

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA INGENIERÍA AGRONÓMICA



TESIS DE GRADO

EVALUACIÓN DE DOS VARIEDADES DE BERRO (*Nasturtium officinale*) A DIFERENTES DENSIDADES DE TRANSPLANTE EN UN SISTEMA HIDROPONICO N.F.T. EN CENTRO EXPERIMENTAL COTA-COTA

REYNALDO MARTIN FLORES CALISAYA

LA PAZ – BOLIVIA

2020

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMIA
CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA

EVALUACIÓN DE DOS VARIETADES DE BERRO (*Nasturtium officinale*) A DIFERENTES DENSIDADES DE TRANSPLANTE EN UN SISTEMA HIDROPONICO N.F.T. EN CENTRO EXPERIMENTAL COTA-COTA

*Tesis de Grado presentada como requisito
Parcial para optar el título de
Ingeniero Agrónomo*

Flores Calisaya Reynaldo Martin

ASESORA:

Ing. M.Sc. Celia Fernández Chávez

COMITÉ REVISOR:

Ing. M.Sc. Medardo Wilfredo Blanco Villacorta

Ing. William Alex Murillo Oporto

Ing. Luis Humberto Ortuño Rojas

APROBADO:

PRESIDENTE TRIBUNAL EXAMINADOR:

La Paz – Bolivia
2020

Dedicatoria

A Dios quien siempre ha estado conmigo, por sobre todas las cosas, en todos los momentos y formar parte de mi vida en adelante.

A mis padres, Martin Flores y Flora Calisaya que depositaron en mí la confianza, creyeron en mi me apoyaron en todo momento a lo largo de mis estudios.

A todos quienes lograron conocerme y me trataron con cariño y confianza.

Decirles muchas gracias por el tiempo que me brindaron.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por acompañarme todos los días, porque hiciste realidad este sueño realidad este sueño anhelado.

Agradecer a la casa superior de estudios Universidad Mayor de San Andrés, al personal docente de la carrera de Ingeniería Agronómica, por haber contribuido en 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 asesora Ing.M.Sc. Celia Fernández Chávez, por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos ese el área de horticultura ha logrado que ejecute el proceso de investigación en el campo. A mis revisores Ing. Willams Alex Murillo Oporto por su conocimiento en las hortalizas e hidroponía como también en fertilización al Ing. Luis Humberto Ortuño por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito. Al Ing. Msc. Medardo Wilfredo Blanco Villacorta quien me corrigió y apporto en su conocimiento en cultivos hidropónicos.

También me gustaría agradecer a mis profesores durante toda mi carrera profesional, porque todos han aportado con un granito de arena a mi formación.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional, alas que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi 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 mí por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

CONTENIDO

CONTENIDO GENERAL

INDICE GENERAL.....	iii
INDICE DE CUADROS.....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	viii
INDICE DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN.....	x
SUMMARY.....	xi

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos específicos	3
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1 El berro	3
3.1.1 Origen y distribución del cultivo	3
3.1.2 Taxonomía.....	4
3.1.3 Descripción botánica.....	4
3.1.4 Enfermedades y plagas	6
3.1.5 Importancia del cultivo	7
3.1.6 Requerimientos nutricionales del cultivo de berro.....	9
3.1.7 Variedades.....	11
3.1.8 Características agroecológicas del berro.....	12
3.2 Densidad de siembra	12
3.3 Ambiente Protegido.....	13
3.4 Hidroponía	13
3.4.1 Ventajas y desventajas	14

3.4.2 Componentes de los sistemas hidropónicos.....	15
3.4.3 Sistema de producción hidropónica.....	26
3.5 Sistemas de riego en hidroponía.....	28
3.6 Manejo del cultivo	28
3.6.1 Siembra	28
3.7 Plagas y Enfermedades en los cultivos hidropónicos	29
4. LOCALIZACIÓN	29
4.1 Ubicación geográfica.....	29
4.2 Suelo.....	30
4.3 Fisiografía y vegetación	31
4.4 Características del invernadero.....	31
5. MATERIALES Y MÉTODOS	31
5.1 Materiales	31
5.1.1 Material vegetal.....	31
5.1.2 Material de escritorio.....	32
5.1.3 Material inorgánico.....	32
5.1.4 Material de campo	32
5.1.5 Material de laboratorio	34
5.2 Metodología	34
5.2.1. Sistema hidropónico	34
5.2.1.2.1 Nivelación de la pirámide para la estructura.....	35
5.2.1.2.3 Instalación de sistema de riego	35
5.2.2 Análisis de agua.....	36
5.2.3 Almácigo	37
5.3 Diseño experimental	40
5.3.1 Modelo estadístico	40
5.3.2 Combinación de tratamientos	41
5.3.3 Tratamientos.....	41
5.3.4 Croquis del experimento	42
5.3.5 Análisis estadístico	43
5.4 Variables de respuesta	43

5.4.1	Fluctuaciones ambientales	43
5.4.2	Variables agronómicas	43
5.4.3	Variables de rendimiento	44
5.4.4	Variables económicas.....	44
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
6.1	Fluctuaciones ambientales.....	46
6.1.1	Comportamiento de la temperatura durante el desarrollo del cultivo	46
6.2	Variables de respuesta	49
6.2.1	Porcentaje de emergencia (%)	49
6.2.2	Altura de planta (cm).....	50
6.2.3	Número de hojas (Nº)	55
6.2.4	Área foliar (cm ²)	59
6.2.5	Peso promedio por planta (g)	62
6.2.6	Rendimiento (kg/m ²)	66
6.3	Análisis económico	66
6.3.1	Rendimiento ajustado	67
6.3.2.	Número de ciclos por año	67
6.3.3	Beneficio bruto (Bs/m ²)	68
6.3.4	Costos variables (CV)	68
6.3.5	Costos fijos (CF).....	69
6.3.6	Costos totales	70
6.3.7	Beneficio Neto (BN).....	70
6.3.8.	Relación beneficio costo (B/C).....	71
7.	CONCLUSIONES.....	72
8.	RECOMENDACIONES	74
9.	BIBLIOGRAFÍA	75

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Valor nutricional del berro.....	8
Cuadro 2. Formulación de nutrientes para berro.....	10
Cuadro 3. Requerimiento en g para 1000 l de solución nutritiva.....	10
Cuadro 4. Macronutrientes y micronutrientes.....	18
Cuadro 5. Funciones de los elementos nutritivos en las plantas.....	19
Cuadro 6. Soluciones y sus concentraciones.....	20
Cuadro 7. Valores recomendados de Ce y pH de soluciones nutritivas para algunos cultivos.....	22
Cuadro 8. Conductividad eléctrica por cultivo.....	24
Cuadro 9. Cantidades de ácidos y bases para ajustar el pH.....	25
Cuadro 10. Requerimiento nutricional para el cultivo de berro (ppm).....	38
Cuadro 11. Factores de estudio con sus respectivos niveles.....	41
Cuadro 12. Descripción de la combinación de los tratamientos.....	42
Cuadro 13. Análisis de varianza para la variable altura de planta (cm).....	52
Cuadro 14. Prueba Duncan al 5% para el factor A (altura de planta).....	52
Cuadro 15. Prueba Duncan, para el factor B altura de planta.....	53
Cuadro 16. Análisis de varianza para el número de hojas por planta.....	56
Cuadro 17. Prueba Duncan para densidades de trasplante el número de hojas por planta.....	57
Cuadro 18. Prueba de Duncan para densidades de trasplante en el número de hojas por planta.....	58
Cuadro 19. Análisis de varianza para la variable área foliar (cm ²)......	59
Cuadro 20. Prueba Duncan al 5% para el factor A área foliar.....	60
Cuadro 21. Prueba Duncan al 5%, para el factor B para la variable área foliar.....	61
Cuadro 22. Análisis de varianza para la variable peso promedio por planta (g).....	62
Cuadro 23. Prueba Duncan al 5%, para el factor A peso promedio por planta.....	63
Cuadro 24. Prueba de efectos simples de la interacción de los factores A y B para peso/planta (g).....	64
Cuadro 25. Rendimiento en kilogramos por metro cuadrado.....	67
Cuadro 26. Beneficio Bruto.....	68
Cuadro 27. Costos variables por variedades (Bs/año).....	69

Cuadro 28. Costos fijos por variedades (Bs/Año).....	69
Cuadro 29. Costos totales por variedad	70
Cuadro 30. Beneficios netos anuales por variedad	70
Cuadro 31. Relación beneficio costo.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes del sistema hidropónico	16
Figura 2. Ubicación geográfica del trabajo de investigación	30
Figura 3. Cosecha por variedad	40
Figura 5. Croquis del área experimental	42
Figura 6. Porcentaje de emergencia de berro V1 y V2.....	49
Figura 7. Altura de las dos variedades en función al tiempo	51
Figura 8. Numero de hojas con respecto al tiempo	55
Figura 9. Número de hojas por planta de los 6 tratamientos	57
Figura 10. Comparación de medias del peso por planta en la interacción de niveles de los factores A y B respecto a variedad	64
Figura 11. Comparación de medias del peso por planta en la interacción de niveles de los factores A y B respecto a densidad	66

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Porcentaje de emergencia por tratamiento	84
Anexo 2. Altura de planta (cm)	84
Anexo 3. Número de hojas (u).....	84
Anexo 4. Área foliar (cm ²).....	85
Anexo 5. Peso promedio por planta (g)	85
Anexo 6. Rendimiento (kg/m ²).....	85
Anexo 7. Rendimiento (kg/m ²).....	86
Anexo 8. Beneficio bruto	86
Anexo 9. Costos variables por variedad (Bs/año)	86
Anexo 10. Costos fijos por variedades (Bs/Año)	87
Anexo 11. Relación beneficio costo (B/C)	87
Anexo 12. Construcción de canales de cultivos	87
Anexo 13. Construcción de la cobertura de canal de riego	88
Anexo 14. Instalación del sistema de distribución	88
Anexo 15. Instalación del sistema de retorno.....	89
Anexo 16. Excavación para el estanque del agua de 1200 l.....	89
Anexo 17. Limpieza del sistema NFT	90
Anexo 18. bandejas flotantes de plastoforno	90
Anexo 19. Almacigo en las bandejas flotantes	90
Anexo 20. Trasplanté	91
Anexo 21. Medición de la conductividad eléctrica	91
Anexo 22. Cosecha y pesado de las dos variedades.....	92
Anexo 23. Embolsado y pesado.....	92
Anexo 24. Planta de berro de jardín (<i>Lepidium sativum</i>).....	93
Anexo 25. Planta de berro de agua (<i>Nasturtium officinale</i>).....	93
Anexo 26. Análisis de agua.....	94

RESUMEN

La presente investigación se realizó en predios del centro experimental de Cota Cota de la facultad de agronomía dependiente de la Universidad Mayor de San Andrés.

El crecimiento de la población en áreas urbanas y rurales trae como consecuencia una demanda de hortalizas y verduras que llenen estándares de calidad, esta demanda puede ser solventada produciendo el cultivo de espinaca en forma intensiva y en espacios reducidos haciendo uso de la técnica hidropónica conocida como Técnica de Solución Nutritiva Recirculante (NFT), con la que se hace posible obtener productos finales de alta calidad. El objetivo de la presente investigación fue de: evaluar dos variedades de berro (*Nasturtium officinale*.) a diferentes densidades de trasplante en sistema NFT, en ambiente atemperado en el Centro Experimental de Cota Cota. Para alcanzar el objetivo planteado se utilizó el diseño de Bloques al azar bifactorial, que consto de 6 tratamientos y 36 unidades experimentales. Los factores estudiados fueron: Variedades de berro (*Nasturtium officinale*) y densidades de trasplante (D1 = 15 cm; D2 = 20 cm; D3 = 25). Como también se planteó 5 variables de respuesta las cuales fueron: porcentaje de emergencia, altura de la planta en (cm), numero de hojas, peso promedio por planta, rendimiento (kg/m²) comestible, análisis económico.

Los resultandos salieron <1 esto nos indica que no es rentable para el primer año por los costos del sistema re circulante ya que por cada boliviano invertido se perdió para *N. officinale* en D1 = 0.53, D2 = 0.46 y D3 = 0.11 y para *L. sativum* en D1= 0.23, D2 = 0.31 y D3 = 0.31.

SUMMARY

The present investigation was carried out on the premises of the Cota Cota experimental center of the Agronomy Faculty of the Universidad Mayor de San Andrés. The growth of the population in urban and rural areas brings as a consequence a demand for vegetables and greens that meet quality standards, this demand can be solved by producing the cultivation of spinach intensively and in reduced spaces using the hydroponic technique known as Recirculating Nutritive Solution Technique (NFT), with which it is possible to obtain high quality end products. The objective of this research was to: evaluate two varieties of watercress (*Nasturtium officinale*.) At different transplant densities in the NFT system, in a tempered environment at the Experimental Center of Cota Cota. To achieve the proposed objective, the bifactorial randomized Block design was used, which consisted of 6 treatments and 36 experimental units. The factors studied were: Watercress varieties (*Nasturtium officinale*) and transplant densities (D1 = 15 cm; D2 = 20 cm; D3 = 25). As was also raised 5 response variables which were: percentage of emergence, plant height (cm), number of leaves, average weight per plant, edible yield (kg / m²), economic analysis. The results came out <1, this indicates that it is not profitable for the first year due to the costs of the circulating system since for each Bolivian invested it was lost for *N. officinale* at D1 = 0.53, D2 = 0.46 and D3 = 0.11 and for *L sativum* at D1 = 0.23, D2 = 0.31 and D3 = 0.31

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad a nivel mundial, la agricultura hidropónica viene adquiriendo gran importancia social para la seguridad que ofrece a la salud humana y al medio ambiente, donde la agricultura hidropónica es de gran manera una alternativa para producir altos rendimientos en espacios reducidos y con menor cantidad de agua. Según investigaciones anteriores se determinó que la producción en hidroponía incremento en su rendimiento hasta en el doble de lo habitual ya que pasaría a ser una gran ventaja para los consumidores y productores.

Por otro lado, en las últimas décadas el recurso suelo ha sido deteriorado por el abuso de explotación y aplicación de sobredosis de fertilizantes químicos su uso de plaguicidas, afectando la sostenibilidad del recurso suelo generando pobreza para los agricultores y finalmente el desequilibrio del ecosistema.

La tierra es un sustrato clásico para el cultivo. Ofrece sostén, mantiene humedad y tiene los nutrientes propios del suelo en el que se desarrolla el cultivo. Sin embargo, el flujo de oxígeno no es bueno, se pueden transmitir enfermedades bacterianas y virales además se presentan nematodos y factores como la erosión y contaminación del suelo como también de aguas subterráneas.

Esos problemas no se presentan en la hidroponía, porque el sustrato que se usa en la hidroponía solo ofrece sostén y la capacidad de mantener la humedad y oxigenación de las raíces de las plantas. No aporta nutrientes y es sencillo lograr que esté libre de contaminación, plagas y enfermedades.

Pierre y Galbain (2009), indica que el berro es la hortaliza perenne que se adapta muy bien a climas fríos y cálidos. Pertenece a la familia de las Crucíferas, que engloba 380 géneros y unas 3000 especies siendo de gran importancia al ser una hortaliza que tienen alto contenido de compuestos de azufre considerados como potentes antioxidantes que ayudan a prevenir enfermedades.

Regmurcia (2009), muestra que el berro es de origen europeo, el berro de agua existe en estado silvestre a lo largo de los arroyos. Sus cualidades son muy apreciadas en Francia por lo que su consumo es casi frecuente.

El mismo autor indica que los persas lo utilizaban por sus grandes cualidades medicinales y era utilizado también en la alimentación de los niños, los romanos lo utilizaban para evitar la caída de cabello y la caspa, aunque en la actualidad el berro es una de las hortalizas poco conocidas en nuestro país y su consumo llega a ser escaso.

Respecto al cultivo del berro en la ciudad de La Paz no se hicieron trabajos de evaluación, debido a que este cultivo crece en su mayoría de forma acuática en arroyos y ríos, llegando a considerarla como una maleza al no ser tan conocida. El berro es una hortaliza que de a poco va tomando importancia en nuestro continente, se realizaron evaluaciones recientes en Chile y en Brasil pero como cultivo hidropónico, observándose grandes resultados en rendimientos y económicamente.

En nuestro departamento el incremento de producción de hortalizas es muy notoria, también ha aumentado de manera significativa el control sobre las condiciones ambientales para el desarrollo de las plantas dentro de las carpas solares, creciendo en conjunto el interés del horticultor en conseguir el incremento de la cosecha y alargar las épocas de producción, impulsando a la empresa hortícola a practicar diferentes técnicas para la producción sobre todo de nuevas hortalizas.

El Berro es apreciado por su alto contenido en calcio y sus propiedades depurativas y antiescorbúticas, que se puede consumir cruda, mencionando además que tiene un ciclo corto de producción y no es exigente en aspectos de clima y suelo.

Contiene más azufre que cualquier otra verdura, a excepción del rábano picante. El azufre ayuda a la absorción de proteínas, purifica la sangre, ayuda en la creación de nuevas células y ayuda a tener un cabello y una piel sanos. El consumo de berro puede disminuir el colesterol, se ha conseguido disminuir los triglicéridos y las lipoproteínas de baja densidad (LDL-C), esta cualidad se le atribuye debido a su gran potencial antioxidante (Yazdanparast et al., 2008)

Por estas razones se pone como alternativa la producción intensiva del berro, haciendo conocer estas variedades e incorporarlas en la dieta diaria y con los resultados

obtenidos dar a conocer el ingreso económico que se puede tener al producir hortalizas como el berro.

El presente estudio se realizó, para observar cuál de las densidades influye en el rendimiento del follaje de esta hortaliza, así mismo la investigación tiene el propósito de evaluar si esta hortaliza tiene el mismo rendimiento que al ser producido en un sistema hidropónico y así aplicarlo en trabajos de investigación posteriores

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Evaluar dos variedades de berro (*Nasturtium officinale R. Br.*) a diferentes densidades de trasplante en un sistema hidropónico N.F.T. en el centro experimental Cota Cota.

2.2 Objetivos específicos

- Analizar el efecto de las tres densidades en el rendimiento del cultivo de berro.
- Determinar la variedad de berro que mejor rendimiento tenga en el sistema N.F.T. (nutrient film technique) que presentan las variedades en su crecimiento hasta la etapa comercial.
- Determinar la relación beneficio costo.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 El berro

3.1.1 Origen y distribución del cultivo

Palaniswamy y McAvoy (2001) citado por Vásquez (2008) indican, que el berro (*Nasturtium officinale R. Br.*) es una planta originaria de Europa, y recientemente cultivada en casi todo el mundo.

El berro es originaria de Europa y Asia Central, ha sido usada desde tiempos inmemoriales por la medicina popular para aliviar problemas respiratorios y afecciones cutáneas. Es considerada como uno de los vegetales más antiguos consumidos por el hombre, debido al elevado contenido de vitaminas y minerales (Fernández, 2012).

Esta especie se considera originaria de Europa y del norte de Asia. El berro de agua es una de las pocas hortalizas que se desarrollan en hábitat acuático, creciendo en forma silvestre en aguas claras y frías de lenta corriente, en manantiales, arroyos y terrenos anegados (Krarup y Moreira, 2004).

Salas (2007), menciona que los berros son originarios de Asia Septentrional y Europa. Los principales países productores son: Dinamarca, Holanda, Francia, Bélgica e Inglaterra; siendo transportados y distribuidos de una manera muy particular y dinámica por los nómadas a varias partes del mundo.

La palabra española "berro", proviene del celta "beruron", refiriéndose a la planta para ensalada "*Nasturtium officinale*" o de botica muy apreciada por los antiguos europeos como estimulante, diurética², antipirética³ y estomáquica⁴.

3.1.2 Taxonomía

Según Lorente (2007), la clasificación taxonómica es la siguiente:

Clase: Magnoliopsida

Orden: Brassicales

Familia: Brassicaceae

Género: *Nasturtium*

Especie: *N. officinale*

3.1.3 Descripción botánica

Carratalá (2015), describe al berro como una planta perenne común en arroyos, torrentes de aguas claras y pantanos. Esta planta tiene su distribución en Europa y el Occidente de África, aunque actualmente se ha extendido por todo el mundo por ser

2 [Sustancia, medicamento] Que facilita o aumenta la eliminación de orina.

3 [Sustancia, medicamento] Que sirve para reducir la fiebre.

4 (a) Adjetivo dícese del medicamento que combate la dispepsia, favorece la secreción gástrica y apetito. (b) Que favorece la digestión gástrica.

una planta de consumo doméstico, muy apreciada en las ensaladas. El berro es una planta acuática o semi-acuática de entre 10 a 50 cm de altura. Los tallos son huecos y algo carnosos. Las hojas de color verde oscuro y con limbo ancho. Las flores son pequeñas y blancas.

Fernández (2012), indica que el berro es una planta perenne, acuática o semiacuática, rastrera o flotante, glabra y de entre 10 a 60 cm de altura, tiende a agruparse en grandes colonias. Los tallos ascendentes son huecos, ramificados, algo carnosos y con raíces en los entrenudos. Las hojas, de color verde oscuro, son glabras, bipinnadas, de 5 a 15 cm de ancho.

Las flores, pequeñas, amarillas o blancas, tienen cuatro sépalos verdes de alrededor de 2 mm de largo, con cuatro pétalos de entre 3 a 5 mm de largo, seis estambres y un único pistilo y se reúnen en inflorescencias en ramilletes o panículas axilares y terminales. Los frutos son silicuas rectas o encorvadas, cilíndricas, de 1 a 2 cm de largo por 2 a 2,5 mm de diámetro, divergentes a algo ascendentes, sobre pedicelos del mismo largo que las silicuas. La raíz es fibrosa.

La enciclopedia de la Agricultura y Ganadería Océano (2007) citado por Murillo (2010) afirman que el berro presenta las siguientes características:

- El tallo es glabro, rastrero o flotante en su mayor parte, erectos en los extremos, huecos, provistos de raíces adventicias que crecen a partir de los nudos caulinares.
- La hoja Para Salas (2007), indica que las hojas que oscilan entre 5 a 7 hojas, son ovales o redondas, con nervaduras muy marcadas, siendo la última la más grande.
- Las flores son de 4 a 6 mm de diámetro, con cuatro pétalos de color blanco o blanco-rosado, reunidos en racimos o panículos a final de los tallos.
- Los frutos dispuestos en silicua, de 1,3 a 1,8 cm de longitud situados al final de pedúnculos de 0,8 a 1 cm de longitud.
- El sistema radicular es de raíz fibrosa bastante ramificada.

- Palanniswamy y McAvoy (2001) citado por Márquez (2013) indican que el berro comercial se propaga a través de semillas o por cortes en las extremidades. En el primer método, las semillas germinan después de 5 a 10 de la siembra, y a diferencia de la segunda metodología, es la estrategia de elección debido al bajo riesgo de propagación del virus del mosaico del nabo.
- Además señalan que la cosecha del berro se realiza cuando la planta alcanza una altura de 18 cm alrededor del día 35 (en verano) y 50 (en primavera y otoño) o de 6 a 7 semanas después de la siembra.

3.1.4 Enfermedades y plagas

3.1.4.1 Enfermedades

Maroto (1995), citado por Colodro (2013) señala, que los berros son atacados por diferentes enfermedades criptogámicas como el mildiu de las crucíferas (*Peronospora parasitica* De By), así como por algas y plantas adventicias diversas.

El berro, al ser una planta en constante contacto con el agua, queda expuesto a contaminaciones como la duela (parásito que se transmite a través de los excrementos de los animales), por lo que es recomendable en cocina utilizar aquél que procede de cultivos controlados (Regmurcia, 2009).

3.1.4.2 Plagas

Salas (2007), destaca que las plagas que se detallan a continuación son muy nocivas para los cultivos de berros en sus cuatro clases, las plagas si no son controladas a tiempo pueden terminar con cultivos, como también producen efectos secundarios por el abuso de pesticidas para el control de plagas, y esperar un mínimo de dos meses para el nuevo cultivo.

- Mosca blanca. En el momento de la germinación provoca malformaciones y desarrollo insuficiente de la planta.
- Gusano de alambre. Raíces y tallo alteran el paso normal de los nutrientes por medio de las raíces, provocando un desarrollo insuficiente.
- Gardamas y prodemias. Ataca toda la planta pudiendo llegar a destruir totalmente la parcela, es muy resistente.

3.1.5 Importancia del cultivo

En años recientes, en California (EE. UU.), se cultiva el berro bajo la técnica de flujo laminar de agua y nutrientes (NFT⁵) al aire libre y no re-circulante. En una extensión en promedio de 1,2 a 2 hectáreas en Venezuela, se cultiva el berro bajo el sistema hidropónico que cumple con las exigencias de calidad del mercado, con una producción de 6000 a 8000 kg procedentes de una superficie aproximada de 0,5 hectáreas, producto que se vende a los restaurantes. (Resh, 1997)

Palaniswamy et al. (2003) citado por Vásquez (2008) menciona, que esta hortaliza es poco conocida, sin embargo, su importancia potencial radica en la cantidad de nutrientes esenciales importantes para la dieta humana. Esta planta contiene sales minerales como sodio, yodo, hierro, fósforo, manganeso, vitaminas A, C, B2 y E; y glucosinolatos. Estudios recientes muestran los beneficios que su consumo trae a la salud, disminuyendo problemas de artritis reumatoides, esclerosis múltiple y cáncer.

3.1.5.1 Valor nutricional del berro

Fernández (2012), señala que el berro contiene vitaminas A, B1, B2, B3, B5, B6, B17, C, D, E y K. También cuenta con minerales como calcio, fósforo, potasio, hierro, sodio, magnesio, cobre, manganeso, flúor, azufre, cloro, yodo, germanio, silicio y zinc.

Saavedra (2011) citado por Márquez (2014), mencionan que el berro, junto con otras brásicas de consumo en verde, está entre las hortalizas más nutritivas, ellas son una excelente fuente de vitaminas B6 y C, carotenos y manganeso. Además son una buena fuente de fibra, hierro, cobre, calcio, así como de vitaminas B1, B2 y E.

Esta hortaliza tiene doble contenido en calcio que fósforo, lo cual es una buena relación, debido a que el alto consumo de fósforo ha sido ligado a osteoporosis⁶. Por lo tanto, un alto consumo reduce la utilización de fósforo y promueve su excreción.

⁵ El sistema de NFT (Nutrient Film Technique) que, traducido al español significa “la técnica de la película de nutriente”, es el sistema hidropónico re-circulante más popular para la producción de cultivos en el mundo.

⁶ Enfermedad ósea que se caracteriza por la disminución de la densidad de tejido óseo y q tiene como consecuencia una fragilidad exagerada de los huesos.

El cuadro 1 presenta el valor nutricional de 100 gramos de berro fresco crudo.

Cuadro 1. Valor nutricional del berro

Valor nutricional de 100 g de berro fresco crudo	
Elemento	Cantidad
Agua	93.5 g
Proteínas	1.6 g
Grasa total	0,30 g
Hidratos de carbono	3.60 g
Energía	17 kcal
Fibra	1.5 g
Vitamina B1(tiamina)	0.09 mg
Vitamina B2(riboflavina)	0.17 mg
Vitamina A (retinol)	823 UI
Vitamina C(ácido ascorbico)	96 mg
Vitamina Pca (acido pantoténico)	0.2 g
Caroteno	4914 µg
Niacian	0.65

Fuente: www.5aldia.org.es, 2008

Padilla (2013) indica que la concentración de vitaminas C, en el berro presenta propiedades antioxidantes que ayudan a neutralizar los radicales libres a eliminar determinadas sustancias toxicas, reduciendo la probabilidad de desarrollar cáncer.

La vitamina C inhibe además el crecimiento de bacterias dañinas para el organismo favorece el sistema inmunitario, previene enfermedades vasculares al reducir la tensión arterial, y es empleada en tratamientos contra alergias como el asma o la sinusitis⁷. También posee propiedades que ayudan a mantener normal el tejido conectivo, previene la deficiencia de hierro y ayuda al cuerpo a desarrollar defensas contra organismos infecciosos.

Leme (2005) afirma, las proteínas son fundamentales para el crecimiento y desarrollo de los músculos, huesos, sangre, piel, cabello, uñas y órganos internos, y para la formación de las enzimas, las hormonas y los anticuerpos.

Saavedra *et al.* (2011) citado por Márquez (2014) aseveran que este vegetal es una excelente fuente de vitamina K, solo con 100g frescos proveen sobre el 200% de las necesidades diarias recomendadas. Las vitaminas K tiene un rol potencial en la salud de los huesos promoviendo la actividad osteotrófica a (formación de huesos y fortalecimiento). Cantidades apropiadas de la vitamina K en la dieta ayudan a limitar el daño neuronal en el cerebro, mejora las funciones de memoria, también es un factor importante en la coagulación de sangre de manera saludable.

3.1.5.2 Propiedades y beneficio del berro

Padilla (2013), señala las propiedades y beneficios del berro recomendados para:

- Diabéticos, por su capacidad para equilibrar el azúcar en la sangre (infusión con sus ramas).
- Problemas renales (infusión con sus hojas).
- Problemas digestivos
- Por su vitamina E como uno de los grandes antioxidantes aliados contra el cáncer.

Debido a la elevada concentración de carotenoides, el berro actúa como antioxidante previniendo el envejecimiento celular y protegiendo el organismo de frente a los radicales libres y a la adaptación del cáncer, a la vez que se producen las propiedades de ataques cardíacos.

3.1.6 Requerimientos nutricionales del cultivo de berro

De acuerdo con Rodríguez (1996), la formulación de nutrientes se basó en la fórmula de lechuga, la formulación se observa en el cuadro 2.

Cuadro 2. Formulación de nutrientes para berro

Elemento	Cantidad (ppm)
Potasio	220.00
Calcio	175.00
Nitrógeno	160.00
Magnesio	50.00
Fósforo	45.00
Hierro	5.00
Manganeso	0.80
Boro	0.30
Zinc	0.10
Cobre	0.07
Molibdeno	0.03

Fuente: Rodríguez (1996)

En el cuadro 3, se mencionan los fertilizantes para 1000 litros de solución nutritiva según los requerimientos de cada cultivo.

Cuadro 3. Requerimiento en (g) para 1000 (l) de solución nutritiva

Soluciones	Fertilizantes	Requerimiento (g)
Solución "A"	Nitrato de potasio	46.61
	Nitrato de Calcio	926.32
	Plant Prod Canada	763.72
Solución "B"	Sulfato de Magnesio	393.82
	Nitrato de Amonio	252.21
	Quelato de Hierro	4.21

Fuente: Murillo (2010)

3.1.7 Variedades

Salas (2007) indica que existen cuatro variedades de berro, las cuales se detallan a continuación.

a) Berro Mastuerzo o de jardín (*Lepidium sativum*)

Es el más común, crece en arroyos manantiales, también en terrenos húmedos. Este tiene un origen oriental, introducidos posteriormente a Europa y América; en los Estados Unidos, es conocida como maleza no comestible llamada capuchina. Una de sus particularidades es su rápido crecimiento y se puede recoger dos o tres días después de su germinación de humedad apropiada (**Anexo 24**)

b) Berro de fuente o de agua (*Nasturtium officinale*)

Crece dentro del agua. Son los más nutritivos, con hojas grandes de color oscuro, es una de las mejoras clases en cuanto a que esta posee una gran cantidad de minerales, como hierro, sodio y fósforo, ideales para personas anémicas.

Smith (2007) citado por Márquez (2013) señalan que el berro de agua (*Nasturtium officinale*) pertenece a la familia Brassicaceae, consta de 350 géneros y más de 3000 especies (**Anexo 25**).

c) Berro cocleacia

Que se caracteriza por poseer sus hojas en forma de cuchara. Esta especie crece silvestre en la zona septentrional y occidental de Europa. En Alemania es conocida con el nombre de “planta del escorbuto”, ya que, por su alto contenido en vitamina C antiguamente se empleaba para paliar esta enfermedad.

d) Berro de invierno

Es cultivada a muy pequeña escala en Francia y Estados Unidos. Llamado berro de invierno porque crece con mayor facilidad en esta temporada por los torrenciales y continuos aguaceros y mayor fluidez de agua. Posee una característica especial en sus hojas y tallo, ya que normalmente esta planta tiene una cubierta cerosa para no absorber más agua de lo que necesita y para hacer a esta impermeable, el berro de

invierno, posee esta capa cerosa un poco más pronunciada de las demás, lo que la hace a esta impermeable, el berro de invierno, posee esta capa cerosa un poco más pronunciada que las demás, lo que la hace ver más grande y con hojas más gruesas y prominentes.

3.1.8 Características agroecológicas del berro

Infoagro (2005) indica, que las características agroecológicas del berro son las siguientes:

- Clima: se desarrolla mejor en un clima templado fresco.
- Temperatura: el rango de temperatura necesario para obtener un buen crecimiento y calidad son los siguientes.

Promedio mensual óptimo: 15°C - 21°C

Promedio mensual mínimo: 7°C

El promedio mensual óptimo 15°C -21 y la humedad relativa alta favorece alta favorecen en la formación de raíces aéreas, las temperaturas altas dan lugar al desarrollo prematuro del tallo y caída de raíces, floración prematura y un sabor amargo en las hojas. Las temperaturas altas también provocan la aparición de quemaduras de los extremos de las hojas.

- Las temperaturas para lograr una buena germinación de semillas son :

Óptima: 24 °C

Mínima: 6 °C

Las semillas de berro son muy sensibles a temperaturas menores a 6°C, esta condición en el medio ambiente produce aletargamiento.

3.2 Densidad de siembra

Según Castañeda (1997), la distancia de siembra óptima para el cultivo de berro hidropónico es de 10 x 10 cm y cuenta con un periodo de prendimiento a la primavera recolección de 70 días

La propagación de los berros se puede realizar por semillas o esquejes, siendo este último el que a continuación se describe: los esquejes de tamaño de 10-20 cm, de largo se planta en hileras, a 10 cm, unas de otras, y a 20 cm entre plantas para garantizar el desarrollo de plantas vigorosas es necesario un flujo de agua (Proyecto Agricultura Urbana, 2008).

3.3 Ambiente Protegido

El ambiente protegido es toda aquella estructura cerrada o cubierta por materiales transparentes, dentro del cual alcanzan condiciones artificiales de microclima, útiles para producir plantas fuera de las estaciones en las que se cultivan (Flores,2006).

Veldez (1997) citado por Terrazas (2013), existen diferentes tipos de construcciones como son los invernaderos, carpas solares aéreas y carpas solares subterráneas esto con el fin de proteger las cosechas, así se consigue un adelanto o retraso en la cubiertas que evitan el descenso de temperatura a niveles críticos, La energía solar es la fuente para calentar estos ambientes, y son comunes en la región andina de Bolivia.

3.4 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 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 adecuados (Barros, 2000).

Resh (1997), menciona en cuanto a la salud y alimentación, este sistema es importante porque la hidroponía provee alimentos frescos de alto valor nutritivo (vitaminas,

proteínas, fibra y minerales), siendo de mejor 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 pesticidas contribuyendo así en la conservación del medio ambiente.

Sánchez (2004) indica que una cualidad importante al cultivar plantas en un medio sin tierra es que permites tener más plantas en una cantidad limitada de espacios, las cosechas maduran más plantas en una cantidad limitada de espacios, 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.

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 semilla certificada en algunos 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).

3.4.1 Ventajas y desventajas

Nuez (1999), Barrios (2004), Barbados (2005) citado por Lacarra y García (2011) señalan que los sistemas de cultivos hidropónicos como cualquier sistema de producción agrícola presentan ventajas y desventajas, las cuales a continuación se mencionan:

a) Ventajas

- Los cultivos están exentos de problemas fitopatológicos relacionados con enfermedades producidas por hongos del suelo, lo que permite reducir el empleo de sustancias desinfectantes.
- Reducen el costo de energía empleando en las labores relacionadas con la preparación del terreno para la siembra o plantación.
- Mayor eficiencia de agua utilizada, lo que representa un menor consumo de agua por kilogramo de producción obtenida.

- Respecto a los cultivos establecidos sobre un suelo normal, los cultivos hidropónicos aprovechan mejor los nutrientes minerales de manera más eficiente.
- Permite aprovechar suelos o terrenos no adecuados para la agricultura tradicional.
- Producción intensiva escalonada, lo que permite mayor número de cosechas por año, tanto se tiene mayor rendimiento en comparación con los sistemas de producción en suelo.
- Ausencia de malezas.
- Ausencia de plagas y enfermedades en raíz, al menos inicialmente.

b) Desventajas

- El costo inicial elevado por concepto de infraestructura e instalaciones que integran al sistema.
- Se requiere mano de obra calificada para diferentes etapas en el proceso de producción.
- Problemas fitosanitarios por el uso de agua de riego de mala calidad.
- Contaminantes de acuíferos por manejo inadecuado de agroquímicos.
- Riesgo a la salud humana por el manejo y la aplicación inadecuada de agroquímicos.
- Falta de equipo e insumos nacionales.
- Las plantas reaccionan rápidamente como buenas y malas condiciones.
- Las variedades de plantas disponibles no son siempre las mejores

3.4.2 Componentes de los sistemas hidropónicos

Rivasplata (2012), indica que los componentes del sistema hidropónico están relacionados unos con otros como se aprecia en la figura 1.

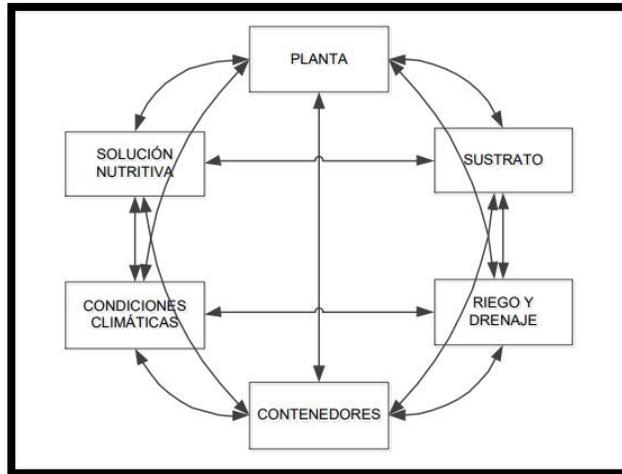


Figura 1. Componentes del sistema hidropónico

De estos componentes podemos agrupar a aquellos que están enfocados con la parte radicular de la planta, estos son: sustrato, contenedor, solución nutritiva, riego y drenaje de los cuales, al definirlos podremos establecer el tipo de sistema hidropónico a utilizar. Por otro lado el componente nombrado como condiciones climáticas engloba a la temperatura, la humedad atmosférica y la luz, que son factores indispensables para la vida de las plantas independientemente de si se esté usando a la hidroponía o no.

3.4.2.1 Planta

La planta es el componente más importante de los sistemas hidropónicos, ya que de la correcta funcionalidad de los demás componentes dependerá la calidad de planta que se tenga, y por tanto los rendimientos.

Las plantas que comúnmente se cultivan en hidroponía son especies de alto valor dentro de ellas podemos mencionar:

- Hortalizas de hoja: Lechuga, acelga, espinaca, col, apio, rúcula, berros.
- Especies aromáticas: Albahaca, menta, cilantro y perejil.
- Hortalizas de flor: Brócoli, coliflor, alcachofa y otros cultivos.
- Especies ornamentales: Rosas, anturios, nochebuenas, orquídeas, crisantemos y otros cultivos.

- Hortalizas de fruto: Tomate, pimiento morrón, pepino, chile manzano, melón, sandía, calabacín, berenjena y fresa.

3.4.2.2 Sistema NFT

Esta técnica es conocida como NFT (Nutrient Film Technique o Técnica de la Película Nutriente). Es muy utilizada en el mundo principalmente para el cultivo de hortalizas de hojas como berros, lechugas, acelgas y especias como albahaca y menta, aunque también se producen frutos como chile dulce, tomate y pepino, e ntre otros (Soto, 2006).

El sistema NFT es una técnica cultural en donde las plantas son cultivadas con su sistema radicular sumergido en una lámina de agua, por la cual circula continuamente la solución nutritiva (Resh, 1978). En el caso de la hidroponía, las raíces están adaptadas para respirar bajo el agua, absorber nutrientes, crecer y desarrollarse (Arrollo, 2002 citado por Gutiérrez, Hernández y Silvano, 2009). Las funciones de la lámina de agua son dos: evitar que la solución nutritiva esté lejos de las raíces y favorecer la aireación (Noguera, 1993).

La NFT (técnica de la película de nutriente) comprende una serie de diseños, cuyo principio básico es la continua circulación de una lámina muy delgada de solución nutritiva a través de las raíces de las plantas (Sánchez y Escalante, 1998). Además, por utilizar una delgada lámina de solución nutritiva, la estructura de la instalación puede ser más liviana comparada con otros sistemas hidropónicos, lo que permite reducir los costos de mantenimiento e instalación (Noguera, 1993).

La ventaja del sistema NFT (Nutrient Film Technique), que resalta en comparación con otros sistemas hidropónicos, es la alta calidad obtenida en los diferentes productos hortícolas (Izquierdo, 2003).

Debido al corto período de cultivo, la constante circulación de agua y elementos minerales permiten a la planta crecer sin estrés. Además, es posible obtener adelantamiento en la producción lo cual los sobrelleva a un mejor precio en los mercados (Izquierdo, 2003).

3.4.2.1 Nutrición de la plantas

Según Resh (1997), Las plantas como los animales y seres humanos requieren alimento para su desarrollo y crecimiento, estos alimentos están compuestos por ciertos elementos químicos a menudo requeridos como elementos alimenticios o nutricionales de la planta.

Para la preparación de la solución nutritiva se recomienda utilizar productos que presentan una alta solubilidad, una mayor pureza y que introduzcan una menor cantidad de elementos que pueden ser tóxicos para las plantas (Maldonado, 1994).

Por su parte Resh (1978), indica que de los 116 elementos naturales que se conocen, solamente 16 son esenciales para el crecimiento de las plantas en diferentes proporciones. Los 16 elementos considerados como esenciales para el desarrollo y crecimiento de las hortalizas, se dividen en macronutrientes, requeridos en grandes cantidades y los micronutrientes, requeridos en menor cantidad.

Cuadro 4. *Macronutrientes y micronutrientes*

Macronutrientes	Micronutrientes
Nitrógeno (N)	Hierro(Fe)
Potasio (K)	Cloro (Cl)
Azufre (S)	Manganeso (Mn)
Fosforo (P)	Boro (B)
Calcio (Ca)	Cobre (Cu)
Magnesio (Mg)	Zinc (Zn)
Carbono (C)	Molibdeno (Mo)
Hidrogeno (H)	
Oxigeno (O)	

Fuente: (Izquierdo, 2003)

3.4.2.2. Funciones de los elementos nutritivos en las plantas

Los 16 elementos químicos considerados necesarios para el crecimiento saludable de las plantas, 13 son nutrimentos minerales. Ellos en condiciones naturales de cultivo (suelo), entran a la planta a través de la raíces. El déficit de solo uno de ellos limita o puede disminuir los rendimientos y, por lo tanto, las utilidades para el cultivador.

De acuerdo con las cantidades que las plantas consumen de cada uno de ellos (no todos son consumidos en igual cantidad los 13 nutrientes extraídos normalmente del suelo son clasificados en tres grupos según (Huterwal, 1991).

Cuadro 5. Funciones de los elementos nutritivos en las plantas

Elemento	Absorbido en la forma	Funciones
Nitrógeno	NO ₃ y NH ₄	Da el color verde intenso a las plantas. Fomenta el rápido crecimiento. Aumenta la producción de hojas. Mejora la calidad de las hortalizas.
Fosforo	P ₂ O ₅	Estimula la rápida formación y crecimiento de las raíces. Acelera la maduración y estimula la coloración de los frutos. Ayuda a la formación de semillas.
Potasio	K ₂ O	Otorga a las plantas gran vigor y resistencia contra las enfermedades y bajas temperaturas. Ayuda a la producción de proteína de las plantas. Aumenta el tamaño de las semillas. Mejora la calidad de los frutos. Ayuda al desarrollo de los tubérculos.
Calcio	Ca O	Activa la temprana formación y el crecimiento de las raicillas.
Magnesio	Mg O	Es componente esencial de la clorofila. Es necesario para la formación de los azúcares. Ayuda a regular la asimilación de otros nutrientes. Actúa como transportador del fosforo dentro de las plantas.
Cobre	Cu	El 70% se concentra en la clorofila y su función más importante se aprecia en la asimilación.
Boro	B	Aumenta el rendimiento o mejora la calidad de las frutas, verduras y forrajes, está relacionado con la asimilación del calcio y con la transferencia del azúcar dentro de las plantas.

Hierro	Fe	No forma parte de la clorofila, pero está ligado con su biosíntesis.
Magnesio	Mg	Acelera la germinación y la maduración. Aumenta el aprovechamiento del calcio, magnesio y el fósforo. Cataliza en la síntesis de la clorofila y ejerce funciones en la fotosíntesis.
Molibdeno	Mo	Es esencial en la fijación del nitrógeno que hacen las legumbres.

Fuente: Huterwal (1991).

3.4.2.3. Soluciones utilizadas en hidroponía

No existe una solución teórica ideal para un cultivo en particular ya que la concentración óptima de elementos nutritivos para una especie vegetal en particular, depende de la parte de la planta que se va cosechar, la estación del año, el clima, la calidad del agua y el estado de desarrollo de la planta (Bautista, 2000). En el cuadro siguiente se puede observar las siguientes soluciones recomendadas por diferentes tipos de autores.

Cuadro 6. Soluciones y sus concentraciones

Autores	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Bo	Zn	Cu	Mo
Furiani, (1998)	198	39	183	142	38	52	2	0.4	0.3	0.06	0.02	0.06
La Molina, (2001)	154	36	260	150	45	70	1	0.5	0.5	0.15	0.15	0.01
Morgan, (1999)	141	25	96		151	25	33	2.25	1	0.45	0.06	0.05
Resh, (2001)	190	50	210	200	40	113	5	0.5	0.5	0.1	0.1	0.05

Fuente: Rodríguez, Hoyos, y Chang, (2002).

La solución debe circular entre 1 a 2 L/min y no debe permanecer por más de tres a cuatro semanas en el sistema (Orellana, 2002). La práctica de desechar la solución vieja no es conveniente, pues resulta antieconómica. Podría utilizarse, previo análisis químico, en los cultivos convencionales (Hidroponía, 2016).

3.4.2.4. Solución nutritiva

Rodríguez et al, (2002) indica que, “la solución nutritiva se puede preparar a través de soluciones concentradas, una solución concentrada contiene varios nutrientes en altas concentraciones y no pueden ser suministrados directamente a las plantas. Se toman pequeños volúmenes de la solución concentrada para preparar la solución nutritiva”.

Mientras ciertos investigadores indican que no existe una solución ideal para para un cultivo en particular en particular y que las concentraciones de nutrientes a suministrar a los mismos depende directamente de la etapa de desarrollo en que se encuentre la parte de la planta a cosechar, la calidad de agua, o de las condiciones climáticas en determinadas etapas; existe otra corriente con autores que han elaborado soluciones propias (direccionadas a cultivos específicos y otras especialmente hacia las diferentes técnicas hidropónica). Es posible encontrar soluciones nutritivas ya preparadas, con diferentes niveles de sales minerales (Guzmán, 2004).

Gilda (2005), menciona que a través de las disoluciones de fertilizantes, altamente solubles en agua, se producen elementos minerales esenciales para el cultivo en cualquier etapa de su desarrollo.

Para Alpi *et al.* (2011), citado por Lacarra y Garcia (2011), la solución nutritiva debe tener seis macronutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. Estos pueden ser aportados por medio de tres sales inorgánicas: nitrato cálcico, fosfato potásico y sulfato magnésico.

También es necesaria la presencia de siete macronutrientes: hierro, cobre, zinc, manganeso, boro, molibdeno y cloro. El mismo autor indica que la cantidad de nutrientes que se requieren las plantas depende de la especie, variedad, etapa fenológica y condiciones ambientales.

3.4.2.4.1 Soluciones nutritivas utilizadas en hidroponía

No existe una solución teórica ideal para un cultivo en particular, ya que la concentración óptima de elementos nutritivos para una especie vegetal en particular, depende de la parte de la planta que se va a cosechar, la estación del año, el clima, la calidad de agua y el estado de desarrollo de la planta (Bautista, 2000).

3.4.2.4.2 pH de la solución nutritiva

El pH de una solución nutritiva marca el carácter ácido o básico, e influye sobre la solubilidad de los iones. El pH actúa manteniendo los iones solubles para la planta y por tanto, mejorando la nutrición.

Valores extremos pueden provocar la precipitación de los iones. Con un pH superior a 7,5 puede verse afectada la absorción de fósforo, de hierro y de manganeso; la corrección del pH puede evitar los estados carenciales por lo cual es necesario hacer una lectura diaria (Baixauli y Aguilar, 2002).

3.4.2.4.2.1 Efecto de pH en cultivos nutritivos

Según Guzmán (2004), el rango conveniente de pH que permite a las plantas una absorción adecuada, de los elementos nutritivos, sin riesgo de carencias de ninguno de ellos es de 6,5 unidades.

Baixauli y Aguilar (2002), mencionan que el pH de una solución nutritiva marca el carácter ácido o básico, e influye sobre la solubilidad de los iones, que la mayor parte de las plantas trabajan bien en soluciones nutritivas con pH comprendido entre 5 y 7, en los cultivos hidropónicos generalmente se trabaja con pH de 5,5 a 5,8 puesto que en dicho rango de pH se encuentran mejor disueltos los iones, especialmente el fósforo y los micro elementos.

En un sistema re-circulante el pH tiende a elevarse ($\text{pH} > 7,0$) y tiene que ser ajustado a 6,5 añadiendo una solución ácida (ácido nítrico, fosfórico o sulfúrico) a la solución nutritiva. Esto permite que se mantenga el pH dentro de un rango adecuado por mayor tiempo, (por esto es necesario conocer rangos de pH adecuados para los cultivos sin necesidad de ajustar diariamente el pH) (Rodríguez et al., 2001).

En el cuadro 7, se muestra los valores recomendados de conductividad eléctrica y pH de soluciones nutritivas para algunos cultivos.

Cuadro 7. Valores recomendados de Ce y pH de soluciones nutritivas para algunos cultivos

Cultivo	CE (dS/cm)	pH
Albahaca	1,8 – 2,2	5,5 – 6,5
Apio	2,5 – 3,0	6,0 – 6,5
Brócoli	3,0 – 3,5	6,0 – 6,8
Cebolla	1,4 – 1,8	6,0 – 7,0
Col	2,5 – 3,0	6,5 – 7,0

Coliflor	1,5 – 2,0	6,5 – 7,0
Espinaca	1,4 – 1,8	6,0 – 7,0
Fresa	1,4 – 2,0	6,0 – 6,5
Lechuga	0,8 – 1,6	5,0 – 6,5
Melón	2,0 – 2,5	5,5 – 6,0
Papa	2,0 – 2,5	5,0 – 6,0
Pepinillo	1,0 – 2,5	5,5 – 6,0
Sandia	1,7 – 2,5	5,8 – 6,2
Tomate	2,0 – 5,0	5,5 – 6,5
Zanahoria	1,6 – 2,0	5,8 – 6,3

Fuente: Rodríguez, Hoyos y Chang, (2001)

3.4.2.4.3 Conductividad Eléctrica (CE)

Según Álvarez (1999), citado por Murillo (2010), la conductividad eléctrica se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica. El agua pura, prácticamente no conduce la corriente, sin embargo el agua con sales disueltas conduce corriente eléctrica.

Por otra parte Fernández (2014), afirma que la conductividad eléctrica es una forma de medir las sales disueltas en la solución, pero esto no quiere decir que es la sumatoria de las cargas de cada compuesto inicialmente utilizado.

3.4.2.4.3.1 Conductividad eléctrica de la solución nutritiva

La conductividad eléctrica (CE) mide la concentración de sales disueltas en el agua y el valor se expresa en dS/cm, este valor multiplicado por un factor de corrección 0,7 o 0,9 en función de la calidad del agua, nos permite conocer de forma aproximada la cantidad de sales disueltas en g/L. La Conductividad eléctrica expresa la capacidad para conducir la corriente eléctrica (Baixauli y Aguilar, 2002).

3.4.2.4.3.2 Efecto de la CE en cultivos hidropónicos

En los sistemas hidropónicos el manejo de la solución nutritiva es crucial para la obtención, tanto de altos rendimientos, así como de calidad, pues es la vía a través de la cual se proporcionan los nutrimentos necesarios para el desarrollo de la planta (Carrasco et al., 2007). En estas soluciones la conductividad eléctrica (CE) tiene una

estrecha relación con la concentración total de sales de la solución nutritiva (Lara, 1999), es un estimador indirecto del potencial osmótico, y determina el crecimiento, rendimiento y calidad de los cultivos (Bugarín et al., 1998).

3.4.2.4.3.3 Conductividad eléctrica por cultivo

Luego del agregado de sales, al formular la solución, la conductividad dependerá del cultivo y el estado de crecimiento, por ejemplo la lechuga tiene márgenes bajos para su desarrollo (entre 2-2,5), el tomate tolera valores más altos. Al tener valores más altos de sales disueltas en la solución, la absorción de nutrientes por la planta se ve limitada, repercutiendo en el normal desarrollo del cultivo (Gilsanz, 2007). En el cuadro 8, se detalla la conductividad eléctrica y la tolerancia a la salinidad para cada cultivo, estos datos deben considerarse al momento de preparar la solución nutritiva.

Cuadro 8. Conductividad eléctrica por cultivo

Cultivo	CE (dS/cm)	Tolerancia a la salinidad
Beterraga	2,7	Tolerante
Brocoli	1,9	Moderadamente sensible
Tomate	1,7	Moderadamente sensible
Lechuga	0,9	Moderadamente sensible
Cebolla	0,8	Sensible
Zanahoria	0,7	Sensible
Poroto	0,7	Sensible
Apio	1,2	Moderadamente sensible
Espinaca	1,3	Moderadamente sensible
Zapallo italiano	3,1	Tolerante
Maíz	1,1	Moderadamente sensible
Arroz	2,0	Moderadamente sensible

Fuente: Centro de investigación de hidroponía y nutrición mineral (2010)

3.4.2.4.4 Vida útil 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 el nivel de agua (Urey, 2007). En el cuadro 9, se muestra las cantidades de ácidos y bases para ajustar el p

Cuadro 9. Cantidades de ácidos y bases para ajustar el pH

Compuestos	Pesos molecular(g/mol)	Cantidad / litro	C (N)
KOH	56,09	56,09g	1
HCl (37%)	36,47	82,83 mL	1
H ₃ PO ₄ (85%)	98,00	22,70 mL	1
HNO ₃ (65%)	63,00	69,23 mL	1
H ₂ SO ₄ (85%)	98,00	31,36 mL	1

Fuente: Rodríguez, Hoyos y Chang (2002)

3.4.2.5 Riego y drenaje

Rivasplata (2012), señala que el objetivo central del riego como componente de los sistemas hidropónicos es poner la solución nutritiva a disponibilidad de las raíces de las plantas y satisfacer las necesidades hídricas y de nutrimentos de los cultivos, en el momento adecuado y con la cantidad necesaria.

Independientemente del criterio que se tenga para realizar el riego, en los sistemas hidropónicos con sustrato, es primordial hacer mediciones de volumen, pH y conductividad eléctrica del agua de riego y drenaje, ya que finalmente son los mejores indicadores de que tan bien o mal se está regando y así poder hacer ajustes en los riegos.

3.4.2.6 Condiciones climáticas

Rivasplata (2012), indica que las características climáticas de una zona deben analizarse con relación a las necesidades de las plantas a cultivar, principalmente las siguientes:

- **Luz**, de ella depende la mayoría de los procesos biológicos, incluyendo la fotosíntesis. Interviene en los procesos de movimiento y formación de las plantas en los tropismos, la orientación, el alargamiento del tallo, la formación de pigmentos y la clorofila.
- **Temperatura**, la temperatura interviene directamente en las funciones de la fotosíntesis, respiración, permeabilidad de la membrana celular, absorción de agua y

nutrientes, transpiración, etc. La temperatura óptima varía según las especies, pero el promedio está comprendido entre 10 y 25 °C.

- **Humedad relativa**, Es la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene aire y la que tendría si estuviera completamente saturada. La humedad ambiental afecta el metabolismo de la planta, ya que si la humedad es demasiado alta el intercambio gaseoso queda limitado y se reduce la transpiración, por consiguiente la absorción de nutrientes; y si es demasiado baja se cierran los estomas de la planta y se reduce la tasa de fotosíntesis. Una humedad relativa alta también tiene influencia sobre la presencia de enfermedades fungosas.

3.4.3 Sistema de producción hidropónica

Básicamente los sistemas de producción de cultivo hidropónicos se pueden clasificar en dos grandes grupos según el tipo de sustrato que utilizan como sigue:

- Sistema hidropónico líquido
- Sistema hidropónico con sustrato sólido

Cada uno de estos dos tipos de sistemas hidropónicos cuenta con una serie de variantes, que dependen básicamente de la forma en que se dispone el sustrato y el recipiente utilizado para ello. Por ejemplo en los sistemas hidropónicos con sustrato líquido se encuentran: el sistema de raíz flotante y el sistema re-circulante o NFT. Para los sistemas hidropónicos que emplean sustratos sólidos se cuenta con el sistema de canales, sistema de cajuela y el sistema de mangas colgantes (Patlax, 2013).

3.4.3.1 Sistema hidropónico con sustrato líquido

Son los sistemas realizados siempre en una disolución nutritiva, sin ningún tipo de anclaje sólido en el cual se desarrolla y vive el aparato radical. De todos los sistemas de cultivo sin suelo es el que más se ajusta al término hidropónico, al menos por su propia etimología (Urrestarazu, 2004).

3.4.3.2 Sistema hidropónico de raíz flotante

Es conocido como el auténtico sistema hidropónico, fue uno de los primeros sistemas evaluados a nivel experimental y comercial que maximiza la utilización del área de cultivo (Barrios, 2004) citado por Landa y Coxca (2010).

En este sistema no se utiliza sustrato sólido; las raíces están sumergidas directamente en la solución nutritiva. Se utiliza láminas de estereofón, a las que se les perfora agujeros, en donde se asienta la planta y luego se pone a flotar sobre la solución nutritiva, la cual debe ser aerada periódicamente para brindarle oxígeno a las raíces (Guzman, 2004).

En este tipo hidropónico, las plantas están soportadas en una plancha de duroport perforado para permitir el paso de las raíces hacia el medio líquido (solución nutritiva) (DCT y AIT, 2000).

Este sistema ha sido probado en diferentes en diferentes lugares, con fines comerciales y su funcionamiento básico sigue vigente hasta la actualidad.

A nivel comercial se realizaron una serie de mejoras fundamentales relacionadas principales al factor limitante que es la oxigenación (Chang, M. *et al*, 2000).}

3.4.3.3 Técnica del cultivo con flujo laminar de nutrientes (NFT)

Esta técnica de cultivo en agua consistente en el crecimiento de las plantas, teniendo su sistema radicular dentro de la lámina de plástico, a través de la cual circula continuamente la solución de nutrientes.

La profundidad del flujo líquido que pasa a través de las raíces de la planta debe de ser muy pequeño (laminar), esta forma siempre pueda disponer del oxígeno necesario (Resh, 1997).

3.4.3.4 Sistemas hidropónicos con sustrato sólido

Son aquellos que utilizan como medio de soporte para la planta, material sólido que presenta cierto grado de porosidad, tamaño apropiado sin bordes cortantes y que sea químicamente inerte para poder llevar a cabo una eficiente interacción de la solución

nutritiva en la raíz de la planta, mediante un sistema de riego manual o por goteo (Resh, 1997).

Como sustrato pueden utilizarse material de origen inorgánico o mineral: la piedra volcánica, grava arena y piedra pómez, como también materiales de origen orgánico, tales como: fibra de coco, carbón vegetal, cascarilla de arroz y cubierta de nuez de macadamia. Incluso se han utilizado materiales artificiales como el poliestireno expandido (Guzmán, 2004).

3.5 Sistemas de riego en hidroponía

Sistemas hidropónicos son versátiles, debido a lo práctico que resulta al ofrecer formas eficientes para el manejo del agua y fertilizantes. Los sistemas que pueden implementarse son: riego manual, aspersión basal, sub-irrigación y riego por goteo o localizado. El riego por goteo o localizado constituye un sistema de aplicación de agua al suelo o sustrato a través de unos emisores situados en las tuberías de riego. Mediante estos dispositivos se pone el agua a disposición de la planta, a bajo caudal y de forma frecuente, originando en el sustrato una zona húmeda en el cual se mantiene la humedad constante. En este sistema de riego, además se suministran los fertilizantes y ciertos productos, como insecticidas, fungicidas, herbicidas, disueltos en el agua. Esta junto a la solución nutritiva, es trasladada desde un embalse a cada planta por una red de tuberías, previo filtrado, hasta el elemento fundamental del sistema que es el emisor, donde se produce una descarga gota a gota (Barbado, 2005).

3.6 Manejo del cultivo

3.6.1 Siembra

Murillo (2010) recomienda que para la siembra de este cultivo se deben seguir los siguientes pasos:

1ro. A la espuma sintética de dos centímetros de espesor se debe realizar huecos de aproximadamente dos milímetros de profundidad, para depositar la semilla.

2do. Posteriormente la espuma sintética se los lava con vinagre para elevar los elementos tóxicos retenidos por la fabricación de la espuma, y seguidamente se las enjuaga con abundante agua para eliminar el exceso de acidez.

3ro. Sembrar las semillas en los huecos, regar la espuma con agua y cubrir con plástico negro para mantener la humedad; continuar con el microambiente hasta que germinen las semillas en unos tres días.

3.7 Plagas y Enfermedades en los cultivos hidropónicos

Sandoval (2004) señala, el producir plantas en cultivo hidropónico puede reducir la incidencia de un gran número de enfermedades que se encuentran asociadas al suelo. De esta forma, es utilizar esta modalidad de producción puede constituir una alternativa de control de estas patologías. Sin embargo, es importante asegurar que el agua de riego o el sustrato empleado no se encuentren contaminados, ya que en el caso contrario, la gravedad e incidencia de la enfermedad puede ser mucho mayor que lo que ocurría en un cultivo tradicional en el suelo.

Sandoval (2004) indica también que las condiciones de alta humedad existen en este tipo de producciones (más aún si ella se realiza dentro de un invernadero) pueden ser propicias para la infección, desarrollo y diseminación de muchos organismos fito patógenos como hongos, bacterias y virus.

4. LOCALIZACIÓN

4.1 Ubicación geográfica

El trabajo de investigación se desarrolló en el Centro Experimental de la Facultad de Agronomía dependiente de la Universidad Mayor de San Andrés, en el departamento de La Paz-Bolivia, durante el periodo de invierno – primavera 2019, a 16°32'04" de latitud sur, 68°03'44" de longitud oeste del Meridiano de Greenwich y 3445 msnm (IGM, 2010).

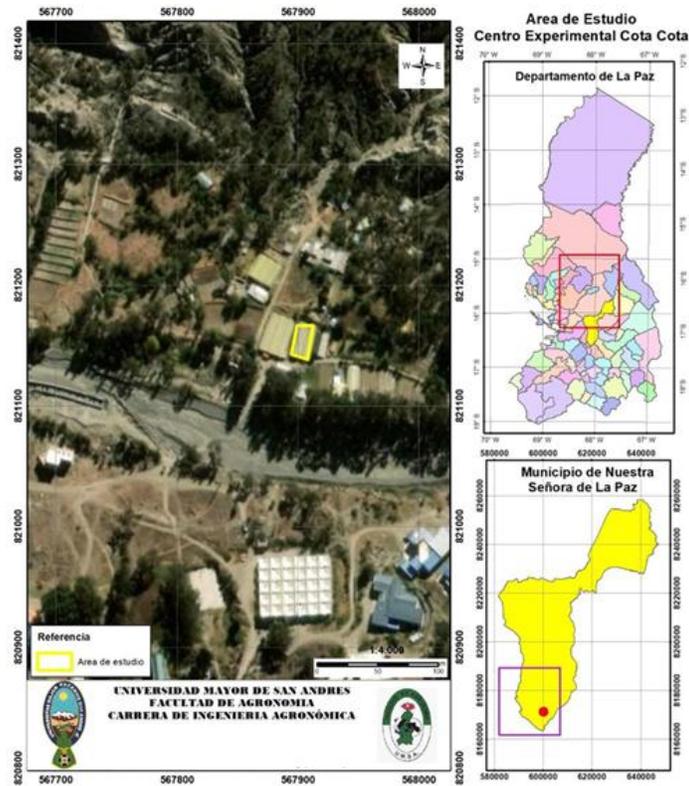


Figura 2. Ubicación geográfica del trabajo de investigación

Las condiciones climáticas son de cabecera de valle con veranos calurosos y temperatura promedio de 21 °C, en la época invernal la temperatura puede bajar hasta 2 °C e incluso llegar hasta los 1 °C, en los meses de agosto y noviembre se presentan vientos fuertes con dirección este, la temperatura media es de 13,5 °C, con una precipitación pluvial de 400 mm, las heladas se manifiestan en 15 días de los años con temperaturas por debajo de 0 °C, la humedad relativa media es 46% (SENAMHI, 2014).

4.2 Suelo

La comunidad presenta en las zonas de colina suelos muy superficiales, limitados por el contacto lítico, con muy poco desarrollo genético. Es de textura francoarenosa. Presenta grava, grava pequeña y regular materia orgánica. Los suelos de la planicie son más profundos (0,20 m – 0,40 m) aptos para la agricultura intensiva. Existe menor

proporción de terrazas naturales formadas a niveles anteriores a la planicie; y generalmente son destinadas a la explotación agrícola.

4.3 Fisiografía y vegetación

Está comprendida por árboles como eucaliptos (*Eucalyptus globulus*), pinos (*Pinus radiata*) y ciprés (*Cupressus sp*). Arbustos: acacia (*Acacia sp*), retama (*Retama sphaerocarpa*) y chilca (*Baccharis salicifolia*) entre otros. El centro experimental se dedica a la producción agrícola, pecuaria (ganado menor) y apícola.

La producción agrícola se realiza a campo abierto mediante la rotación de cultivos y comprende: maíz, papa, haba, arveja, cebolla, betarraga entre otros. En ambiente protegido (carpas solares) la producción es hortofrutícola: frutilla, pepinillo, tomate, lechuga y otros de acuerdo a los trabajos de investigación que se desarrollen. La producción pecuaria comprende la crianza y manejo de aves (gallinas ponedoras, pollos de engorde), cuyes y conejos.

4.4 Características del invernadero

En el invernadero donde se realizó el trabajo de investigación, se registró: temperatura promedio de 25°C, temperatura mínima 6°C y una temperatura máxima de 42 °C

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Materiales

5.1.1 Material vegetal

El material vegetal que se utilizó en la investigación fue dos variedades comerciales de berro

- Berro de agua (*Nasturtium officinale*), es una planta categorizada como semi-acuática, ya que en algunas ocasiones sus tallos y hojas se encuentran sobre los cursos de agua superficial.
- Berro de jardín (*Lepidium sativum*), presenta tallos erectos cercanos a los 0,6 m de longitud, de sabor picante similar a la mostaza.

5.1.2 Material de escritorio

- Calculadora
- Lápices y bolígrafo
- Laptop
- Planilla de control
- Cámara fotográfica
- Libros y tesis de grado

5.1.3 Material inorgánico

Los fertilizantes inorgánicos empleado para la formulación nutritiva se detalla continuación:

- Nitrato de potasio (25 kg)
- Triple 16 (50 kg)
- Micronutrientes (1 kg)
- Sulfato de magnesio 25 kg
- Nitrato de calcio (25 kg)
- Quelatos de hierro

5.1.4 Material de campo

5.1.4.1 Material para almacigo

Los materiales que se usaron para la construcción del almacigo se muestran a continuación:

- 1 m x 0.5 m y 4 cm de espesor de plastoformo (poliuretano)
- 2 m nylon negro
- Mesa de trabajo
- Cautín
- Flexómetro
- Escuadra

5.1.4.2 Material de piscina

El material utilizado para implementar un área de piscina (raíz flotante) se detalla a continuación:

- Nylon negro de 70 micrones
- Clavos
- Plasto formo 4 cm grosor
- Cinta de scotch
- Martillo
- Mesa de trabajo

Entre el material químico que se utilizó para la producción de berro hidropónico fue Nitrato de calcio, Nitrato de amonio, sulfato de Magnesio, Nitrato de Potasio y el Triple 16.

5.1.4.3 Material para el riego

- 18 pza. Tubos PVC de 3 in de diámetro
- 5 pza. Tubos PVC de 4 in de diámetro
- 14 pza. Tapas de tubos de 3 in de diámetro
- 50 m Polytubos flexible de ½ in de diámetro
- 2 pza. Codos de 4 in de diámetro
- 2 pza. Unión "T" de 4 in de diámetro
- 2 pza. Reductor de 1 in a ½ in de diámetro
- 2 pza. Codos de 1 in de diámetro
- 2 pza. Llaves de unión universal de 1 in de diámetro
- 2 pza. Tapón hembra de ½ in
- 2 pza. Tapón macho de 1 in de diámetro
- 10 m Microbitos de 6 mm de diámetro
- 10 pza. Cinta teflón
- 14 pza. Emisores
- 2 pza. Pegamento PVC
- 1 pza. Tanque de agua de 1200 L de capacidad
- 2 pza. Remache de 4 mm
- 1 pza. Electrobombas de 1 HP de potencia
- 1 pza. Chupador de 1 in de diámetro
- 20 pza. Banners
- 1 pza. equipo timer

5.4.4.4 Material para el pie de soporte

- Fierro angular
- fierro te
- fierro corrugado
- Escuadra
- arco para soldar
- Amoladora
- Lija
- Compresora
- Pintura
- Taladro

5.1.5 Material de laboratorio

Los materiales que se manipularon para cuantificar la variación del ambiente dentro el invernadero fueron un termómetro (de máximas y mínimas). Además se utilizó pH-metro y conductivímetro para registrar el progreso de la solución nutritiva. Otros materiales que se utilizaron fueron una balanza de precisión, pinzas y probeta de 100ml.

5.2 Metodología

Zorrilla y Torrez (1994) citado por Terrazas (2013) mencionan, la metodología es un orden, un camino. La metodología no surge como especulación aislada de la investigación de los objetos, sino que se va desarrollando conjuntamente con la investigación. De ahí que el método tenga una relación directa con la estructura del conocimiento humano; lo que proporciona el fundamento de validez a las teorías metodológicas. Las actividades se agrupan en dos etapas, la primera consistió en la instalación y acondicionamiento del sistema hidropónico y la segunda correspondió al manejo de cultivo (actividades de invernadero).

5.2.1. Sistema hidropónico

5.2.1.1. Armado del pie de soporte piramidal

Para la construcción del pie de soporte, después de tomar las medidas del ambiente controlado, se procedió a dimensionar las medidas de soporte, posteriormente se empezó a cortar los angulares y soldar, después de soldar el pie de soporte se procedió a soldar las barras de platina en las pirámides en forma de bastón invertido esto para que sostengan los canales de cultivo. Para evitar que el metal de la estructura se oxide se procedió a lijar y luego a pintar con pintura anti corrosiva, se instaló un bloque compuesto por 5 pies de soporte unidos por tres columnas formando una pirámide.

5.2.1.2 Actividades de invernadero

5.2.1.2.1 Nivelación de la pirámide para la estructura

De acuerdo a Resh (1989), en el sistema NFT la pendiente debe tener entre 1,5% a 2,5%, dependiendo al tipo de cultivo y al largo de la carpa. El tránsito o la circulación del nutriente debe ser lo más favorable para las plantas, no debe ser muy rápida pues dificultaría a las raíces la absorción de los nutrientes; no debe ser muy lenta pues se produciría encharcamientos, lo cual ocasionaría la falta de oxigenación de las raíces, facilitando la aparición de enfermedades y algas.

Después de realizar la nivelación, se dio la pendiente de 2% para un largo de canales de 6,60 m al terreno con la ayuda de estacas, reglas, flexómetro y plomada.

5.2.1.2.3 Instalación de sistema de riego

Tomando en cuenta que la distribución de riego, es un sistema cerrado, la solución nutritiva que ingresa a los canales de cultivo retorna al tanque de almacenamiento.

a) Construcción de canales de cultivos

Se cortaron con la ayuda de la amoladora los tubos PVC de 3 in en forma longitudinal, al cortarla se obtuvieron dos mitades iguales, luego las mitades cortadas se pegaron en los extremos con pegamentos PVC, hasta lograr un canal de cultivo de 6,60 m de largo.

b) Construcción de la cobertura de canal de riego

Para la cobertura de los canales de cultivo se utilizó Banners de dos colores, encima de color blanco y por dentro de color oscuro. A esta lámina perforaciones de una pulgada de diámetro con las distancias de 15 cm, 20 cm y 25 cm respectivamente.

c) Instalación del sistema de distribución

El ramal principal del sistema de distribución de nutriente se instaló con material de tubería de polietileno de alta densidad de 1 in desde la electrobomba hasta la estructura del sistema hidropónico NFT; con 2 ramales para la distribución en los canales de cultivo hecho con tubería HDPE de 1 in de 25 m de largo para cada ramal, en el ramal se dispusieron 7 emisores con sus respectivos micro tubos de distribución de caudal constante, para cada canal de cultivo.

d) Instalación del sistema de retorno

Para el sistema de retorno se utilizaron 5 tubos de 4 in unidos por dos codos y tres uniones en forma de T, de 4 in unidos por un pegamento PVC entre sí, formando así el sistema de retorno de la solución nutritiva del sistema NFT al tanque colector.

e) Excavación para el estanque del agua de 1200 l

Se instaló seguidamente el tanque de fibra de 1200 l sobre el cuál se armó una bomba de 1 HP de caudal continuo, el sistema de distribución de nutrientes y el sistema de retorno de solución no consumida al tanque recolector.

5.2.1.2.4 Limpieza del sistema NFT

Para la limpieza de los canales del cultivo se utilizó trapos limpios y con la ayuda de un detergente para una mejor limpieza, esto para evitar enfermedades en la planta después del trasplante definitivo.

5.2.1.2.5 Automatización del sistema de riego

El sistema NFT se automatizó con un equipo de timer que consta de: Un disyuntor térmico, palanca, programador o timer y dos contactares. Mediante una serie de cableados los cuatro componentes estarán conectados entre sí y funcionarán de manera sincronizada, entonces procedió a programar el tiempo de riego de la siguiente manera: 10 minutos encendido y 30 min apagado y la otra frecuencia 10 min encendido y 45 min apagado, la memoria del timer estuvo programado desde las 07:00 horas hasta las 19:00 horas.

5.2.2 Análisis de agua

Según Resch (1989), cualquier agua sirve para el consumo humano, se puede usar para cultivos hidropónicos cuidando de que éste no tenga hipoclorito de sodio que es perjudicial para el cultivo.

El análisis químico de agua se realizó en el laboratorio de Calidad Ambiental (LCA), UMSA – Facultad de ciencias puras y Naturales, Instituto de Ecología y los resultados fueron los siguientes.

Para tal fin se realizó análisis químico del agua. Ver anexo 26

5.2.3 Almacigo

Para obtener un alto porcentaje de germinación y menos pérdidas de trasplante definitivo se prepararon la técnica de almacigo flotante.

El componente necesario para la construcción del sistema de cultivo de almacigo flotante fue el siguiente: Contenedor, esponjas, semillas y plastoformo (poliestireno).

Se elaboraron las esponjas que posteriormente contendrían las semillas, para lo cual se utilizó lámina de esponja de 3 cm de grosor, elaborando pequeños cubitos de 2 cm de largo y 2 cm de ancho, posteriormente se hizo un pequeño orificio de 0,5 cm de diámetro esto para que la semilla no resbale de la esponja en el momento de riego.

Al mismo tiempo en el plasto formo se hizo perforaciones circulares de 2 cm de diámetro el cual se introdujo las esponjas posteriormente las semillas.

5.2.1.2.1 Fabricación de las bandejas flotantes

Para la fabricación se utilizó una plancha de plastoformo (poliestireno) de medidas 1m X 0.5m y espesor 4 cm la cual se procedió a dividir en dos partes iguales, posteriormente a marcar las dimensiones de 2.5 x 2.5 cm para perforarlos con ayuda del cautín.

Para la siembra se utilizaron plasto formo de 4 cm de espesor y cubos de esponjas las cuales tiene una dimensión de 2X3 cm de es

5.2.1.2.2 Desinfección de la bandejas flotante

Los materiales para la desinfección se lo hace en la esponja de poliuretano se lavó con solución acida, se utilizó vinagre en una concentración de 5% de ácido acético, para esterilizar el sustrato de impurezas de fábrica y/o del medio de conservación. Se utilizó bastante agua para eliminar el exceso de acidez.

5.2.1.2.3 Siembra y riego

La siembra de dos variedades de berro: *N. officinale* y *L. sativum*, se realizó el 12 de octubre de 2019, en las piscinas sobre el plasto formó perforado con esponja desinfectada, las semillas se situaron en el cubo de esponja: donde el bloque de plasto

formó contaba con 122 espacios. En cada punto se sembraron 2 semillas, con el fin de asegurar la emergencia, para un posterior raleo de plántulas.

Luego se apilaron 2 platabandas de cada variedad entre si envueltas en plástico negro para la emergencia ya q necesitan una temperatura y humedad y obscuridad condiciones que favorecen la emergencia de las mismas.

El riego se realizaba con ayuda de una regadera de la siguiente manera: A partir del día de siembra se regó con agua potable, durante los primeros 5 días emergió el berro de jardín (*Lepidium sativum*) de un 96% de su totalidad mientras que la otra variedad de berro de agua (*Nasturtium officinale*) le tomo 10 días de un 77% de emergencia posteriormente se les llevo a una cama con solución nutritiva para poder luego ser trasplantado al sistema piramidal re-circulante a diferentes densidades

5.2.1.2.4 Preparación de la solución nutritiva

La solución se elaboró de acuerdo al requerimiento nutricional para el cultivo de berro detallado en el cuadro 10.

Cuadro 10. Requerimiento nutricional para el cultivo de berro (ppm)

Referencia	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Bo	Zn	Cu	Mo
ppm	160	45	200	175	50	5	0,80	0,03	0,10	0,07	0,03

Fuente: Rodríguez (1996)

Después de identificar los fertilizantes a utilizar ver Anexo 4, se preparó la solución nutritiva desde la segunda semana en que las plantas estaban en bandejas flotantes, a los 17 días después de la siembra. Inicialmente se fue colocando la solución nutritiva al 50% de concentración, para posteriormente incrementar semanalmente un 15% de concentración hasta llegar al 100 %.

Para la preparación de la solución se utilizó un recipiente de 2 litros de agua disolviendo los diferentes fertilizantes comerciales individualmente para evitar reacciones de precipitación como el calcio, luego de la dilución de todas las sales, se vació a un balde de 10 litros y finalmente se incorporó los micronutrientes (Mix5), con su respectiva dosis de 6g cada 20l.

De acuerdo al tiempo de utilidad y funcionamiento se preparo

5.2.1.2.5 Control del pH

El control de pH se registró diariamente por la mañana y por la tarde, con la ayuda del pH-metro. En la figura 7 se aprecia las lecturas de pH promedio de la solución nutritiva.

Se registró el pH de la solución nutritiva después de prepararla, con un valor igual a 6.38. A medida que la solución nutritiva va circulando por el sistema nutriendo a las plantas durante el transcurrir de los días, se distingue como disminuye el pH a un valor igual a 5.45, acidificando la solución. En consecuencia los nutrientes están menos disponibles para las plantas. El descenso de pH se controló con Hidróxido de sodio al 90% de pureza, añadiendo 2 gramos para 50 litros.

Según Baixauli y Aguilar (2002) indican, el pH de la solución nutritiva marca el carácter ácido o básico, e influye solo la solubilidad de los iones, que la mayor parte de las plantas trabajan bien en solución nutritiva con pHs comprendidos entre 5 y 7. En el presente estudio el pH inicial después de reparar la solución nutritiva en el tanque fue de 6.38 resultando que se encuentra dentro de los parámetros descritos.

5.2.1.2.6 Control de la conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica se registró dos veces al día (mañana y tarde) con la ayuda de un conductivímetro.

La conductividad eléctrica de la solución al inicio de la preparación y antes de que circule por el sistema fue de 1830 dS/cm a una temperatura de 12°C, al séptimo día a conductividad tenía un valor igual a 1450 dS/cm, la diferencia indica que las plantas consumen los iones inmersos en la solución nutritiva además el valor de la CE indica que la concentración de iones se encuentra en un volumen menor.

5.2.1.2.7 Cosecha

Para la cosecha se tomó en cuenta la información obtenida sobre este cultivo, que era regirse por el tamaño que debe ser aproximadamente de 20 cm de altura y transcurridos alrededor de cinco semanas evitando siempre la floración; ya q pasada la etapa, la planta tiende a ser amarga y muy picante haciendo su consumo más difícil. En la figura 3 se observa la variedad *L. sativum* que alcanzó en menor tiempo

la etapa de madurez comercial a diferencia de la variedad *N. officinale*.



Figura 3. Cosecha por variedad

Con la ayuda de tijeras de podar se realizó la cosecha de los berros en la mañana y en la tarde con el propósito de evitar la deshidratación, luego fueron pesadas en una balanza de precisión.

5.2.1.2.8 tratamiento de post-cosecha

El tratamiento post-cosecha que se realizó una vez cosechados los berros para su posteridad venta, en descartar las hojas amarillas, seguidamente se las embolso con un peso promedio de (11.5 ± 10) g.

En el producto final, se comercializo principalmente en las afueras de cota cota.

5.3 Diseño experimental

El presente trabajo de investigación, se realizó bajo el diseño experimental completamente al azar con arreglo bi-factorial propuesto por (Ochoa, 2009), con tres repeticiones. Donde los niveles del factor “A” fueron las dos variedades de berro (Agua y Jardín) y los niveles del factor “B” las tres densidades de siembra.

5.3.1 Modelo estadístico

Para el diseño completamente al azar con arreglo Bi-factorial se ha empleado el siguiente modelo lineal para el modelo lineal aditivo:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Una observación cualquiera

μ = Media poblacional

α_i = Efecto del i-ésimo nivel del factor A (Variedad)

β_j = Efecto del j-ésimo nivel del factor B (Densidad)

$\alpha\beta_{ij}$ = Efecto de la interacción de A y B (Var y Dens)

e_{ijk} = Error experimental

5.3.2 Combinación de tratamientos

Se plantearon los factores de estudio en base a los objetivos trazados, es decir, dos variedades de berro y tres variedades de siembra. Los factores de estudio se muestran en el cuadro 11.

Cuadro 11. Factores de estudio con sus respectivos niveles

Factores	Niveles
Factor A Variedades	V1 = <i>Nasturtium officinale</i> V2 = <i>Lepidium sativum</i>
Factor B Densidad de siembra	D1 = 25 cm planta lineal = 4 plantas D2 = 20 cm planta lineal = 5 plantas D3 = 15 cm planta lineal = 6 plantas

Fuente: elaboración Propia

5.3.3 Tratamientos

El factor "A" en sus dos niveles, fueron dispuestos en lo largo de los tubos y al factor "B" en sus tres niveles, en los tubos por sección. Los tratamientos resultaron de la combinación de los factores de estudio, es decir; variedades y densidades de trasplante al sistema NFT como se presenta en el cuadro 12 (imagen del sistema)

Cuadro 12. Descripción de la combinación de los tratamientos

Tratamientos	Varietades	Densidades
T1	<i>N. officinale</i>	D1 = 25 cm
T2	<i>N. officinale</i>	D2 = 20 cm
T3	<i>N. officinale</i>	D3 = 15 cm
T4	<i>L. sativum</i>	D1 = 25 cm
T5	<i>L. sativum</i>	D2 = 20 cm
T6	<i>L. sativum</i>	D3 = 15 cm

Fuente: Elaboración propia

5.3.4 Croquis del experimento

En la figura 5 se detalla las dimensiones de la estructura hidropónica, la disposición de los tratamientos en la presente investigación.



Figura 4. Croquis del área experimental

Superficie del área experimental	16,6 m ²
Ancho del campo experimental	2,3 m
Largo del campo experimental	7,2 m
Área de la bandeja experimental	1 m ²

5.3.5 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se realizó un análisis de varianza para lo cual se utilizó, los programas: Excel, InfoStat con prueba de comparación Duncan para todas las variables agronómicas de respuesta.

5.4 Variables de respuesta

5.4.1 Fluctuaciones ambientales

a) Temperatura en ambiente controlado

Con la ayuda del termómetro de máximas y mínimas, se hizo el seguimiento de las temperaturas máximas y mínimas en ambiente controlado; además se registró las temperaturas medias. El seguimiento fue diario durante el tiempo que duró la investigación.

b) Humedad relativa en ambiente controlado

Con la ayuda de un higrómetro de máximas y mínimas se hizo el seguimiento de la Humedad relativa en ambiente controlado; se registró la humedad relativa media. El seguimiento fue diario durante el tiempo que duró la investigación.

5.4.2 Variables agronómicas

a) Porcentaje de emergencia (%)

Se hizo un seguimiento a las semillas sembradas sobre la espuma de poliuretano, a los cinco, ocho y diez días después de la siembra. Se cuantifico el total de plantas emergidas por tratamiento, para luego representarlas en porcentaje.

b) Altura de planta (cm)

Para el registro de esta variable se realizó un muestreo aleatorio donde se aceptó las plantas descartando el efecto de bordura. Se midió la parte basal desde el cuello hasta el ápice de la planta con la ayuda de una regla metálica. Este dato se registró cada siete días.

c) Número de hojas (N°)

Se realizó un conteo manual y metódico de las hojas verdaderas por planta muestra durante el tiempo que perduró el experimento. Este dato se registró cada siete días.

d) Área foliar (cm²)

Para la determinación del área foliar se tomó fotografías a las plantas muestra y mediante el programa Photoshop CC se determinó el área foliar de cada planta.

e) Días a la cosecha (fase comercial), (N°)

Se determinó la fase comercial, tomando en cuenta el número de días transcurridos desde la siembra hasta el momento en que más del 50% de las plantas de una unidad experimental llegaron al estado de cosecha del cultivo. Considerando que las plantas se encontraban en el momento óptimo de cosecha, cuando alcanzan una altura de 0,20 m de altura en promedio y carecen de yemas florales.

5.4.3 Variables de rendimiento

a) Peso fresco (g)

Se cosecho la variedad *L. sativum* y *N. officinale* a los 54 y 61 días respectivamente, en el momento de la cosecha se separaron las plantas muestras, para determinar el peso fresco total por planta y la producción por unidad experimental, el instrumento que se manipulo para medir el peso fue una balanza de precisión.

b) Rendimiento (kg/m²)

Para su evaluación se pesaron todas las plantas muestreadas de cada tratamiento después de la cosecha. La unidad utilizada fue: g/m², la cual se transformó a kg/m², considerando el total de las plantas por unidad experimental.

$$g /m^2 * 1 \text{ kilo} /1000 \text{ g} = \text{kg } m^2$$

5.4.4 Variables económicas

a) Relación beneficio/costo

Terrazas (1990) define que, la razón del beneficio/costo sirve para medir la capacidad que tiene la aplicación de un tratamiento alternativo y generar rentabilidad por cada unidad monetaria gastada.

$B/C >$ Los ingresos económicos son mayores a los gastos de producción, lo que significa que es rentable. $B/C =$ Los ingresos económicos solo cubren los costos de producción. $B/C <$ El proyecto no es rentable.

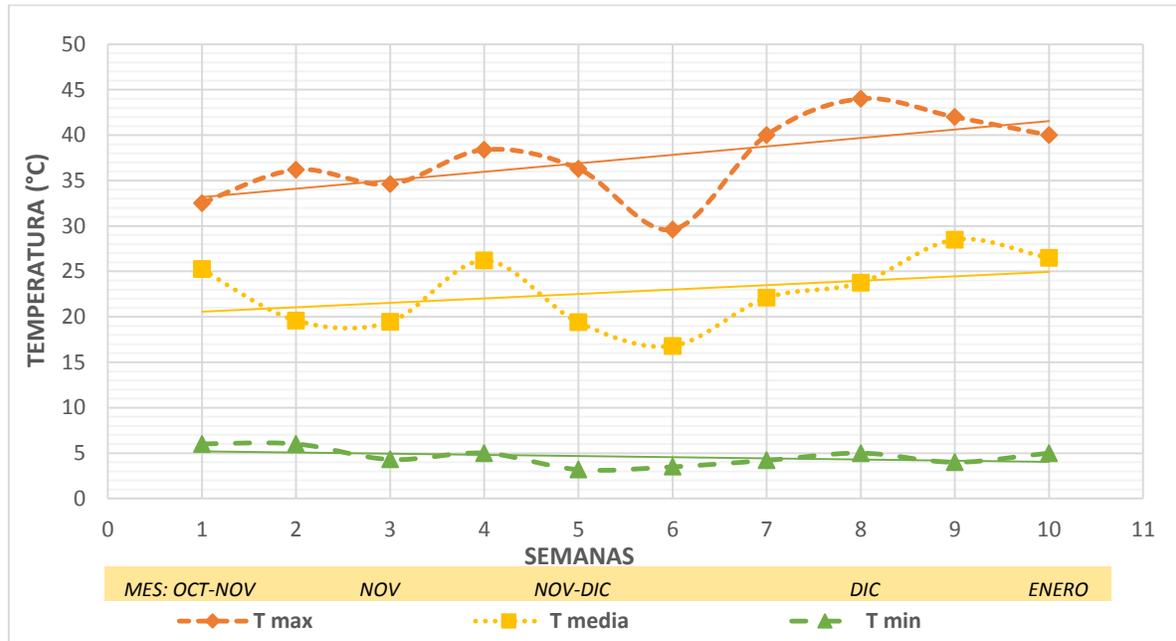
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La primera etapa, instalación y acondicionamiento del sistema hidropónico, inicio en los cinco meses de la gestión 2019 (Abril - Septiembre). La segunda etapa, evaluación agronómica del berro, inicio a partir del mes de Octubre hasta el 6 de Enero de 2020. Tiempo en el cual se obtuvieron los resultados que se presentan a continuación, de acuerdo a las variables de respuesta planteadas.

6.1 Fluctuaciones ambientales

6.1.1 Comportamiento de la temperatura durante el desarrollo del cultivo

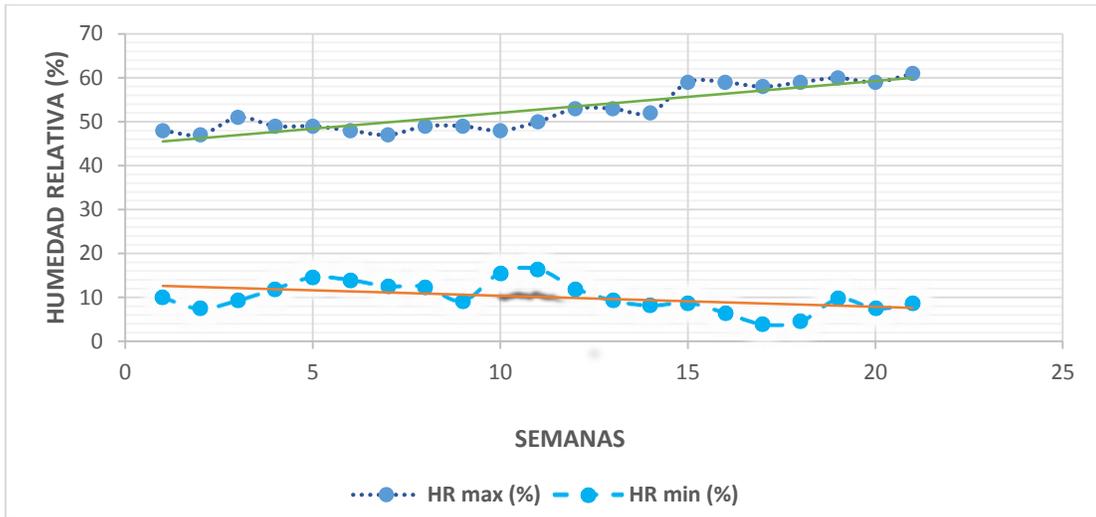
Grafica 1. Comportamiento de temperatura máxima, mínima y media en °C



Fuente: Elaboración propia

Dentro del ambiente protegido se registró una temperatura máxima promedio de 37.36°C, una mínima promedio de 4.62°C y una media promedio de 22.75°C. Valadez, (1996) menciona que, la temperatura óptima para el desarrollo es de 15°C a 18°C. Entonces se podría decir que la temperatura media de la investigación está en el rango.

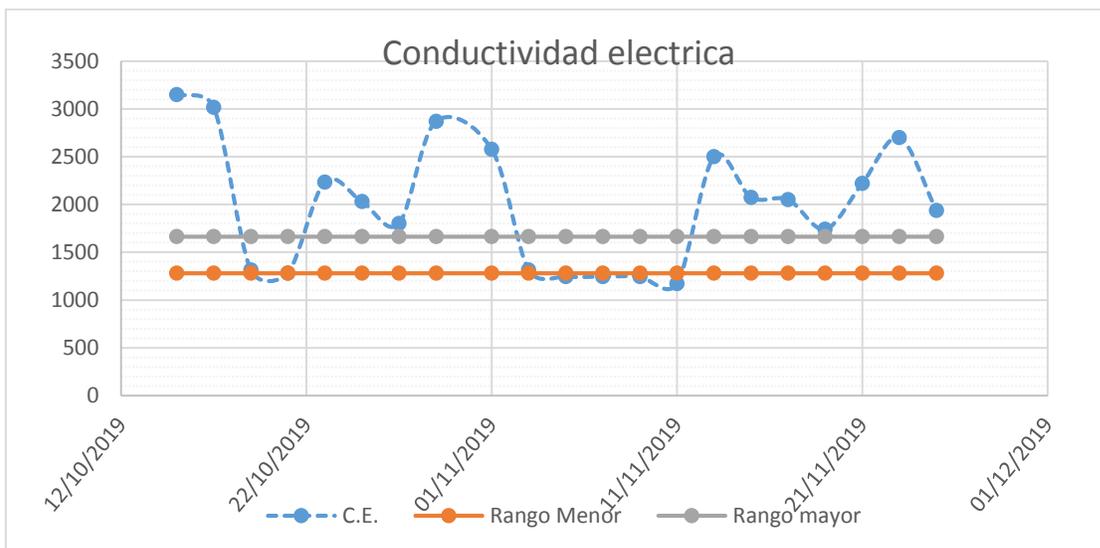
Grafica 2. Muestra el comportamiento de la amplitud térmica en °C junto con la humedad relativa



Fuente: Elaboración propia

Dentro del ambiente protegido se registró una amplitud térmica media de 10,3°C y la humedad relativa media de 52,8%. Entonces existe una relación directa entre la humedad relativa y la amplitud térmica, Pérez (2007) menciona que, a mayor amplitud térmica hay mayor humedad relativa, el aire caliente tiene mayor capacidad de retener vapor de agua.

Grafica 3. Muestra el comportamiento de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva.

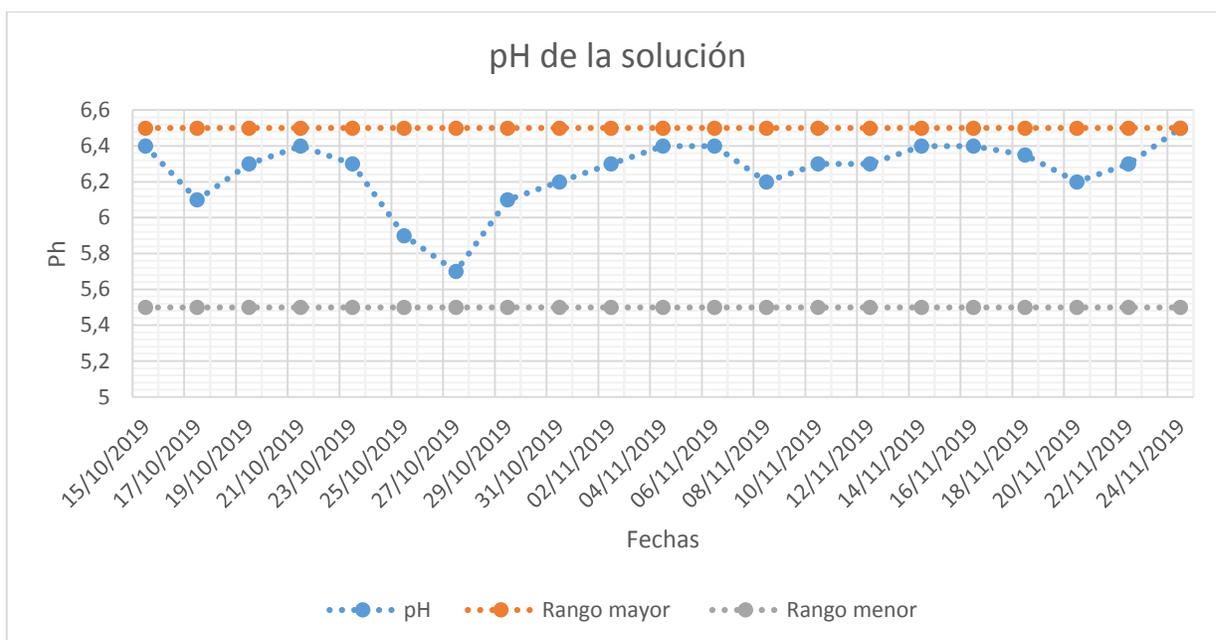


Fuente: Elaboración propia

La conductividad eléctrica de la solución nutritiva se manejó con un valor promedio de 1986,6 ppm, Gilsanz (2007) menciona trabajar con una conductividad eléctrica de 1280 a 1664 ppm (partes por millón). La concentración manejada fue elevada, el mismo autor menciona que altas concentraciones de C.E. provoca un desarrollo lento, fitotoxicidad y pudrición de la raíz.

La grafica 4. Muestra el registro del valor de pH durante el periodo productivo.

Grafica 4. Registro del pH de la solución nutritiva.



Fuente: Elaboración propia

Durante el periodo de productivo del cultivo se manejó un valor del pH promedio de 6,3, Según Fabela et al, (2006), el pH apropiado de la solución nutritiva para el desarrollo de los cultivos se encuentra entre los valores de 5,5 a 6,5 de pH.

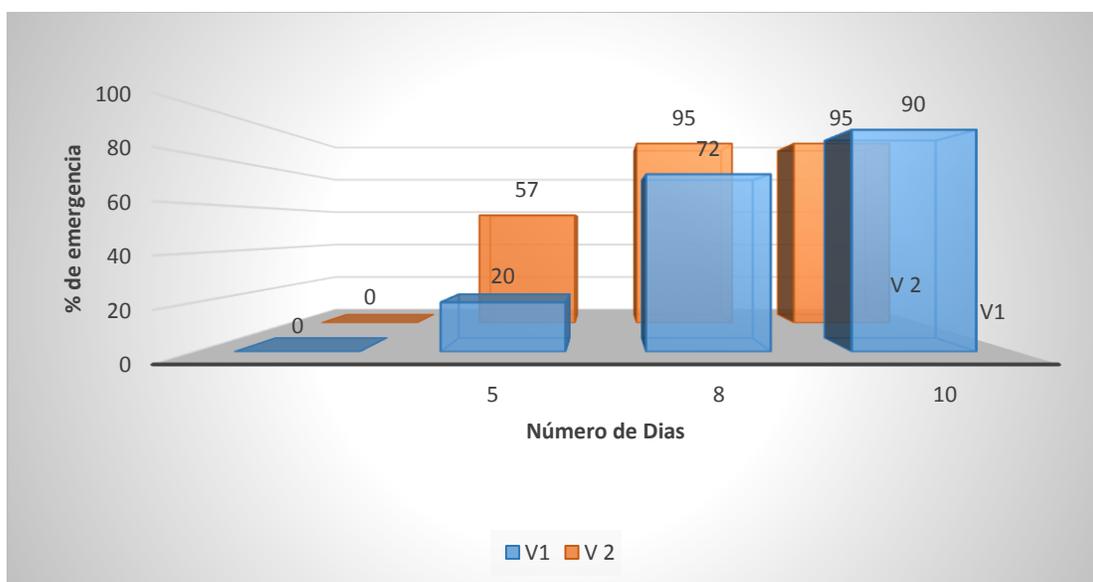
Por tanto, se podría decir que el pH de la presente investigación se encuentra en el rango, siempre tomando en cuenta que el pH de la solución no es estático, ya que depende del CO2 en el que se encuentra cubierto.

6.2 Variables de respuesta

6.2.1 Porcentaje de emergencia (%)

Los resultados de la figura 6 muestran el porcentaje de emergencia de las semillas de berro de agua (*Nasturtium officinale*) V1 y berro de jardín (*Lepidium sativum*) V2, encontrándose que V2 inicio el proceso de emergencia al quinto día con 57% y se fue incrementando para el octavo día con un 95% de emergencia. En cambio V1 inicio esta etapa a los ocho días después de la siembra con un 72% y se prolongó hasta el décimo día alcanzando un 90% de emergencia.

Figura 5. Porcentaje de emergencia de berro V1 y V2



Fuente: Elaboración propia

La diferencia de tiempo que se registró en la emergencia entre las variedades V1 y V2 se atribuye a características genéticas. Patterson et al. (1985) citado por Clavijo y Baker (1988) indican que ciertas características de las plantas se asocian con características para competir tales como semillas grandes, germinación y emergencia rápida, crecimiento rápido de tallos y raíces, hojas grandes y una etapa vegetativa corta.

Dentro de la emergencia, específicamente para cada variedad, también existió variación que se atribuye a factores internos (madurez y viabilidad de la semilla) y factores externos (humedad, temperatura y gases). Entre los factores que pudieron

influir en esta variación están los factores internos, para ambas variedades, se considera la madurez de la semilla (morfológica y fisiológica) así como como la viabilidad de las semillas.

Por otro lado, entre los factores externos, mantener la humedad constante permite a la semilla rehidratar sus tejidos y consecuentemente recuperar su metabolismo, asimismo se debe considerar la capacidad de retención de humedad que tiene el soporte o sustrato donde crecerá la semilla. Además se debe considerar que excesos de humedad dificultan la llegada de oxígeno al embrión impidiendo su germinación.

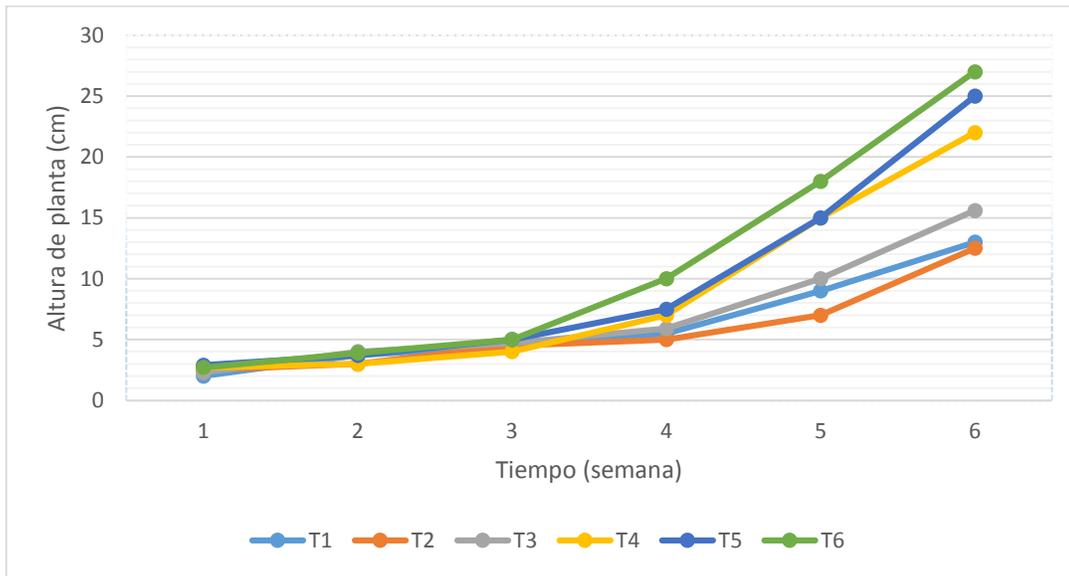
Colodro (2013), en su estudio señala que la emergencia de los plantines de berro, en la variedad de *N. officinale* fue del 45% y de la variedad de *L. sativum* fue del 50%, cada uno evaluado en cien semillas sembradas por hilera; que en comparación con el presente trabajo la variedad *L. sativum* alcanzó un valor igual a 57% de emergencia en cinco días, por lo que se puede afirmar que las condiciones ambientales a las que fueron expuestas son mejores.

Márquez (2013) indica que con un fotoperiodo de cero horas y la aplicación de agua destilada durante 10 días y temperatura de $25 \pm 3^{\circ}\text{C}$ en la variedad *N. officinale* se registró $90 \pm 3,4\%$ de germinación. En el presente estudio se observó en la variedad *N. officinale* que las semillas iniciaron la emergencia al octavo día con 72% y para el décimo día se registró 90% de emergencia.

6.2.2 Altura de planta (cm)

La altura de planta del cultivo de berro indica el momento de cosecha, el comportamiento de esta variable por efecto de los factores variedad y densidad de siembra se muestra en la figura 7.

Figura 6. Altura de las dos variedades en función al tiempo



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la gráfica, el comportamiento de la altura de planta mostró una tendencia ascendente en las primeras evaluaciones, tendencia que se incrementó exponencialmente para uno de los componentes del factor A, variedad *L. sativum* a diferencia de *N. officinale*. Igualmente, los tratamientos con diferentes densidades permitieron alcanzar alturas elevadas. Asimismo los coeficientes de determinación fueron altamente significativos, existió una relación directa entre la altura de planta y el tiempo.

Al respecto Sanchez (2009), afirma que numerosas plantas anuales exhiben curvas similares. La curva presenta el tamaño acumulado en función del tiempo. En general se pueden detectar tres fases principales: logarítmica (la tasa de crecimiento es baja al principio pero aumenta continuamente) donde el crecimiento es proporcional al tamaño del organismo, lineal (el aumento de tamaño mantiene una velocidad constante) y senescencia (caracterizada por una tasa decreciente a medida que la planta alcanza su madurez y comienza a envejecer).

Para una mejor evaluación de la variable altura de planta del cultivo de berro por efecto de los dos tipos de factores, variedades y densidades, se realizó el análisis de varianza (Cuadro 13).

Cuadro 13. Análisis de varianza para la variable altura de planta (cm)

FV	GL	SC	CM	Fc	0.05	0.01
Bloque	2	6.02	3.01	1.11	4.11	7.55 ns
Variedades	1	528.23	537.009	195.16	4.89	9.01 **
Densidades	2	31.86	15.93	5.88	4.09	7.55 *
Var* Dens	2	6.27	3.13	1.16	4.09	7.55 ns
EE	10	27.07	2.71			
Total	17	599.44				

Fuente: Elaboración propia

ns (no significativo); *(significativo); ** (altamente significativo) **CV (8.23)**

El análisis de varianza para la variable altura de planta (Cuadro 14) a un nivel de confianza de 5% de error, determinó que existieron diferencias altamente significativas entre los dos niveles del factor A (*N. officinale* y *L. sativum*), lo que indica que sembrar una u otra variedad de berro permite obtener promedios diferentes en longitud de planta; del mismo modo con el factor B (tres densidades de siembra), sembrando a distintas densidades permite obtener diferentes longitudes de planta. Para la fuente de variabilidad interacción variedad-densidad, el resultado fue no significativo, esto quiere decir que la acción conjunta de variedad y densidad, estadísticamente se obtuvo resultados similares en altura de planta.

Debido a que el análisis de varianza (cuadro 13) reportó resultados altamente significativos entre las variedades *N. officinale* y *L. sativum* al igual que lo observado en campo, se realizó la correspondiente Prueba de Duncan (cuadro 14), con el objeto de identificar estadísticamente la variedad dos (*L. sativum*) que alcanzó mayor altura en el ensayo.

Cuadro 14. Prueba Duncan al 5% para el factor A (altura de planta)

Factor A (Variedades)			
Variedad	Promedio(cm)	n	E.E.
V2 <i>L. sativum</i>	25.40	9	a
V1 <i>N. officinale</i>	14.57	9	b

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la prueba de comparación de medias, de acuerdo con Duncan al 5% (Cuadro 15), demuestra que la variedad *L. sativum* presentó mayor altura de planta con un promedio de 25.40 cm, lo que significa que esta variedad presenta un crecimiento mayor en relación a la variedad *N. officinale* que presentó menor altura con un promedio igual a 14.57 centímetros.

La diferencia estadística entre la variable altura de planta entre las dos variedades es evidente, siendo que la variedad *L. sativum* con 24,49 cm en promedio obtuvo la mayor altura en comparación con la variedad *N. officinale* quien obtuvo en promedio 12,52 cm de altura, afirmando la existencia de diferencias estadísticas en altura de planta entre las variedades estudiadas, como indica la prueba Duncan 5% (Cuadro 15). En este sentido, se puede inferir que la diferencia en altura de planta es propia de cada genotipo; respecto al fenotipo, el cuidado fue homogéneo para ambas variedades. Además se asume que la variedad *L. sativum* se adaptó mejor al medio de cultivo, por la precocidad de su desarrollo en comparación con *N. officinale*.

Asimismo, el análisis de varianza (cuadro 13) reportó resultados altamente significativos entre las densidades estudiadas (20) cm, (15) cm y () cm al igual que lo observado en campo, se realizó la correspondiente Prueba de Duncan, con el objeto de identificar estadísticamente la densidad (factor B) que alcanzó mayor altura.

Cuadro 15. Prueba Duncan, para el factor B altura de planta

Factor B (Densidad)			
Densidad	Promedio(cm)	n	E.E.
D1(15)	21.81	6	a
D2(20)	19.46	6	b
D3(25)	18.68	6	b

Fuente: *Elaboración propia*

Los resultados de la prueba de comparación de medias, de acuerdo con Duncan al 5% (Cuadro 15), indica que existen diferencias significativas entre los tres niveles del Factor B (densidades de siembra), la densidad D3 (15) cm presentó el mayor promedio igual a 20,94 cm de altura, en relación a D1 (25) cm que estadísticamente presentó valores inferiores con 17,68 cm de altura.

Para esta variable se deduce que la diferencia en altura de planta entre las densidades en estudio, son principalmente a la capacidad competitiva por el espacio, incidencia de luz, aspecto que afecta finalmente en una mayor eficiencia fotosintética y consecuentemente mayor crecimiento de las plantas.

Ruiz (1993), establece en relación a una alta población, significa efectos competitivos entre plantas, nutrientes y espacio físico, concluyendo que esta competencia se refleja en el tamaño de plantas. En el presente trabajo se evidencia lo mencionado por este autor, ya que en las tres densidades de siembra evaluadas se mostraron diferencias estadísticas según la prueba Duncan.

Los resultados hallados en esta investigación concuerdan con Tetio y Gardner (1988) citados por Cervantes et al. (2014), quienes indican que la densidad de población ejerce una fuerte influencia en el crecimiento y el incremento de la densidad de población, generalmente resulta en plantas de mayor porte. Según rincón et al. (2007), el crecimiento y la capacidad productiva de un cultivo es el resultado de un genotipo, del ambiente que lo rodea y de su interacción.

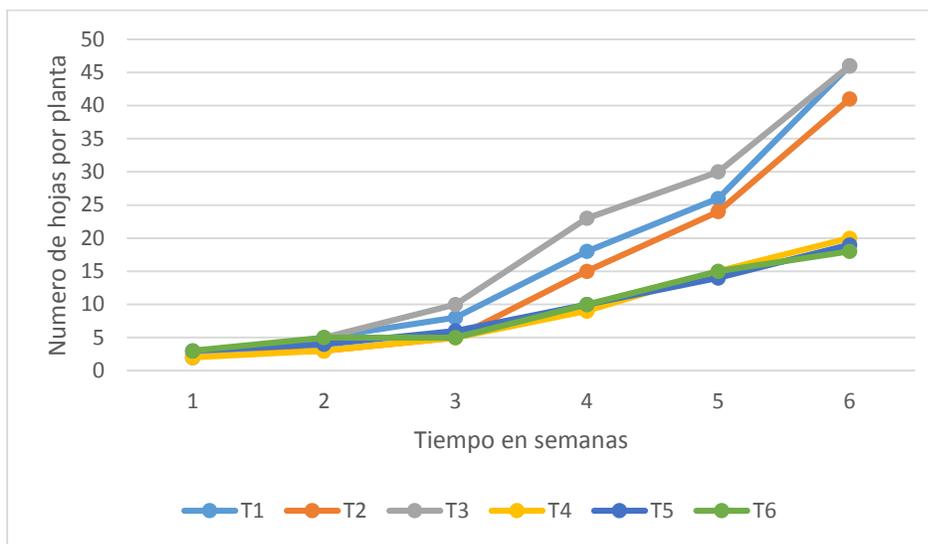
El genotipo es relativamente constante si se lo compara con la variabilidad del ambiente; sin embargo, la expresión fenotípica es ampliamente influenciada por los cambios ambientales y cualquier variable que produzca efectos sobre el medio va a verse reflejada en el crecimiento y productividad del cultivo.

Finalmente, un estudio realizado en Inglaterra recientemente sugiere que en plantas el fitocromo ejerce una función importante al detectar la sombra de otras plantas. La vegetación absorbe o refleja casi completamente la radiación que está por debajo mientras que la radiación que está por encima (que comprende el rojo lejano) se transmite mayoritariamente. En las plantas sombreadas esto provoca un claro cambio al elevar la proporción de Pr18 respecto a Pfr19 (esto es hay más Pfr que se convierte en Pr) y como consecuencia provoca un rápido incremento de la tasa de elongación internodal (Biología y Botánica, 2003).

6.2.3 Número de hojas (N°)

El incremento semanal del número de hojas en el cultivo de berro por efecto de dos factores (variedades y densidades), se observa en la figura 8.

Figura 7. Numero de hojas con respecto al tiempo



Fuente: Elaboración propia

El comportamiento del número de hojas mostró en ambas variedades una tendencia ascendente; sin embargo, los tratamientos evaluados T1, T2 y T3 presentaron mejores resultados en la sexta evaluación a diferencia de los tratamientos T4, T5 y T6 cuya tendencia fue menor. Igualmente, los tratamientos con menor tendencia permitieron obtener menor cantidad de hojas. La diferencia que se distingue en la figura 8, se atribuye a la variedad *N. officinale* que desarrolla mayor cantidad de brotes axilares permitiendo una mayor cantidad de hojas por planta a diferencia de la variedad *L. sativum*.

El conteo de número de hojas en campo, numéricamente mostró diferencias, puesto que se contaron las hojas principales y las hojas de los brotes axilares (7 hojas en promedio/brote). Para una mejor evaluación del número de hojas del cultivo de berro por efecto de variedades y distintas densidades, se realizó el análisis de varianza (cuadro 16)

Cuadro 16. Análisis de varianza para el número de hojas por planta

FV	GL	SC	CM	Fc	0.05	0.01
Bloque	2	3.44	1.72	1.74	4.1	7.56 ns
Variedades	1	50.00	50.00	50.56	4.96	10.01 **
Densidades	2	70.11	35.06	35.43	4.1	7.56 **
Var*Densidad	2	2.33	1.17	1.18	4.1	7.56 ns
EE	10	9.89	0.99			
Total	17	135.78				

Fuente: *Elaboración propia*

*ns (no significativo); * (significativo); ** (altamente significativo); CV (7.16)*

A través del análisis de varianza (cuadro 16), se aprecia que para la fuente de variabilidad variedades el resultado fue altamente significativo, lo que indica que las variedades *N. officinale* y *L. sativum* rinden promedios diferentes en cantidad de hojas por planta, a simple vista se puede apreciar que *N. officinale* es la que posee mayor cantidad de hojas.

Por otra parte, para la fuente de variabilidad densidades el resultado fue de igual manera altamente significativo, lo que quiere decir que las diferentes densidades estudiadas estadísticamente obtienen el mismo promedio en número de hojas por planta. Finalmente para la fuente de variabilidad interacción variedad densidad el resultado fue no significativo, esto quiere decir que la acción conjunta de variedad con densidad estadísticamente permite obtener el mismo rendimiento.

Al observar la diferencia en el número de hojas entre las variedades y no así entre las densidades de siembra, se realizó la prueba Duncan tomando en cuenta el 5% de error, con el objeto de identificar si la variedad *N. officinale* es la que desarrolla mayor cantidad de hojas durante el ensayo en comparación con la variedad *L. sativum*.

Cuadro 17. Prueba Duncan para densidades de trasplante el número de hojas por planta

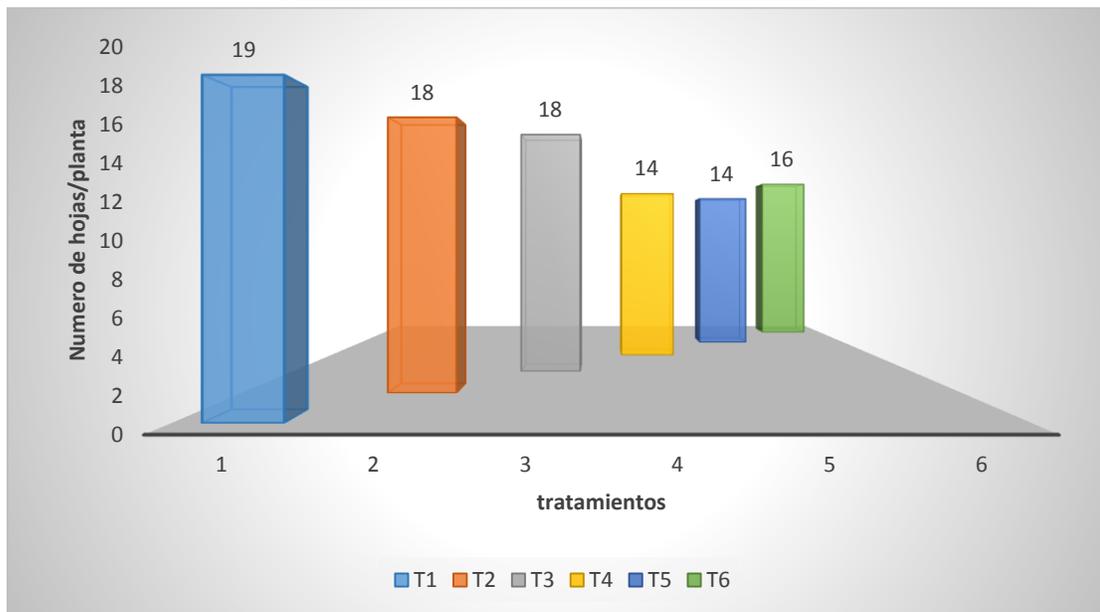
Factor A (Variedades)			
Variedad	Promedio(cm)	n	E.E.
V1 <i>N. officinale</i>	15.56	9	a
V2 <i>L. sativum</i>	12.22	9	b

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la prueba de comparación de medias, de acuerdo con Duncan 5% de significancia (Cuadro 17), indica que existen diferencias altamente significativas entre los dos niveles del factor A (entre variedades), donde la variedad *N. officinale*, presentó un promedio de 16 hojas en relación a la variedad *L. sativum*, que obtuvo en promedio 12 hojas por planta.

El comportamiento del número de hojas por planta al momento de cosecha, se puede apreciar en la figura 8, notándose la diferencia de 5 hojas entre el tratamiento T1 y T5 correspondiente a la variedad *N. officinale* y *L. sativum* respectivamente.

Figura 8. Número de hojas por planta de los 6 tratamientos



Fuente: Elaboración propia

La variedad *N. officinale* correspondiente a los tratamientos T1, T2 y T3 numéricamente obtuvo mayor cantidad de hojas con 19, 18 y 18 hojas por planta respectivamente. A diferencia de la variedad *L. sativum* correspondiente a los tratamientos T4, T6 y T5 que obtuvieron en promedio 14,14 y 16 hojas por planta en los tres tratamientos. La diferencia que existe entre los tratamientos es mínima, este comportamiento permite asumir que fue influenciado por las características genéticas de cada variedad. La diferencia entre variedades en la cantidad de hojas por planta, se atribuye a las características genéticas particulares de ambas variedades y no así a las diferentes densidades de siembra establecidas en el ensayo. Asimismo, el mayor crecimiento de dosel vegetal proporciona una mayor interceptación de luz, lo cual incrementa la fotosíntesis y producción de biomasa como resultado de un mayor aprovechamiento de los recursos hídricos y nutrimentales (Aguilar et al., 2005) citados por Criollo y García (2009).

Cuadro 18. Prueba de Duncan para densidades de trasplante en el número de hojas por planta

Factor B (Densidad)			
Densidad	Medias	n	E.E.
D1 (15 cm)	16	6	0.41 a
D2 (20 cm)	14	6	0.41 b
D3 (25 cm)	12	6	0.41 c

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 18 se muestra el factor en tres densidades de siembra, según la prueba Duncan al 5% presentaron valores estadísticamente diferentes entre sí, por las plantas con una densidad alta D1 16, D2 13 y D3 con 12 hojas.

Los resultados obtenidos para el número de hojas para densidades, muestra que los mejores resultados fueron los de la densidad 1 que es menor entre plantas de 15cm entre ellas y al explicación sería también una mayor competencia intraespecífica por nutrientes, agua y luz; por tanto menor disponibilidad de las mismas. La luz favorece

a la fotosíntesis fenómeno responsable del aumento de la masa vegetal, actuando negativamente sobre el incremento en longitud de tallos, favoreciendo en cambio el desarrollo de las hojas, ya que la falta de luz da lugar a un crecimiento desordenado de los tallos con el alargamiento de los nudos. Los resultados reflejan el establecimiento de una población de plantas adecuadas y se deduce que densidades menores como la densidad 3 no son recomendables por presentar bajo desarrollo y menor número de hojas por planta.

6.2.4 Área foliar (cm²)

Para la evaluación del área foliar del cultivo de berro por efecto de los factores variedades y densidades, se realizó el análisis de varianza que se presenta en el cuadro 19.

Cuadro 19. Análisis de varianza para la variable área foliar (cm²).

FV	GL	SC	CM	Fc	0.05	0.01
Bloque	2	13.99	6.99	2.50	4.10	7.56 ns
Variedades	1	669.29	669.29	238.94	4.95	10.01 **
Densidades	2	32.76	16.38	5.85	4.10	7.56 *
Var* Dens	2	0.16	0.08	0.03	4.10	7.56 ns
EE	10	28.01	2.80			
Total	17	744.22				

Fuente: Elaboración propia

ns (no significativo); * (significativo); ** (altamente significativo) **CV(6.02)**

El análisis de varianza a un nivel de confianza del 5% de error, de la variable área foliar (cuadro 19), determinó que existen diferencias altamente significativas entre los dos niveles del factor A (variedades *N. officinale* y *L. sativum*), y significativo entre los tres niveles del factor B (tres densidades de siembra). Para fuente de variabilidad interacción variedad-densidad, el análisis de varianza reportó no significativo, esto quiere decir que la acción conjunta entre variedad y densidad estadísticamente permite obtener el mismo resultado. Debido a que el análisis de varianza reportó resultados altamente significativos entre las variedades *N. officinale* y *L. sativum* al igual que lo

observado en campo, se realizó la correspondiente Prueba de Duncan tomando en cuenta el 5% de error, con el objetivo de identificar estadísticamente la variedad (factor A) que mayor cantidad de área foliar desarrolló al final del ensayo.

Cuadro 20. Prueba Duncan al 5% para el factor A área foliar

Factor A (Variedades)				
Variedad	Promedio(cm ²)	n	E.E.	
V1 <i>N. officinale</i>	33.83	9	0.56	a
V2 <i>L. sativum</i>	21.70	9	0.56	b

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la prueba de comparación de medias, de acuerdo con Duncan 5% de significancia (Cuadro 20), estadísticamente muestra, que la variedad *N. officinale* presentó mayor área foliar con un promedio de 33,83 cm², por otro lado la variedad *L. sativum* presentó menor área foliar con promedio igual a 21,70 cm².

De las dos variedades evaluadas, el mejor comportamiento registra la variedad *N. officinale* debido a que obtuvo la mayor área foliar, con un promedio igual a 33,83 cm² seguido de la variedad *L. sativum* con 21,70 cm². Esto es consistente con el tipo de arquitectura que presenta cada una de las dos variedades: la variedad *L. sativum* exhibe escaso desarrollo foliar, esta disposición reduce la capacidad de interceptar radiación fotosintéticamente activa (RFA).

La variedad *N. officinale* exhibe por el contrario, una mayor superficie que le provee mayor cobertura de área foliar y mayor eficiencia en la captación de luz. El registro de datos para la variable área foliar se realizó a los 42 días después de la emergencia para ambas variedades.

Colodro (2013), registró un promedio de área foliar igual a 45,04 cm² para *N. officinale* y para *L. sativum* se reportó un promedio de área foliar igual a 40,42 cm² estos valores son mayores a los que se obtuvieron en el presente trabajo, debido a que este autor

trabajo en suelo, lo cual no se aplicó en el presente estudio. Se asume que las variedades en estudio tuvieron un similar comportamiento en cultivo hidropónico.

Como en la fuente de variabilidad correspondiente al factor “B” (tres densidades de siembra), el ANVA (cuadro 19) reportó significativo, se procedió a realizar la prueba de Duncan tomando el 5% de error, con el objeto de identificar estadísticamente la densidad (factor B) que permite obtener mayor área foliar por planta en el ensayo.

Cuadro 21. Prueba Duncan al 5%, para el factor B para la variable área foliar

Factor B (Densidad)				
Densidad	Promedio(cm ²)	n	E.E.	
D2(20cm)	29.67	6	0.68	a
D3(15cm)	27.18	6	0.68	b
D1(25cm)	26.54	6	0.68	b

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la prueba de comparación de medias, de acuerdo con Duncan 5% (Cuadro 21) estadísticamente muestra, que la densidad (20cm) presentó el mayor desarrollo de área foliar con un promedio igual a 29,67 cm², por efecto de una cantidad ideal de plantas por distancia. Por otro lado la densidad (25 cm) reportó menor desarrollo de área foliar con un promedio igual a 26,54 cm² debido a una alta densidad de siembra y menor competencia entre plantas.

Al respecto Colodro (2013), menciona en su trabajo de investigación, que el área foliar registrado fue en promedio igual a 45,1 cm² para la densidad (20 cm) este comportamiento lo atribuye a la densidad poblacional. Tal promedio se rectifica en el presente trabajo utilizando una menor densidad (20 cm) presentó mejor área foliar.

Al respecto Vasquez (2008), señala que al aumentar la cobertura foliar de una planta, la fotosíntesis total aumenta por existir una mayor superficie total de hojas expuestas a la luz, por otra parte cuando la población es más densa o cuando hay aumento de cobertura foliar sobre la misma superficie de terreno, las hojas se sombrean mutuamente cada vez y se limita la actividad fotosintética.

A mayor población se tiene competencia intraespecífica por nutrientes, agua y luz. En el presente estudio a las variedades evaluadas se les proporcionó condiciones hidropónicas homogéneas respecto a cantidad de nutrientes y agua; sin embargo fue a través de la cantidad de luz que se determinó, la eficiencia fotosintética y mejor nutrición de las plantas, por lo tanto mayor área foliar.

Criollo y García (2009), afirman que un rápido crecimiento y una mayor expansión de hojas y raíces se presenta cuando no hay otras plantas competidoras en la cercanía; cuando hay mayor densidad, una planta que crece más rápido que su vecina utilizara una mayor cantidad de un determinado recurso disponible e incrementara su tasa de crecimiento en general.

La mayor extensión de las hojas permitirá a la planta poseer una mayor área de interceptación de luz y una mayor producción fotosintética por planta.

6.2.5 Peso promedio por planta (g)

Para el peso promedio por planta se

El análisis de varianza para esta variable, se muestra en el cuadro 22.

Cuadro 22. Análisis de varianza para la variable peso promedio por planta (g)

FV	GL	SC	CM	Fc	0.05	0.01
Bloque	2	27.51	13.76	0.45	4.10	7.56 ns
Variedades	1	597.66	597.66	19.46	4.95	10.01 **
Densidades	2	99.67	49.83	1.62	4.10	7.56 ns
Var* Dens	2	11.86	5.93	0.19	4.10	7.56 ns
EE	10	307.19	30.72			
Total	17	1043.89				

Fuente: Elaboración propia

ns (no significativo); * (significativo); ** (altamente significativo) **CV= (23.77)**

El análisis de varianza a un nivel de confianza del 5% de error, de la variable peso promedio por planta (cuadro 22), determino que no existen diferencias de la fuente de variabilidad de densidad de siembra. Por otro lado se reportó no significativo en la

acción conjunta entre variedad y densidad no hubo diferencia para permitir obtener diferente resultado.

Debido a que el análisis de varianza (cuadro 22) reportó resultados altamente significativos entre las variedades *N. officinale* y *L. sativum* al igual que lo observado en campo, se realizó la correspondiente Prueba de Duncan tomando en cuenta el 5% de error, con el objetivo de identificar estadísticamente la variedad (factor A) que registró mayor cantidad de peso al final del ensayo.

Cuadro 23. Prueba Duncan al 5%, para el factor A peso promedio por planta

Variedad	Factor A (Variedades)			
	Promedio(cm)	n	E.E.	
V1 <i>N. officinale</i>	29.08	9	1.85	a
V2 <i>L. sativum</i>	17.55	9	1.85	b

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la prueba de comparación de medias, de acuerdo con Duncan 5% (cuadro 23) estadísticamente muestra, que V1 presentó mayor peso promedio por planta con un valor igual a 29,08 g en comparación a V2 que obtuvo un promedio de 17.55 g por planta. El mayor peso alcanzado por *N. officinale* se atribuye a las características genéticas, morfológicas y fisiológicas propias de ésta variedad en comparación a *L. sativum* que registró un peso promedio bajo por planta.

Por otra parte, el medio de cultivo al que se sometió (ambas variedades) posiblemente intervino en el rendimiento, ya que el medio proporciona agua y nutrientes a disposición de la planta. El análisis de varianza (cuadro 22) reportó resultados altamente significativos entre las densidades estudiadas D1 (25) cm, D2 (20) cm y D3 (15) cm al igual que lo observado en campo.

Cuadro 24. Prueba de efectos simples de la interacción de los factores A y B para peso/planta (g)

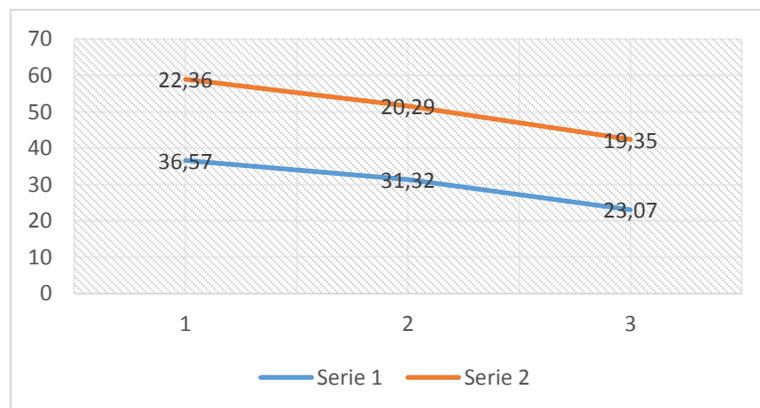
FV	GL	SC	CM	Fc	0.05	0.01
Variedad (D1)	1	302.46	302.46	38.48	4.96	**
Variedad (D2)	1	182.60	182.60	23.23	4.95	**
Variedad (D3)	1	21.14	21.14	2.69	4.96	ns
Densidad (V1)	2	2.77.77	138.88	17.67	4.10	**
Densidad (V2)	2	14.27	7.13	0.91	4.10	ns
Total	8	62.880	7.860			

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 24, prueba de efectos simples de la interacción entre variedad y densidad para peso por planta, se puede observar que existen diferencias altamente significativas para la interacción variedad densidad D1 y D2 ($F_c > 4,96$) indicando que cultivar cualquiera de las dos variedades de berro permite obtener estadísticamente diferente promedio en cantidad de peso por individuo.

En cambio para la interacción variedad D3 la prueba indica que utilizar cualquiera de las dos variedades permite obtener estadísticamente promedios de pesos similares por individuo. Asimismo la prueba refleja que la interacción entre densidad V1 es altamente significativo y la interacción densidad V2 estadísticamente no presenta diferencia significativa. En la figura 10, se observa la comparación de medias del peso por planta en la interacción de niveles de los factores A y B respecto a la variedad.

Figura 9. Comparación de medias del peso por planta en la interacción de niveles de los factores A y B respecto a variedad



Fuente: Elaboración propia

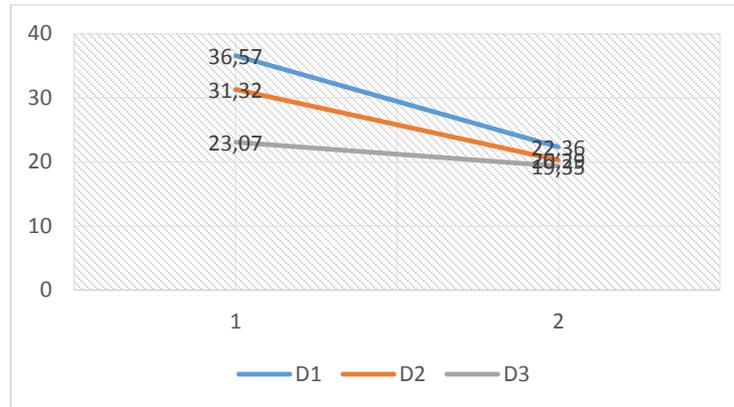
En la figura 9 se puede apreciar, que el peso por planta tiene un comportamiento diferenciado en las tres densidades de siembra, donde la variedad *N. officinale* en la D1 (25 cm) obtiene mayor peso por planta igual a 36,57 g, seguido por la D2 (20 cm) con un valor igual a 31,32 g y finalmente la que menor rendimiento obtuvo fue la D3 (15 cm) con promedios por planta igual a 23,07 gramos.

Observando el comportamiento en la variedad *N. officinale*, en las tres densidades de siembra, se aprecia un incremento en peso por individuo a medida que el número de individuos es menor por superficie. Varios factores abióticos y la interacción de los mismos influyen en este resultado; factores como la incidencia solar, la planta al tener mayor espacio percibe mayor incidencia solar por tanto mayor captación de fotones que estimulan la fotosíntesis dando como resultado incremento en la síntesis de carbohidratos que amplían la estructura de la planta.

Otro factor es el aire, la planta al poseer mayor estructura fotosintética tiene la posibilidad de captar más moléculas de CO₂ que permiten que el proceso de fotosíntesis sea más eficiente. A estos factores se suman el agua y la disponibilidad de nutrientes, pero como fue constante y homogéneo para las variedades estudiadas se asume que su influencia es despreciable.

La variedad *L. sativum*, reportó los promedios en peso de planta más bajos, D1 (25 cm) igual a 22,36 g/planta, D2 (20 cm) con 20,29 g/planta y D3 (15 cm) 19,35 g/planta en comparación con la variedad *N. officinale*, observando un comportamiento similar en menor proporción a la anterior variedad. Sin embargo es importante mencionar la influencia de las características genóticas de cada especie, la posibilidad que cada individuo tiene de adaptarse a un determinado ambiente. En la figura 10, se observa la comparación de medias del peso por planta en la interacción de niveles de los factores A y B respecto a la densidad.

Figura 10. Comparación de medias del peso por planta en la interacción de niveles de los factores A y B respecto a densidad



Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en la figura 10, que los niveles del factor B tienen un comportamiento diferente en los dos niveles del factor A. Si bien manifiestan la misma tendencia, estadísticamente la interacción entre las tres densidades y las dos variedades estudiadas permiten obtener diferentes promedios en peso por planta. Este comportamiento diferenciado se atribuye a las características genéticas de cada variedad, donde la variedad *N. officinale* en las tres densidades estudiadas D1, D2 y D3 estadísticamente registra diferentes promedios en peso de planta. En comparación, la variedad *L. sativum* reporta promedios estadísticamente similares de peso por planta en las tres densidades estudiadas.

6.2.6 Rendimiento (kg/m²)

El desarrollo y resultados del análisis de varianza para el rendimiento (kg/m²) se encuentra en el cuadro 25.

6.3 Análisis económico

El análisis económico se realizó a partir de los resultados obtenidos en la presente investigación para determinar el mejor comportamiento agronómico entre los tratamientos y su desarrollo económico para una producción.

La evaluación económica nos permite proporcionar parámetros claros para determinar la rentabilidad del cultivo hidropónico de berro en NFT, para realizar un cambio tecnológico en nuestro sistema de producción.

6.3.1 Rendimiento ajustado

El rendimiento ajustado es el promedio de los rendimientos para cada tratamiento menos un porcentaje; Donde se considera un 10% del rendimiento obtenido en la investigación, se justifica ya que durante la investigación las unidades experimentales recibieron atención y cuidado especial, a diferencia del ámbito comercial estos no dan atención especial a sus cultivos (CIMMYT, 1998).

El cuadro 25 nos muestra el rendimiento del experimento y el rendimiento ajustado en kilogramos por metro cuadrado, tomando en cuenta los rendimientos por metro cuadrado.

Cuadro 25. Rendimiento en (kg/m²)

RENDIMIENTOS	TRATAMIENTOS					
	Berro de agua			Berro de jardín		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Rendimiento promedio(kg/m ²)	2.69	2.82	4.4	2.22	2.03	2.04
Rendimiento ajustado (-10%)	2.42	2.54	3.96	2.0	1.83	1.84

Fuente: *Elaboración propia*

Los resultados obtenidos muestran que los rendimientos que obtuvieron valores mayores es la variedad *N. officinale* y la D3 (densidad alta) presenta diferencias significativas.

6.3.2. Número de ciclos por año

Tomando en cuenta la utilización del terreno, para situar el sistema hidropónico NFT, para que la producción de berro en ambientes atemperados sea intensiva, la producción del ciclo de producción puede reportar mayor número de cosechas al año, por lo tanto una mayor producción.

Otro factor determinante es el tiempo de desarrollo hasta la cosecha, en épocas de invierno retardan el crecimiento del cultivo.

6.3.3 Beneficio bruto (Bs/m²)

El beneficio bruto se calcula multiplicando el número de bolsas obtenidas por tratamiento en un metro cuadrado, por el precio promedio de 100g de berro, en nuestro caso para el cálculo de beneficio bruto anual se multiplicó el beneficio bruto de un ciclo, por el número de ciclos al año. El presente cálculo se realizó para el área experimental utilizada 7 metros cuadrados y para un año. El cuadro 26 nos muestra los resultados.

Cuadro 26. Beneficio bruto

FACTORES	TRATAMIENTOS					
	<i>N. officinale</i>			<i>L. sativum</i>		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Rendimiento promedio (kg/m ²)	2.69	2.82	4.4	2.22	2,03	2,04
Rendimiento ajustado (-10%)	2.42	2.54	3.96	2,0	1,83	1,8
Número de Bolsas	12	14	23	20	18	18
Precio Bolsa de 100 g	5	5	5	5	5	5
Beneficio bruto/ciclo (bs/m ²)	60	70	115	100	90	90
Número de ciclos/año	10	10	10	10	10	10
Beneficio bruto anual (bs/m ²)	600	700	1150	1000	900	900
Beneficio bruto anual 7m ²	4200	4900	8050	7000	6300	6300

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del cuadro 26 nos indica que la variedad *N. officinale* tuvo un mayor beneficio bruto, con resultados de 8050 bs/año para la D3 (densidad alta), en cambio la variedad *L. sativum* registro 7000 Bs/año para D1. Esto nos indica que la variedad *N. officinale* presenta más beneficios económicamente.

Pero que no obstante la D1 es recomendable para la variedad *L. sativum* en comparación a D2 y D3

6.3.4 Costos variables (CV)

Los costos variables son los costos relacionados con los insumos comprados, la mano de obra utilizada para las actividades productivas que varían con tratamientos de una variedad a otra.

Cuadro 27. Costos variables por variedades (Bs/año)

ITEMS	TRATAMIENTOS					
	<i>N. officinale</i>			<i>L. sativum</i>		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Semilla (bs)	15	15	15	15	15	15
Mano de obra	618	618	618	618	618	618
Solución nutritiva (bs)	65	65	65	65	65	65
Energía eléctrica	59.1	59.1	59.1	59.1	59.1	59.1
Consumo de agua	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9
Complementos (bs)	30	30	30	40	40	40
Número de ciclos/año	10	10	10	10	10	10
Total costos variables (bs/año)	7980	7980	7980	8080	8080	8080

Fuente: Elaboración propia

Según los costos variables, los tratamientos que corresponden a la aplicación de uno de las variedades presentan costos variables superiores con poca diferencia.

5.3.5 Costos fijos (CF)

Los costos fijos son aquellos costos que se mantienen para cada campaña de producción y que están relacionados con la producción final, para este trabajo se han tomado en cuenta los costos de la infraestructura, instalación del sistema hidropónico recirculante, las bombas eléctricas, herramientas y otros gastos. Los costos fijos de la infraestructura del ambiente atemperado, instalación del sistema hidropónico NFT y bomba eléctrica, se han calculado estimando la depreciación por año, considerando los años de vida útil cada uno de los componentes del costo fijo.

Cuadro 28. Costos fijos por variedades (Bs/Año)

ITEMS	TRATAMIENTOS					
	<i>N. officinale</i>			<i>L. sativum</i>		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Alquiler carpa solar	288	288	288	288	288	288
Sistema Hidropónico	480	480	480	480	480	480
Herramientas (bs)	200	200	200	200	200	200
Otros gastos (bs)	40	40	40	40	40	40
Total costos fijos (bs/año)	1028	1028	1028	1028	1028	1028

Fuente: Elaboración propia

6.3.6 Costos totales

El sumatorio total de los costos de producción o variables y los costos fijos. A continuación, presentamos el cuadro 29, donde se detallan los costos totales.

Cuadro 29. Costos totales por variedad

ITEMS	TRATAMIENTOS					
	N. officinale			L. sativum		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Costo Variable(Bs/año)	7980	7980	7980	8080	8080	8080
Total Costos fijo (Bs/año)	1028	1028	1028	1028	1028	1028
TOTAL COSTOS (Bs/Año)	9008	9008	9008	9108	9108	9108

Fuente: Elaboración propia

Según los costos totales los tratamientos que corresponden a la aplicación de cualquiera de las variedades en distintas densidades sin duda no existe una variedad significativa apenas de 100 bs.

6.3.7 Beneficio Neto (BN)

Los beneficios netos nos reflejan ingresos obtenidos luego de restar los costos totales. A continuación, en el cuadro 28, se detallan los beneficios netos anuales.

Cuadro 30. Beneficios netos anuales por variedad

ITEMS	TRATAMIENTOS					
	N. officinale			L. sativum		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Beneficio Bruto (Bs/Año)	4200	4900	8050	7000	6300	6300
Total Costos (Bs/año)	9008	9008	9008	9108	9108	9108
Beneficio Neto (Bs/Año)	-4808	-4108	-958	-2108	-2808	-2808

Fuente: Elaboración propia

Acá se obtuvieron beneficios neto bajo con signo negativo al interactuar con las densidades, lo cual indica que, en lugar de obtener beneficios en esos tratamientos, se tuvo pérdidas económicas, y por lo tanto no es conveniente su producción.

6.3.8. Relación beneficio costo (B/C)

Es la relación que existe entre los beneficios brutos y los costos totales, el valor resultante de esta división nos indica la rentabilidad. El cuadro 31 nos muestra los resultados de la relación beneficio costo.

Cuadro 31. Relación beneficio costo

ITEMS	TRATAMIENTOS					
	<i>N. officinale</i>			<i>L. sativum</i>		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Beneficio bruto anual 7m ²	4200	4900	8050	7000	6300	6300
Total Costos (Bs/año)	9008	9008	9008	9108	9108	9108
Relación beneficio costo	0.47	0.54	0.89	0.77	0.69	0.69

Fuente: Elaboración propia

Los resultados salieron <1 esto nos indica que no es rentable para el primer año por los costos del sistema re circulante ya que por cada boliviano invertido se perdió para *N. officinale* en D1 = 0.53, D2 = 0.46 y D3 = 0.11 y para *L. sativum* en D1= 0.23, D2 = 0.31 y D3 = 0.31.

7. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados para el presente trabajo, considerando los resultados obtenidos de las variables de respuesta mediante el análisis estadístico, además de las observaciones hechas se llegó a las siguientes conclusiones.

- Entre los factores ambientales donde se desarrolló el cultivo: temperatura (0,8 – 37,2 °C) y humedad relativa (20 – 85 %) al interior del ambiente controlado, permitieron un normal desarrollo del cultivo. La ausencia de signos de estrés y enfermedades en las plantas permiten afirmar lo descrito.
- La emergencia en las variedades de berro se presentó entre el octavo y décimo día siendo la variedad *L. sativum* la más alta con 95 % respecto a *N. officinale* con 90 %. En general, los tratamientos expresaron distintos comportamientos atribuibles a un efecto competitivo entre plantas por: luz, agua, nutrientes y espacio físico, reflejados en características fenotípicas de la planta. Los valores reportados por la investigación indican para altura de planta entre variedades la que mejor comportamiento tuvo fue la variedad *N. officinale* con una altura igual a 29,40 cm comparada con *L. sativum* que presentó 24.40 cm; respecto a densidades, el mejor comportamiento fue a una densidad de plantas/m² con una altura igual a 21,94 cm.
- El número de hojas por planta es un carácter genético determinado por cada variedad y las condiciones a las que se las expuso permitieron demostrar un mayor potencial, donde la variedad *N. officinale* registró superioridad frente a la variedad *L. sativum*. Respecto al área foliar, en función a la variedad estudiada, *N. officinale* fue superior; el tratamiento de 100 plantas / m² fue con la que se alcanzó mejores resultados; entendiéndose que a menor densidad se tiene mayor desarrollo de área foliar. La variación que se obtuvo en longitud de raíz sugiere que, al tener un medio donde la disponibilidad de agua y nutrientes es óptima, el crecimiento de raíz presenta menor desarrollo.
- El rendimiento que se obtuvo en condiciones de cultivo hidropónico fue de 3,29 y 2,40 kg / m² para las variedades *N. officinale* y *L. sativum* respectivamente.

- Una de las ventajas del cultivo hidropónico es utilizar altas densidades de siembra permitiendo alcanzar valores elevados de rendimiento por unidad de superficie. Los resultados de la investigación coinciden con lo mencionado, con rendimientos iguales a 4,24, 2,58 y 1,72 a una densidad de 200, 100 y 58 plantas / m² respectivamente.
- La mayor utilidad económica se registró con el tratamiento T3 (V1D3), por el reducido costo variable y el buen rendimiento que presenta *N. officinale*, mostrándose como la más rentable con un valor igual a 3,89 lo que significa que además de recuperar la inversión el margen de ganancia será 2,89 veces mayor a la inversión inicial.
- De acuerdo a los resultados obtenidos, durante el transcurso de la investigación, se acepta la hipótesis alterna que señala, el comportamiento agronómico de dos variedades de berro (*Nasturtium officinale* R. Br. y *Lepidium sativum*) en el sistema N.F.T. influye en la producción y rendimiento de esta hortaliza.

8. RECOMENDACIONES

Con el objeto de enriquecer el trabajo de investigación se hace las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda realizar pruebas de viabilidad en las semillas y/o tratamientos pre germinativo en caso de latencia u otros.
- En cuanto a los bloques, hubo diferencia poco significativa, por lo que se recomienda dar una muy buena posición de las pirámides para que el 100% de las plantas tengan el acceso a la luz. Para que en el proceso de la fotosíntesis que usan las plantas para producir alimento les ayude más a acumular más material para la planta. Mientras más rápida sea la velocidad de la fotosíntesis, más rápido crecerá la planta. Principalmente, la intensidad y la calidad de la luz impactan la velocidad de la fotosíntesis.
- Se recomienda tener el 100% de la carpa con cultivos para tener un equilibrio en la temperatura
- No se recomienda la producción de berro en este sistema ya q no se aprovecha como las demás hortalizas de hoja.
- Se debe tener un control adecuado de la temperatura dentro de la carpa solar puesto que, a altas temperaturas existe una mayor evapotranspiración del cultivo.
- Empleo de micro aspersores y/o nebulizadores que nivelan la temperatura y la humedad relativa de la carpa, para una mayor ventilación instalación de cortinas automáticas (de acuerdo a la temperatura se, abran o cierran).

9. BIBLIOGRAFÍA

Barbado, J. 2005. Hidroponía. Buenos Aires – Argentina. Editorial Albatros SACI.

Barrera, J; Suarez, D; Melgarejo, LM. 2014. Análisis de crecimiento en plantas. Laboratorio de fisiología y bioquímica vegetal (en línea). Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia. p. 25 - 38. Disponible en: <https://www.researchgate.net>.

Barros, P. 2000. La Hidroponía. 47 p. Disponible en: www.biblioteca.org.ar.

Bautista, M. 2000. Evaluación del rendimiento de cuatro variedades de lechuga (*Lactuca sativa L.*) en cultivo hidropónico, utilizando como sustrato arena y cascara de arroz (en línea). Tesis Ing. Agr. San Carlos, Guatemala, Universidad de Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. Consultado 18 jul 2016. 71 p. Disponible en <http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-018339.pdf>.

Baixauli, C; Aguilar, J. 2002. Cultivo sin suelo de hortalizas. Aspectos prácticos y experiencias. Generalitat Valenciana. Consejería de agricultura pesca y alimentación. Valencia, España. 110 p. Beltrano, J; Giménez, DO. 2015. Cultivo en Hidroponía (en línea). Libro digital. Editorial de la Universidad de La Plata. Consultado 18 may. 2017. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf

Benitez, MI. 1999. Desarrollo de técnicas de producción del berro de agua bajo sistema aerohidropónico (*Nasturtium officinale*). Proyecto Innovación tecnológica. Proyecto N° 97-1067. FONTEC – CORFO. 43 p. Disponible en: <http://repositoriodigital.corfo.cl>.

Biología-Botanica. 2003. Luz y Desarrollo. El Fotoperiodismo, Fotomorfogénesis y el Control de la floración (en línea). Revista digital. Consultado 18 may. 2017. Disponible en: http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas/tema_15.htm#El_descubrimiento_del_fitocromo

Bosque, HD. 2009. Apuntes de Fisiología Vegetal. Universidad mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 164 p.

Botanical-online. 2017. Contraindicaciones de los berros (en línea). Revista digital. Consultado 26 ago. 2016. Disponible en: www.botanical-online.com.

Bugarín, M; Baca, C; Martínez, H; Tirado, T; Martínez, H; Tirado, T; Martínez, G. 1998. Amonio/nitrato y concentración iónica total de la solución nutritiva en crisantemo. Crecimiento y floración. Terra. 124 p.

Carrasco, G; Ramírez, P; Vogel, H. 2007. Efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva sobre el rendimiento y contenido de aceite esencial en albahaca cultivada en NFT, IDESIA. 62 p.

Carratalá, E. 2015. El cultivo del berro. Planeta huerto.es (en línea). Revista digital. Consultado 26 ago. 2016. Disponible en: <https://www.planetahuerto.es>. Castañeda, F. 1997. Manual Técnico de Hidroponía Popular (cultivos sin tierra). Instituto de nutrición de Centro América y Panamá (INCAP/OPS). Guatemala. 44 p.

Cervantes, F; Gasca, MT; Enríquez, E; Mendoza, M; Guevara, LP; Vásquez, F; Rodríguez, S. 2014. Densidad de población y correlaciones fenotípicas en caracteres agronómicos y de rendimiento en genotipos de maíz (en línea). Ciencia y Tecnología Agropecuaria México 2 (1): 9 – 16. Consultado 10 abr. 2016. Disponible en: www.uncos.edu.mx/investigacion.

Chang, M; Hoyos, M; Rodríguez, A., 2000. Manual práctico de hidroponía: sistema de raíz flotante y sistema de sustrato sólido. Perú, s.e. 42 p.

Clavijo, J; Baker, J. 1988. Germinación, Emergencia y Crecimiento Temprano de Arroz Rojo y Cuatro Variedades de Arroz (en línea). Portal de Revistas UN Colombia. Consultado 10 abr. 2016. Disponible en www.bdigital.unal.edu.co.

Colodro, VA. 2013. Rendimiento de dos variedades de berro (*Nasturtium officinale*) en relación a la densidad de siembra en ambiente protegido. Tesis Ing. Agr. La Paz, Bolivia, Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. 111 p.

Crescencio, Y. 2010. Niveles de nutrición orgánica y densidades de población de col (Brassica oleracea, variedad capitata), Región Lagunera (2009-2010). Tesis Ing. Agr. Torreón, Coahuila, México, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. División de

carreras Agronómicas. Consultado 10 abr. 2016. Disponible en <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui>.

Criollo, H; García, J. 2009. Efecto de la densidad de siembra sobre el crecimiento de plantas de rábano (*Raphanus saivus L.*) bajo invernadero (en línea). Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas – Vol. 3 – No.2 – p. 210 – 222. Consultado 18 may. 2017. Disponible en www.soccolhort.com/revista/pdf.

Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria, Innovación Tecnológica., 2000. Guía de producción de lechuga: sistema de raíz flotante (en línea). Honduras, Secretaría de Agricultura y Ganadería. Consultado 17 ene. 2015. Disponible en www.sag.gob.hn/dicta/Paginas/lechuga_hidroponica.

Enciclopedia Wikipedia. 2020. Garden cress (en línea). Consultado 10 abr. 2020. Disponible en https://en.wikipedia.org/wiki/Garden_cres.

Enciclopedia Wikipedia. 2020. Watercress (en línea). Consultado 15 jun. 2020. Disponible en <https://en.wikipedia.org/wiki/Watercress>.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2004. Manual Integrado de Enfermedades en Cultivos Hidropónicos Técnico (en línea). Talca, Chile. Universidad de Talca. Talca, Chile. Consultado 20 oct. 2014. Disponible en <http://dspace.otalca.cl/bitstream/1950/2931/1/Sandoval.pdf>.

Fernández, D. 2014. Hidroponía, como cultivar sin tierra, primera edición. La Hidroponía. Lima, Perú.

Fernández, J. 2012. Influencia de la aplicación de Rizobacterias en el cultivo de Lechuga y de Berro “Baby leaf” en bandejas flotantes (en línea). Tesis Ing. Arg. Cartagena, España, Universidad Politécnica de Cartagena. 54 p. Disponible en <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/2928/pfc4431.pdf>

Flores, P. 2006. Invernaderos Construcción y Manejo. Ediciones Ripalme. 1ra Edición. Lima, Perú. 11 p.

Gallegos, C. 2012. Efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva en la producción de licopeno en tomate (*Solanum lycopersicum L.*) (en línea). Consultado

23 jul. 2016. Tesis Ing. Agr. Texcoco, México, Colegio de Postgraduados. Disponible en www.biblio.colpos.mx:8080/xmlui/.../Gallegos.

Gilsanz, J. 2007. Hidroponía. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Montevideo, Uruguay, Unidad de comunicación - Transferencia tecnológica. 31 p.

Guzmán, G. 2004. Hidroponía en Casa: Una Actividad Familiar. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Sistema Unificado de Información Institucional. 25 p.

Guzmán, G. 2004. Hidroponía en Casa: Una Actividad Familiar. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, C.R. 10 p.

Huterwal, G., 1991. Hidroponía, Cultivo de Plantas Sin Tierra. Buenos Aires, Argentina. pp. 234.

IGM, 2010. Instituto Geográfico Militar. Datos Latitud, Longitud. Cota Cota. 2010. La Paz, Bolivia.

Infoagro. 2005. Cultivos hidropónicos. La lechuga (en línea). Consultado 10 abr. 2020. Disponible en www.infoagro.org Krarup, C; Moreira, I. 2004. Berro de agua (en línea). Consultado 27 jun. 2019. Santiago, Chile. Disponible en http://www.uc.cl/sw_educ/hort0498/html.

Izquierdo, J. 2003. Manual Técnico de Hidroponía Popular. Santiago, Chile. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Lacarra, A; García, C. 2011. Validación de cinco Sistemas Hidropónicos para la Producción de Jitomate (*Lycopersicum esculentum Mill*) y Lechuga (*Lactuca sativa L.*) en Invernadero (en línea). Consultado 10 abr. 2017. Tesis Lic. Agr. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Agrícolas. 63 p. Disponible en <http://cdigital.uv.mx/bitstream>

Landa, JA; Coxca, M. 2010. Evaluación de 5 sistemas hidropónicos para la producción de lechuga (*Lactuca sativa L.*) bajo condiciones de invernadero en la zona de Xalapa, Veracruz (en línea). Tesis Lic. Agr. Veracruz, México, Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Agrícolas. Consultado 20 jun. 2017. Disponible en <http://cdigital.uv.mx>.

Lara, A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. Terra. 229 p.

Leme, E. 2005. El placer de comer bien. Alimentos Para Prevenir y Curar. Aces. Buenos Aires, Argentina. p. 7–20.

NOGUERA, V. 1993. Sistemas de Solución perdida y recirculante: Descripción, análisis y valoración. Curso superior de especialización sobre cultivos sin suelo. Almeria, España. Instituto de Estudios Almerienses. p. 85 - 126.

Malca, O. 2001. Lechugas Hidropónicas (en línea). Seminario de Agro negocios Lechugas hidropónicas. Memoria. Universidad del Pacifico. 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

Maldonado, R., 1994. Método universal para la preparación de soluciones nutritivas. Chapingo, México. Universidad Autónoma de Chapingo. 36 p.

Marín, R. 2010. Densidades de población, soluciones nutrimentales en chile habanero (*Capsicum chinense Jacq.*) cultivado en invernadero (en línea). Tesis Ing. Agr. Torreón, México, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, División de carreras Agronómicas, Departamento de riego y drenaje. Consultado 23 nov. 2016. Disponible en <http://repositorio.uaaan.mx>.

Márquez, JM. 2013. Desarrollo, optimización e integración de tecnologías sustentables a base de un biorreactor empacado de flujo ascendente y un humedal artificial de flujo horizontal sub-superficial para el tratamiento de agua contaminada con cromo y plomo (en línea). Tesis Ph. D. en Ciencias con especialidad en Biotecnología. San Nicolás de los Garza Nuevo León, México, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas. Consultado 10 abr. 2017. Disponible en <http://cdigital.dgb.uanl.mx>.

Martín, G; Soto, F; Rivera, R; Rentería, M. 2006. Estimación de la superficie foliar de la *Canavalia ensiformis* a partir de las medidas lineales de sus hojas (en línea). Red

de revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Cultivos Tropicales, vol. 27, no 4. p. 77 - 80. Disponible en <http://www.redalyc.org>.

Maroto, J. 1995. Horticultura Herbácea Especial. Editorial Mundi Prensa. 4ta Edición. Madrid, España. 131 p.

Mera, M. 1989. Densidad poblacional y espaciamento en arvejas (*Pisum sativum L.*) para grano seco de follaje convencional (en línea). Agricultura técnica (Chile) 49 (2): 148 – 152. Consultado 10 abr. 2017. Disponible en <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/agritec/NR07220.pdf>

Murillo, W. 2010. Optimización de la producción de tres especies de hortalizas bajo producción hidropónica en el sistema NFT en los invernaderos “La Huerta” en la localidad de Chicani (La Paz). Trabajo Dirigido Ing. Agr. La Paz, Bolivia, Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. 105 p.

Ochoa, R. 2009. Diseños Experimentales. Facultad de Agronomía. UMSA. La Paz, Bolivia. 297 p.

Padilla, MA. 2013. Evaluación del potencial nutritivo y nutracéutico de galletas elaboradas con berro (*Nasturtium officinale*) deshidratado como colorante y saborizante (en línea). Tesis Lic. Bioquímico Farmacéutico. Riobamba, Ecuador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Consultado 10 abr. 2017. Disponible en <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3226/1/56T00403.pdf>.

Perrín, R. 1995. Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. Manual metodológico de evaluación económica. CIMMYT. México Distrito Federal, México. 74 p.

Patlax, O. 2013. Té de lombricomposta y solución nutritiva en la producción de acelga (*Beta vulgaris* var. Cicla) en invernadero con sistema de raíz flotante. Tesis Lic. Agr. Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Agrícolas.

Ramos, HB. 2006. Estudio de mercado del berro (*Nasturtium officinale R. Br.*) en el Municipio de Antigua Guatemala, Sacatepequez (en línea). Tesis Ing. Agr.

Sacatepequez, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. Consultado 15 ago. 2015. Disponible en www.biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2350.pdf.

RESH, H. M., (2005). “Cultivos hidropónicos”. 5ta Edición. Editorial Mundi — Prensa. Madrid —España. 509 p.

Regmurcia, 2009. Cultivo de Berro. Consultado 28 feb 2015. Disponible en: Cultivo de Berro, disponible en: Wikipedia.com. Resh, H. 1997. Cultivos Hidropónicos, nuevas técnicas de producción. Barcelona, España: Ediciones Mundi – Prensa. Cuarta edición. 509 p.

Rivasplata, J. 2012. Manual de hidroponía. Easy Plant Sustratos Hidropónicos. Disponible en: www.academia.edu. Rodríguez, A. 1996. Hidroponía una esperanza para Latinoamérica. Universidad Agraria la Molina. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Curso taller Internacional. Lima, Perú. 90 p.

Rodríguez, A; Hoyos, M; Chang, M. 2001. Soluciones nutritivas en hidroponía, formulación y preparación. Universidad agraria La Molina. Centro de Investigación de Hidroponía e Investigación Mineral. Lima, Perú. Rodríguez, A; Hoyos, M; Chang, M. 2002. Manual práctico de hidroponía. 3ra Edición. Centro de investigación de hidroponía. Universidad nacional Agraria la Molina. Lima Perú.

Rosero, N. 2015. Respuesta a la aplicación de cuatro soluciones nutritivas en el cultivo hidropónico del berro (*Nasturtium officinale L.*), en el cantón Otavalo, provincia de Imbabura (en línea). Tesis Ing. Agr. Carchi, Ecuador. Universidad técnica de Babahoyo. Facultad de ciencias agropecuarias. Consultado 10 abr. 2017. Disponible en <http://dspace.utb.edu.ec>.

Ruiz, T. 1993. Manual de horticultura. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. p. 12 – 41.

Salas, MB. 2007. Estudio e Investigación de la Berenjena, Berros y Zucchini; y propuesta gastronómica, aplicada en un recetario (en línea). Tesis M. Sc. Administradora Gastronómica. Ecuador, Universidad Tecnológica Equinoccial.

Facultad: Posgrados. Consultado 16 oct. 2014. Disponible en <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/11222>.

SENAMHI, 2019. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Datos Climáticos. Zona Sur de La Paz. La Paz, Bolivia.

Terrazas, 1990. Manual para la educación agropecuaria, suelo y fertilización. Editorial Trillas. p. 51 – 60.

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.

Urrestarazu, G. 2004. Tratado de cultivo sin suelo. 3ª ed. Editorial Mundi-Prensa. Barcelona, Madrid.

Vásquez, L. 2008. Efecto de soluciones nutritivas y sombreo en la producción y calidad del berro (*Nasturtium officinale R. Br.*) hidropónico en la sierra norte de Oaxaca (en línea). Tesis M. Sc. en Ciencias. Oaxaca, México, Instituto Politécnico Nacional. Consultado 20 oct. 2014. Disponible en <http://tesis.ipn.mx/xmlui/handle/123456789/4380>.

Zeballos, M. 2000. Estudio de los Cambios de la Composición Florística, Cobertura Vegetal y Fenología a lo Largo de un Ciclo Anual en el Área Permanente de Cota Cota – La Paz. Tesis Lic. Biología. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Ciencias. p. 12 – 59.

ANEXOS

10. ANEXOS

Anexo 1. Porcentaje de emergencia por tratamiento

Variedad	Dens.	Tratam.	I (%E)	II (%E)	III (E%)	$\Sigma x (V * D)$	t (%E)	v (%E)
V1 <i>N. officinale</i>	D1	T1	78	81	81	230	76.7	72.0
	D2	T2	64	81	81	209	69.7	
	D3	T3	77	72	72	209	69.7	
V2 <i>L. sativum</i>	D1	T4	71	50	48	169	56.3	57.1
	D2	T5	67	47	47	161	53.7	
	D3	T6	56	67	61	184	61.3	

Anexo 2. Altura de planta (cm)

	DENS	I	II	III	TOTAL	PROM
V1 Berro de agua	D1	15.47	14.47	12.57	42.51	14.17
	D2	12.93	13.60	13.83	40.36	13.45
	D3	16.47	14.47	17.60	48.54	16.18
		44.87	42.54	44.00		
V2 Berro de jardín	D1	21.87	22.90	25.35	70.12	23.37
	D2	22.77	27.07	26.57	76.41	25.47
	D3	25.87	29.09	27.37	82.33	27.44
		70.51	79.06	79.29		
TOTAL BLOQUES		115.38	121.63	120.29	360.27	20.01

Anexo 3. Número de hojas (u)

	DENS	I	II	III	TOTAL	PROM
V1 Berro de agua	D1	16	18	19	53	17.67
	D2	16	15	17	48	16
	D3	14	13	12	39	13
		46	46	48		
V2 Berro de jardín	D1	15	14	16	45	15
	D2	12	11	12	35	11.67
	D3	9	10	11	30	10
		36	35	39		
TOTAL BLOQUES		82	81	87	250	13.86

Anexo 4. Área foliar (cm²)

	DENS	I	II	III	TOTAL	PROM
V1 Berro de agua	D1	21.05	31.98	29.40	82.43	27.48
	D2	36.47	36.08	35.04	107.59	35.86
	D3	36.00	33.45	30.46	99.91	33.30
		93.52	101.51	94.9		
V2 Berro de jardín	D1	19.92	21.05	20.73	61.70	20.57
	D2	24.05	22.40	23.95	70.40	23.47
	D3	21.00	21.05	21.11	63.16	21.05
		69.92	64.5	65.79		
TOTAL BLOQUES		163.44	166.01	160.69	490.14	26.96

Anexo 5. Peso promedio por planta (g)

	DENS	I	II	III	TOTAL	PROM
V1 Berro de agua	D1	29.77	29.22	23.24	82.23	27.41
	D2	27.27	36.85	26.64	90.76	30.25
	D3	24.65	39.29	24.75	88.69	29.56
		81.69	105.36	74.63		
V2 Berro de jardín	D1	23.09	22.56	18.40	64.05	21.35
	D2	13.86	12.76	24.04	50.66	16.89
	D3	15.99	9.69	17.57	43.25	14.42
		52.94	45.01	60.01		
TOTAL BLOQUES		134.63	150.37	134.64	419.64	23.31

Anexo 6. Rendimiento (kg/m²)

	DENS	I	II	III	TOTAL	PROM
V1 Berro de agua	D1	1.99	2.05	38.46	6.40	2.13
	D2	3.20	3.12	27.46	9.40	3.13
	D3	4.50	4.71	24.72	13.84	4.61
		9.69	9.87	9.87	10.08	
V2 Berro de jardín	D1	1.41	0.98	1.53	3.91	1.31
	D2	1.66	1.93	2.50	6.09	2.02
	D3	3.20	4.09	4.31	11.61	3.87
		6.27	7.00	8.34		
TOTAL BLOQUES		15.69	16.88	18.42	51.25	2.85

Anexo 7. Rendimiento (kg/m²)

RENDIMIENTOS	TRATAMIENTOS					
	Berro de agua			Berro de jardín		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Rendimiento promedio(kg/m ²)	2.69	2.82	4.4	2.22	2.03	2.04
Rendimiento ajustado (-10%)	2.42	2.54	3.96	2.0	1.83	1.84

Anexo 8. Beneficio bruto

FACTORES	TRATAMIENTOS					
	<i>N. officinale</i>			<i>L. sativum</i>		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Rendimiento promedio (kg/m ²)	2.69	2.82	4.4	2.22	2,03	2,04
Rendimiento ajustado (-10%)	2.42	2.54	3.96	2,0	1,83	1,8
Número de Bolsas	12	14	23	20	18	18
Precio Bolsa de 100 g	5	5	5	5	5	5
Beneficio bruto/ciclo (bs/m ²)	60	70	115	100	90	90
Número de ciclos/año	10	10	10	10	10	10
Beneficio bruto anual (bs/m ²)	600	700	1150	1000	900	900
Beneficio bruto anual 7m ²	4200	4900	8050	7000	6300	6300

Anexo 9. Costos variables por variedad (Bs/año)

ITEMS	TRATAMIENTOS					
	<i>N. officinale</i>			<i>L. sativum</i>		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Semilla (bs)	15	15	15	15	15	15
Mano de obra	618	618	618	618	618	618
Solución nutritiva (bs)	65	65	65	65	65	65
Energía eléctrica	59.1	59.1	59.1	59.1	59.1	59.1
Consumo de agua	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9
Complementos (bs)	30	30	30	40	40	40
Número de ciclos/año	10	10	10	10	10	10
Total costos variables (bs/año)	7980	7980	7980	8080	8080	8080

Anexo 10. Costos fijos por variedades (Bs/Año)

ITEMS	TRATAMIENTOS					
	<i>N. officinale</i>			<i>L. sativum</i>		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Alquiler carpa solar	288	288	288	288	288	288
Sistema Hidropónico	480	480	480	480	480	480
Herramientas (bs)	200	200	200	200	200	200
Otros gastos (bs)	40	40	40	40	40	40
Total costos fijos (bs/año)	1028	1028	1028	1028	1028	1028

Anexo 11. Relación beneficio costo (B/C)

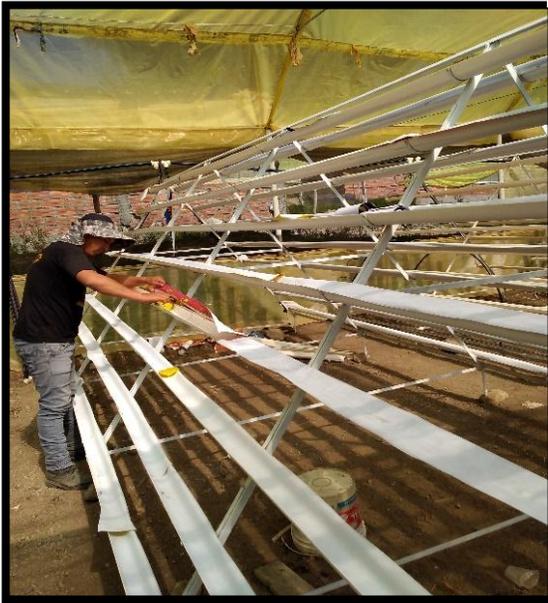
ITEMS	TRATAMIENTOS					
	<i>N. officinale</i>			<i>L. sativum</i>		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Beneficio bruto anual 7m ²	4200	4900	8050	7000	6300	6300
Total Costos (Bs/año)	9008	9008	9008	9108	9108	9108
Relación beneficio costo	0.47	0.54	0.89	0.77	0.69	0.69

Anexo 12. Construcción de canales de cultivos



Corte de del tubo PVC de 3 in en forma longitudinal.

Anexo 13. Construcción de la cobertura de canal de riego



Anexo 14. Instalación del sistema de distribución



Dos sistemas de distribución, para cada para cada tiempo de irrigación.

Anexo 15. Instalación del sistema de retorno

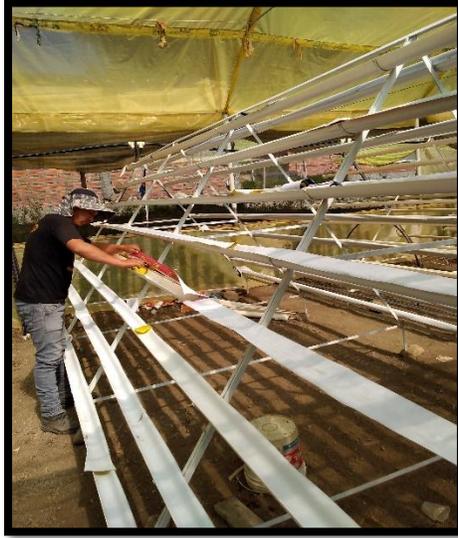


Instalando el sistema de retorno, PVC de 4 in.

Anexo 16. Excavación para el estanque del agua de 1200 l



Anexo 17. Limpieza del sistema NFT



Anexo 18. bandejas flotantes de plastoforno



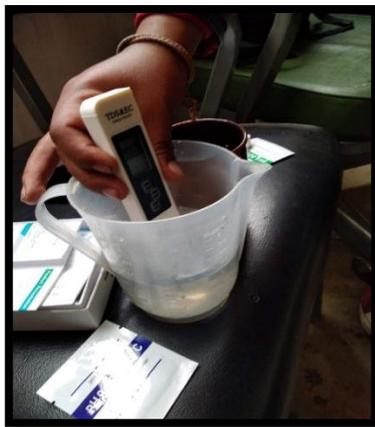
Anexo 19. Almacigo en las bandejas flotantes



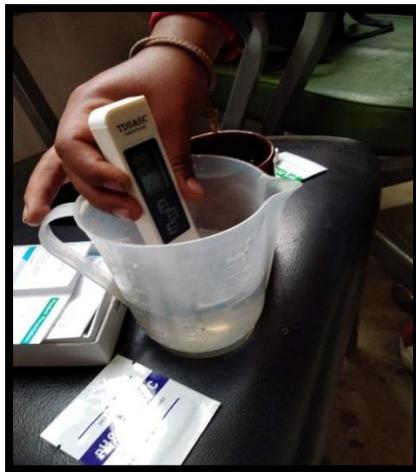
Anexo 20. Trasplante



Anexo 8. Calibración del pH-metro



Anexo 21. Medición de la conductividad eléctrica



Anexo 22. Cosecha y pesado de las dos variedades



Anexo 23. Embolsado y pesado



Anexo 24. Planta de berro de jardín (*Lepidium sativum*)



Anexo 25. Planta de berro de agua (*Nasturtium officinale*)



Anexo 26. Análisis de agua

Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ciencias Puras y Naturales
Instituto de Ecología
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 78/16

Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYO DE AGUAS A78/16

Cliente:	FACULTAD DE AGRONOMÍA - UMSA
Solicitante:	Sra. Paola Cristina Callisaya Aduviri
Dirección del cliente:	Av. 6 de marzo # 1034, Zona Rosas Pampa
Procedencia de la muestra:	Centro Experimental de Cota Cota
	Provincia: Murillo
	Departamento: La Paz
Punto de muestreo:	Grifo de Carga de Horticultura - Fac. Agronomía
Responsable del muestreo:	Sra. Paola Cristina Callisaya Aduviri
Fecha de muestreo:	10 de mayo de 2016
Hora de muestreo:	11:15
Fecha de recepción de la muestra:	10 de mayo de 2016
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 10 al 26 de mayo 2016
Caracterización de la muestra:	agua de grifo
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Btella Pett
Código LCA:	78 -1
Código original:	A -1

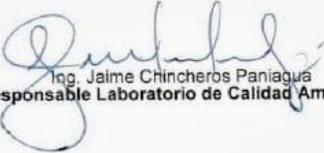
Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	A -1 78 -1
pH	EPA 150.1		1 - 14	8,3
Conductividad eléctrica	EPA 120.1	µS/cm	1,0	88
Cloruros	SM-4500-Cl-B	mg Cl/l	0,020	1,1
Sulfatos	SM 4500-SO4-E	mg/l	1,0	16
Sodio	EPA 273.1	mg/l	0,019	2,7
Potasio	EPA 258.1	mg/l	0,21	0,65
Calcio	EPA 215.1	mg/l	0,32	11
Magnesio	EPA 242.1	mg/l	0,18	2,5
Dureza total	SM 2340 - B	mg CaCO ₃ /l	2,0	38
Fósforo total	EPA 385.2	P-PO ₄ ³⁻ mg/l	0,010	< 0,010
Nitrógeno total	EPA 351.1	mg/l	0,30	< 0,30

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)
EPA = Environmental Protection Agency (Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, junio 12 de 2016


Ing. Jaime Chincheros Paniagua
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



c.c. Arch:
JOHLCA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522
Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia