
CV	10,34						

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis de varianza en los tratamientos no hubo diferencia significativa eso nos indica que las condiciones experimentales fueron homogéneas; por otro lado el coeficiente de variación fue 10,34 % lo que indica que los datos obtenidos de la variable rendimiento total de la acelga en esta investigación han sido llevados adecuadamente. Con esta prueba podemos verificar que los datos son confiables.

Respecto al factor bloque no existen diferencias significativas por lo que nos demuestra que la investigación fue llevada a cabo en condiciones homogéneas.

Figura 6. Prueba de Tukey para la variable rendimiento.



Fuente: Elaboración propia

La figura 6, se puede observar con la prueba de Tukey a un 5% de significancia el T2 con 73.36 gramos fue superior al T1 con 71.91 gramos, por 1.45 gramos por planta cosechada teniendo el T2 mayor peso.

4.3. Numero de hojas

A los 61 días luego del trasplante al momento de la primera cosecha se tomó los datos de número de hojas y se realizó el análisis anva.

Cuadro 15.

Cuadro anva para número de hojas.

ANÁLISIS DE VARIANZA							0,05
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	
Tratamientos	7,3	1,0	7,3	19,5	0,01	7,71	NS
Bloques	1,90	4	0,476	1,3	0,41	6,39	NS
Error	1,50	4	0,374				
Total	10,71	9					
CV	10,18						

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al análisis de varianza visto en el cuadro 15, respecto a los tratamientos no hubo diferencia significativa eso nos indica que las condiciones experimentales no tuvieron significancia en los resultados por lo cual la investigación fue llevada a cabo adecuadamente.

Tomando en cuanto que el coeficiente de variación fue de 10,18% la que ratifica que la investigación es confiable.

Se observó que los bloques no hubo diferencias significativas lo cual indica que las condiciones fueron homogéneas.

Figura 7. Prueba de Tukey para la variable número de hojas.



Fuente: Elaboración propia

Con respecto a las variedades en la figura 7, que es una prueba de Tukey con 5% de significancia nos muestra que el T1 con 6.87 hojas y el tratamiento T2 con 5.16 hojas, observándose que el T1 tiene 2 hojas más que el T2.

4.4. Altura de la planta

Altura de planta antes de la cosecha, bajo el sistema de producción hidropónica de raíces flotantes se realizó un análisis anva de los datos obtenidos.

Cuadro 16.

Cuadro anva para altura de planta.

ANÁLISIS DE VARIANZA							0,05
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	
Tratamientos	22,14	1	22,14	2,27	0,21	7,71	NS
Bloques	16,26	4	4,06	0,42	0,79	6,39	NS
Error	38,94	4	9,74				
Total	77,34	9					
CV	9,09						

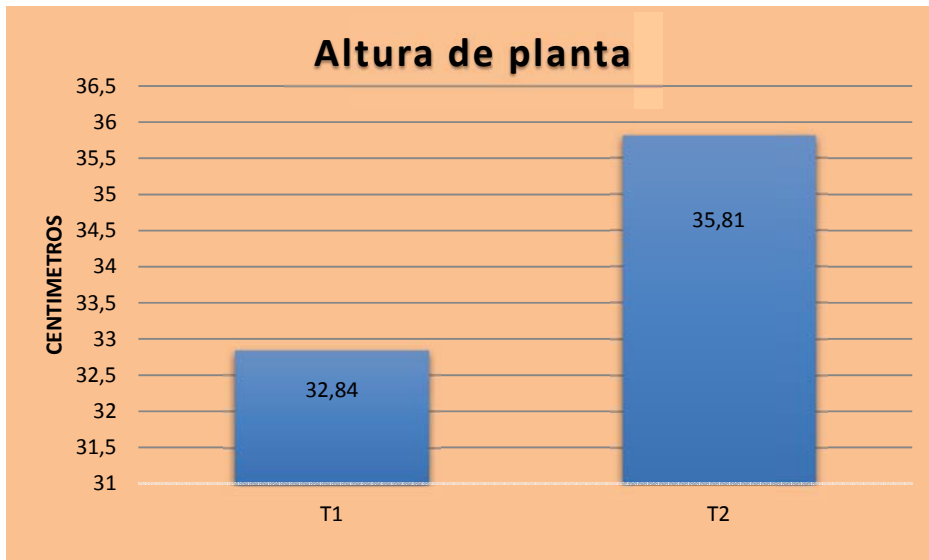
Fuente: Elaboración propia

Observando los resultados obtenidos en el análisis de varianza en el cuadro 16, los tratamientos no tienen diferencias significativas lo cual nos indica que la investigación homogénea.

El coeficiente de variación fue de 9,09% indicando que los datos del análisis estadístico son confiables por encontrarse dentro de los rangos permisibles de variabilidad, además indica un buen planteamiento y manejo experimental.

Los bloques no tienen diferencias significativas por lo que la investigación se realizó homogéneamente.

Figura 8. Prueba de Tukey para la variable altura de planta.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 8, la prueba múltiple de medias Tukey con 5% de significancia se observa que el T2 tuvo una mayor altura de planta con un promedio de 35,81 cm seguido del T1 con un promedio de 32,84 cm, teniendo el T2 como 3 cm mas altura que el T1.

4.5. Longitud de las raíces

Las raíces se midieron al momento de la cosecha, a los 61 días luego del trasplante, realizando un anva se obtuvo los siguientes resultados..

Cuadro 17.

Cuadro anva para tamaño de las raíces.

ANÁLISIS DE VARIANZA							0,05
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	
Tratamientos	102,4	1	102,4	14,96	0,02	7,71	
Bloques	140,56	4	35,14	5,13	0,07	6,39	
Error	27,38	4	6,85				
Total	270,34	9					
CV	8,25						

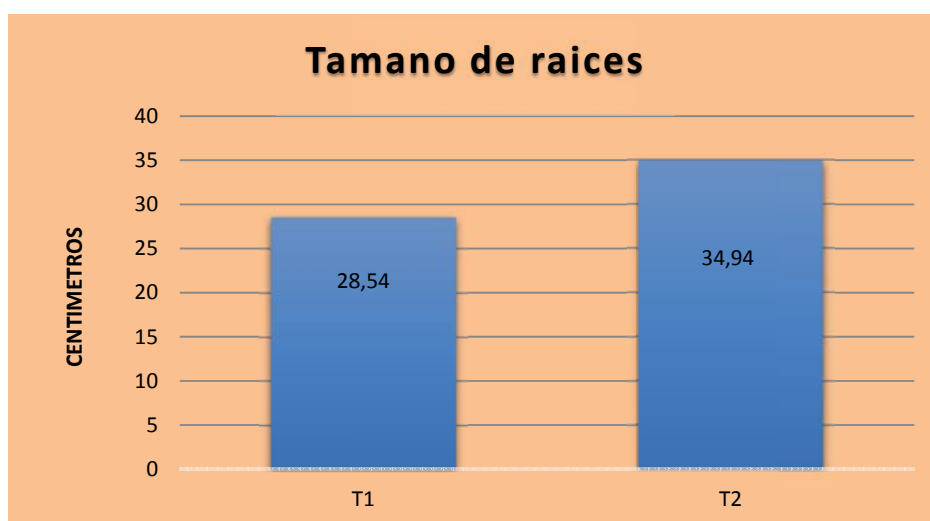
Fuente: Elaboración propia

El cuadro 17, se observa que los tratamientos no tienen diferencias significativas lo cual indica que la investigación fue homogénea.

El coeficiente de variación muestra un 8,25% lo cual indica que, los datos del análisis estadístico son confiables por encontrarse dentro de los rangos permisibles de variabilidad, además indica un buen planteamiento y manejo experimental.

Los bloques no muestran diferencias significativas por lo que nos indica que la investigación se llevó homogéneamente.

Figura 9. Prueba de Tukey para la variable tamaño de raíces.



Fuente: Elaboración propia

Para establecer que tratamiento presento el mayor largo de raíz se realizó la prueba múltiple de medias Tukey, con 5% de significancia presentado en la figura 9, en la cual se observa que el tratamiento T2 con 34.94 cm con relación al T1 con 28.54 cm tiene mayor longitud habiendo una diferencia de tamaño de 6.4 cm del T2 con respecto al T1.

4.6. Análisis económico

4.6.1. Costos variables

Es la suma que varía de una alternativa a otra, relacionados con los insumos, mano de obra, maquinaria utilizados en cada tratamiento, fertilizantes, insecticidas, uso de maquinaria, jornales y transporte (CIMMYT, 1988).

En el Cuadro 18, se detalla todos los gastos realizados en cuanto a costos variables se refiere, para cada ciclo de cultivo de 200 plantas de acelga.

Cuadro 18.
Costos Variables

Materiales	Unidad	Cantidad	Precio (Bs)	Subtotal
Nitrato de Calcio	g	163,3	0.15	2,45
Nitrato de Potasio	g	49,3	0.010	0,5
Sulfato de Magnesio	g	65,6	0.10	0,65
NPK 16-16-16	g	119,3	0.10	1,2
Solución micro-nutrientes	l	0,16	40.62	6,5
Semillas	oz	0,25	10	2,5
Electricidad	kWh	5	1	5
Agua	m ³	0,5	3	1,5
Total (Bs)				20,30

Fuente: Elaboración propia

4.6.2. Costos fijos

Los costos fijos son aquellos que se mantienen para cada campaña de producción y que están relacionados con la producción final. El costo fijo no se aumenta o disminuye la producción.

Cuadro 19.
Materiales para la construcción de las camas flotantes

Materiales	Unidad	Cantidad	Precio (Bs)	Subtotal
Fierro angular de 1 pulgada	metro	50	8	400
Madera ochoa	pie2	108	4	432
Plástico negro	m2	7,5	3	22,5
Alambre de amarre	rollo	0,5	10	5
Plastoformo 1,5 cm	pieza	10	2,5	25
Vasos de plástico	bolsa	2	7	14
Clavos de 2 pulgadas	bolsa	1	10	10
Mano de obra	jornal	4	100	400
Esponja 1 pulgada	m2	1	35	35
Sub Total				1343,5

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 20.
Materiales para la construcción del sistema de riego

Materiales	Unidad	Cantidad	Precio (Bs)	Subtotal
Bomba de agua	pieza	5	40	200
Manguera 0,5 cm	metro	10	1,5	15
Cinta aislante	pieza	2	2	4
Temporizador eléctrico	pieza	1	250	250
Cable eléctrico	metro	10	2	20
Mano de obra	jornal	1	100	100
Sub Total				589

Fuente: Elaboración propia

4.6.3. Costos totales

Cuadro 21. Costos totales

Costo fijo CF	Costo variable CV	Costo total CT= CF+CV
8.45	4.06	12.51

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 21, se observa los costos totales para cada cosecha por m².

4.6.4. Relación ingreso bruto, ingreso neto y b/c

Cuadro 22.

Relación ingreso Bruto, Ingreso Neto y B/C (en Bs).

Tratamiento	Ingreso Bruto (Bs)	Costos Variables	Ingreso Neto (Bs)	Relación B/C
T1	31	10.15	20.85	3.05
T2	29.8	10.15	19.65	2.93

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados obtenidos, se verifica que los tratamientos T1 y T2 respectivamente resultan ser rentables ya que la relación B/C es mayor a uno.

5. SECCIÓN CONCLUSIVA

- Se midió la cantidad de agua empleada para la producción de acelga hidropónica en un invernadero del centro Experimental Cota – Cota UMSA La Paz, y se comparó con la cantidad de agua usada de la forma tradicional de producción, llegando a la conclusión de que el ahorro de agua bajo el sistema hidropónico es de un promedio de 95 %.
- Se concluye que el ahorro de agua bajo el sistema hidropónico es altamente significativo, siendo esta una gran alternativa al problema de escases de agua.
- Las variables de respuesta en ambas variedades fueron similares, no existiendo ninguna diferencia significativa entre ellas.
- El rendimiento de los tratamientos fue T1 variedad Verde Costa Larga con 1488 g/m² y el T2 variedad Fordhook Giant con 1428 g/m².
- En el tiempo que se realizó la investigación no se observaron ataques de plagas o enfermedades.
- La densidad de siembra utilizada fue satisfactoria, lo cual concuerda con varios manuales de huertas hidropónicas populares realizadas por instituciones internacionales.
- El beneficio económico o rentabilidad es la que se espera obtener mediante la explotación continuada y sistemática de cultivos hidropónicos en superficies superiores a los 30 m² de cultivos, buscando obtener un rendimiento económico por los gastos incurridos y el trabajo realizado.

6. RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos; en el presente trabajo de investigación se hacen las siguientes recomendaciones:

- El tiempo de recuperación de la inversión se reduciría considerablemente si se aumenta al área de producción y se emplean métodos y materiales más económicos y eficientes.
- Se pueden realizar nueva formulación de nutrientes que permitan reducir costos en un cultivo hidropónico.
- Se debe tener mucho cuidado en el momento del trasplante del almacigo a las camas flotantes, puesto que los tallos son muy frágiles en esta etapa y pueden dañarse fácilmente.
- Se debe tener un control adecuado de la temperatura dentro de la carpa solar puesto que, a altas temperaturas la solución nutritiva tiende a evaporarse.
- Se debe renovar la solución nutritiva tomando como parámetro el comportamiento del pH y la conductividad eléctrica del agua.
- Se debe realizar una investigación mezclando especies diferentes de hoja para ver la eficiencia de consumo de agua.
- Realizar investigaciones de por qué en ocasiones la conductividad se eleva al contrario de descender.

7. BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR, O., 1993. Guía de manejo de cultivos protegidos. Cartillas realizadas por SEMTA (servicios Múltiples de Tecnologías Agropecuarias). La Paz-Bolivia. Pp. 9-88
- AGROES. ES ,2018. Acelga, taxonomía, y descripciones botánicas, morfológicas, fisiológicas y ciclo biológico. Disponible en <http://www.agroes.es/cultivos-agricultura/cultivos-huerta-horticultura/acelga/372-acelga-descripcion-morfologia-y-ciclo>
- ALONZO, A., 2004. Colegio de Postgraduado. Producción de Col, Coliflor, Acelga, Apio y Lechuga. Disponible en <http://www.google.com>.
- ALVARADO, D.; CHAVEZ, F.; ANNA, K. 2001. Seminario de Agronegocios: Lechugas Hidropónicas. Universidad del Pacífico. Consultado 15 de abr. 2015 Disponible en: <http://www.upbusiness.net/upbusiness/docs/mercados/11.pdf>.
- BARROS, P., 2000. Hidroponía. Alta Vista. Consultado 03 mayo 2014. Disponible en: www.Barros@hotmail.com.
- BARBADO., 2005. Producción hidropónica de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en sistema re circulante. Atlántica de Costa Rica. Universidad EARTH. 39 p.
- BELTRANO, J.; GIMENEZ, D.,2015. Cultivo en hidroponía. Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires – Argentina 181p.
- BOLÍVAR, S., 2017. Evaluación del efecto de mulch en tres variedades de acelga (*Beta vulgaris* var. *Cicla* L.) en ambiente atemperado en el centro experimental Cota Cota. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés.
- CATACORA, E.P., 1996 Curso Internacional de Hidroponía. Centro de investigación de Hidroponía. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima-Perú. 396 p.
- CIPCA, 2009. Documento de trabajo. Sistematización de experiencias en cambio climático. CIPCA-PNUD. La Paz, Bolivia.
- CYMMYT, 1998. Un manual metodológico de evaluación económica, México D.F. p. 79
- DASGAN Y EKICI, 2005 Comparación de los sistemas abiertos y de reciclaje para la acumulación iónica de sustrato, la absorción de nutrientes y el uso de agua y agua de las plantas de tomate.
- DURAN, J., 2000. El proyecto Aeroponía. Aeroponic Research. Consultado el 15 abr. 2014, Disponible en <http://www.aeroponic.it/esp/progetto.htm>

ESTRADA LIGORRÍA, L., 2001. Fertilizantes líquidos STOLLER. In Curso Taller: La hidroponía, una alternativa de cultivo ecológico y rentable, Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 1 CD.

FAVELA, E. 2006. Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila- Mexico. 147 p.

FLORES, A., 2007. Efecto de frecuencias de poda en dos variedades de acelga (*Beta vulgaris* var. *Cicla L.*) en ambiente protegido. Tesis de Grado. Facultad de agronomía. Universidad Mayor de San Andrés.

FAO, 2006. Producción de hortalizas. La Paz-Bolivia.

FAO, 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.

FUNDAGRO. Ediciones UPS. Capítulo VIII. Quito- Ecuador.

GARBI, M. 1997. Cultivo protegido (en línea) Universidad Nacional de Lujan, Departamento de Tecnología Producción Vegetal III. Disponible en <http://www.hor.unlu.edu.ar/cultivos%20protegidos.zip>. Gordon, H.; Barden, JA. 1984.

GILSANZ, J., 2007. Hidroponía. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Montevideo, Uruguay: Unidad de Comunicación-Transferencia Tecnológica.pp.31.

HARTMANN, F., 1990. Invernaderos y ambientes atemperados. FADES. La Paz - Bolivia, p: 30,38 – 90.

HOWARD, M. 2001. Cultivos hidropónicos. Ediciones Mundi Prensa. Madrid – España 317 p.

HUTERWAL, G. O., 1991. Hidroponía. Editorial Albatro. Buenos Aires Argentina. pp. 40 - 53.

<http://www.manufactura.mx/gestion/2012/01/26/hidroponia-manejo-eficiente-de-agua>

IGM, 2010. Instituto Geográfico Militar. Datos Latitud, Longitud. Cota Cota. 2010.

La Paz, Bolivia.

IPDRS, 2018. <https://www.sudamericarural.org/noticias-bolivia/que-pasa/2648-bolivia-el-85-del-agua-potable-es-destinado-al-riego-agricola>.

- IPCC, 2001. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al tercer informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático.
- IZQUIERDO. J., 2005. Hidroponía Popular, Oficina Regional de la FAO, Santiago – Chile. Pp 50
- INFOAGRO., 2005. Hortalizas de Hoja, Espinaca. Revisado el 25 de ene. 2014. Disponible en: [www.infoagro.com/hortalizas/espinaca.\(2005\)](http://www.infoagro.com/hortalizas/espinaca.(2005))
- KOHL, 1990 Manual Agropecuario; Tecnologías orgánicas de la Granja Edit. EROS Colombia 325 p
- MALCA, O. 2001. Lechugas Hidropónicas (en línea). Seminario de Agro negocios Lechugas hidropónicas. Memoria. Universidad del Pacífico. Facultad de Administración y contabilidad. Consultado 17 jun. 2017. 96 p. Disponible en https://www.academia.edu/8258191/www.upbusiness.net_Seminario_de_Agro_Negocios_Lechugas_hidrop%C3%B3nicas_PROFESOR
- MAMANI, M., 2015. Efecto de la fertilización química y orgánica en la productividad del cultivo de acelga (Beta vulgaris Var. Cicla) EN EL Centro Experimental de Patacamaya. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés.
- MARULANDA, C. 2003. Hidroponía Familiar en Colombia Desde el Eje Cafetalero, Armenia – Colombia, Editorial Optigraf. p. 41- 50.
- MOKATE, K.M., 1998. Evaluación financiera de proyectos de inversión. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid- España. pp.66 - 75.
- OCHOA, R., 2009. Diseños experimentales. Facultad de Agronomía. UMSA. La Paz. Bolivia. 297 p.
- PAYE, V.2005. I Curso práctico de hidroponía Universidad Mayor de San Andrés Facultad de Agronomía La Paz Bolivia. pp. 27-29.
- PNUD, 2008. Informe sobre Desarrollo Humano 2007-2008 La lucha contra el cambio climático: Solidaridad frente a un mundo dividido.
- PNCC, 2007. Ministerio de Planificación del Desarrollo. Programa Nacional de Cambios Climáticos. Entendiendo el Cambio Climático.
- PEÑARANDA, H. 2003. Aprovechamiento de Recursos Hídricos y Conservación de Suelos. La Paz, Bolivia. p 17-18.

- RAMÍREZ, F., 2006. Seguridad alimentaria cultivando hortalizas. Colombia. Editor Grupo Latino Editores S.A.S. pp. 480-494.
- R. CHIPANA Y G. SERRANO, 2007. Riego subsuperficial en lechuga (*Lactuca sativa*) y nabo (*brassica naphus*) en las zonas bajas del altiplano boliviano: consumo de agua. "Ingeniería del agua", vol. 14, núm. 3, p. 169 – 175.
- RESH, H. M., 2005. Cultivos hidropónicos. 5ta Edición. Editorial Mundi — Prensa. Madrid —España.
- ROJAS, w. 2006. Apuntes de Botánica Sistemática. Carrera de Ingeniería Agronómica, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 45 pp.
- RODRIGUEZ, A.; HOYOS, M.; CHANG, M., 2002 Manual práctico de hidroponía. 3ra Edición. Centro de investigación de hidroponía. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima-Perú.
- SÁNCHEZ, F; ESCALANTE, E., 2004. Un sistema de producción de plantas; hidroponía, principios y métodos de cultivo. 3 ed. México, Universidad Autónoma de Chapingo. 193 p.
- SENAMHI, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología 2006. Boletín climatológico.
- Soil Improvement Committee California Fertilizer Association, US. 2004. Manual de fertilizantes para horticultura. Trad. Manuel Guzmán. México, Limusa. 297 p.
- SENARI, 2007. Ministerio del Agua. Plan Nacional de Desarrollo del Riego. Para vivir bien. La Paz, Bolivia. p. 24.
- SEYMOUR, A. 1999. El horticultor autosuficiente. 5ta Edición. Editorial AEDOS, España. p. 34.
- SUQUILANDA M. 1995. Agricultura Orgánica, Alternativa tecnológica del futuro.
- TERRANOVA. 1995. Guía ilustrada para la vida en el campo. Editorial Blume, Milanesado - Barcelona. P. 153.
- TERRAZAS, M. 2000. Efecto de micro – concentraciones de nutrientes bajo técnicas de hidroponía. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad autónoma de Chiguagua, México. 125 p.
- UBE, R. 2014. Adaptación y comportamiento agronómico de dos variedades de acelga (*Beta vulgaris*), sembradas mediante sistema hidropónico de raíz flotante, en la zona de

Babahoyo. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Técnica de Babahoyo.

UNECE. 2017. Guía sobre Agua y Adaptación al Cambio Climático. Disponible en : https://www.unece.org/fileadmin/DAM/.../2017/.../Guidance_water_climate_SPA.pdf

UREY, G. 2007. Evaluación de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el sistema hidropónico recirculante "NFT". Tesis Ing. Agr. Cochabamba, Bolivia. Universidad Mayor de San Simón, Facultad Ciencias Agrícolas y Pecuarias "Dr. Martin Cardenas". 75 p.

URIBE P. 2001. Guía de huerto hidropónico. Serie Manual técnico. Instituto de investigación agraria (INIA). Argentina.

VALDEZ, L.A., 1990 Producción de hortalizas. Edit. LIMUSA. Mexico. Pp. 141-147.

VUILLE, M. 2007. Cambios Climáticos en los Andes Tropicales – Impactos y consecuencias para glaciares y recursos de agua.

VILLON, M. 2002. Hidrología. Segunda edición. Editorial Villon. Lima, Perú. 435 p.

<http://www.manufactura.mx/gestion/2012/01/26/hidroponia-manejo-eficiente-de-agua>

ANEXOS

ANEXO 1. Calculo de Nutrientes

Calculo del Calcio

Nitrato de calcio, Ca (NO₃)₂

100 gr de Ca(NO ₃) ₂	➡	26 gr Ca
X	➡	150 gr Ca
X	➡	577 gr Ca(NO ₃) ₂

Pero la bolsa de fertilizante indica un 90% de pureza

577 gr Ca(NO ₃) ₂	➡	90 %
641 gr Ca(NO₃)₂	➡	100 %

Pero también Ca(NO₃)₂ aporta con N

641 gr Ca(NO ₃) ₂	➡	X
100 gr	➡	15,5 gr N
X	➡	99,35 gr N

Calculo del Potasio

Nitrato de potasio, KNO₃

100 gr de KNO ₃	➡	45 gr K
X	➡	150 gr K
X	➡	333.33 gr KNO₃

La bolsa de fertilizante indica un 99% de pureza
Y también aporta N

100 gr de KNO ₃	➡	13.5 gr N
333.33 gr de KNO ₃	➡	X gr N
X	➡	45 gr N

Calculo del Fosforo

Fertilizante 16-16-16

100 gr de 16-16-16	➡	16 gr P
X	➡	50 gr P
X	➡	312.5 gr 16-16-16

Pero también 16-16-16 aporta con N y K

312.5 gr 16-16-16	➡	50 gr N
312.5 gr 16-16-16	➡	50 gr K

Calculo del Azufre y Magnesio

Sulfato de Magnesio MgSO₄ al 99% de pureza

100 gr de Ca(NO ₃) ₂	➡	16 gr Mg
X	➡	100 gr Mg
X	➡	625 gr MgSO₄

Pero también MgSO₄ aporta con Azufre

100 gr de MgSO ₄	➡	13 gr S
625 gr de MgSO ₄	➡	X gr S
X	➡	81.25 gr S

ANEXO 2.

Datos

VARIEDAD 1 - VERDE COSTA LARGA						VARIEDAD 2 - FORDHOOK GIANT						
N° DE MUESTRA	N° DE HOJAS	PESO DE LAS HOJAS GRS.	ALTURA DE LA PANTA CM.	TAMAÑO DE RAIZ CM.	ALTURA DE AGUA SOBRENTE	N° DE MUESTRA	N° DE HOJAS	PESO DE LAS HOJAS GRS.	ALTURA DE LA PANTA CM.	TAMAÑO DE RAIZ CM.	ALTURA DE AGUA SOBRENTE	
T1R1	1	9	91	34	21	T2R1	1	5	74,7	33	37	
	2	8	84	38	34		2	5	84	36	34	
	3	6	91	36	22		3	5	64	36	42	3
	4	8	95	26	16		4	6	68	36	30	
	5	10	89,8	30	16		5	6	61	30	28,5	
T1R2	1	7	67	40	28	T2R2	1	5	60,8	36,3	25	
	2	6	79	41	19		2	6	94	36	33,5	
	3	8	87	38	25		3	5	69	37	29	3,7
	4	6	60	31	23		4	7	87	36	41	
	5	7	85	29	41		5	4	65	38	27	
T1R3	1	8	91	37	40	T2R3	1	6	79,3	39	32	
	2	4	38,7	25	30		2	5	57	38,8	41	
	3	7	48,3	26	21		3	6	90,9	38,7	36	3,5
	4	5	95	30	30		4	6	75,8	42	29,5	
	5	6	89,6	29	38		5	5	69,2	38,4	29	
T1R4	1	5	59,7	31	29	T2R4	1	5	60,9	32	33	
	2	7	64,9	31	24,5		2	5	70,8	40	32	
	3	7	79,5	30	39		3	6	80,5	38,5	45	3,6
	4	6	58	30	20		4	4	88	31	29	
	5	8	63	31	30		5	5	60,7	31	29	
T1R5	1	5	60	37	41	T2R5	1	5	74,2	36,5	37	
	2	7	70	33	39		2	4	50	32	29	
	3	7	80	38	56		3	4	62	32,5	38	3,7
	4	8	62	34	30		4	4	60	36	33,5	
	5	7	72	37	45		5	5	77,7	35	39	

ANEXO 3.

Fotos



Germinación de las semillas de acelga en un sustrato inerte



Bombas de oxígeno



Temporizador



Balanza electrónica



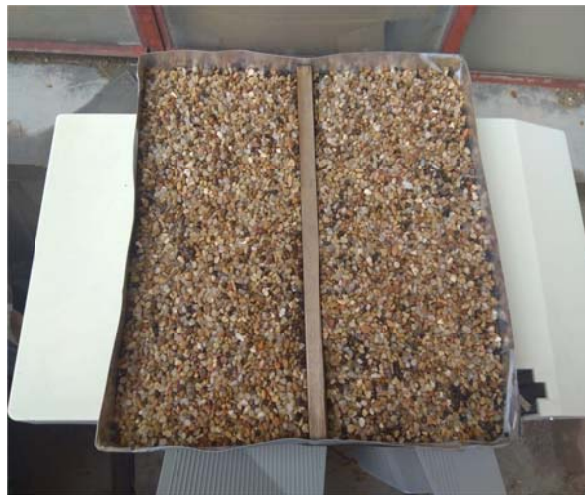
Medidor de conductividad



Medidor de pH



Termómetro



Almaciguera



Proceso de germinación



Semilla de acelga utilizada variedad verde costa larga



Semilla de acelga utilizada variedad Fordhook Giant



Nitrato de calcio



Nitrato de potasio



Sulfato de magnesio



NPK 16-16-16



Materiales necesarios para la preparación de las soluciones concentradas



Contenedor de plastoform



Primeras semanas de las plantas en las camas flotantes



A las cuatro semanas



A las seis semanas



A las 8 semanas



Medición de la conductividad eléctrica



A las 12 semanas, momento de la cosecha



A las 12 semanas, momento de la cosecha