

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



TESIS DE GRADO

EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE DOS VARIEDADES DE BERRO (*Nasturtium officinale* R. Br. Y *Lepidium sativum*) EN CULTIVO SIN SUELO EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE COTA – COTA

SIÑANI MARQUEZ Lourdes

La Paz – Bolivia

2017

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE AGRONOMÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE DOS VARIEDADES DE BERRO (*Nasturtium officinale* R. Br. Y *Lepidium sativum*) EN CULTIVO SIN SUELO EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE COTA – COTA

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

SIÑANI MARQUEZ Lourdes

ASESOR (ES):

Ing. Ph. D. José Yakov Arteaga García

Ing. Willams Alex Murillo Oporto

TRIBUNAL EXAMINADOR:

Ing. Ph. D. Carmen del Castillo Gutiérrez

Ing. M. Sc. Celia Fernández Chávez

Lic. Cynthia Lara Pizarroso

APROBADA:

PRESIDENTE TRIBUNAL EXAMINADOR:

**La Paz – Bolivia
2017**

DEDICATORIA

A todas las personas que me han y siguen enseñando a actuar como un mejor ser humano. Afortunadamente la lista es larga, pero quienes la encabezan han estado al pendiente sin importar las circunstancias: mi familia.

A mi hermano por su esencia y espiritualidad.

A mi apoyo moral, por el cariño, la confianza y sobre todo la incondicionalidad en la que siempre está presente...

No pienses que no pasa nada, simplemente porque no ves tú crecimiento... las grandes cosas crecen en silencio

Buda

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por acompañarme todos los días, por bendecirme, porque hiciste 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 mis asesores, Ing. William Murillo Oporto, por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos en el área de horticultura ha logrado que ejecute el proceso de investigación en campo. Ing. Ph. D. Yakov Arteaga agradecer la asesoría en la parte estadística y análisis de los resultados así como el tiempo dedicado para esta investigación. A mis revisores Ing. M. Sc. Celia Fernández y Lic. Cynthia Lara por sus aportaciones, recomendaciones y tiempo dedicado durante este trabajo de investigación. A Ing. Ph. D. Carmen del Castillo Gutiérrez, 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.

También me gustaría agradecer a mis profesores durante toda mi carrera profesional, porque todos han aportado con un granito de arena a mi formación, y en especial a mi profesor Ing. Ph. D. Raúl Portillo por sus consejos, su enseñanza y sobre todo por su amistad.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional, a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los 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

INDICE GENERAL

CONTENIDO.....	i
ÍNDICE GENERAL.....	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	vii
RESUMEN.....	viii
SUMMARY.....	ix
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1 Objetivo general.....	2
2.2 Objetivos específicos.....	2
2.3 Hipótesis.....	2
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1 El berro.....	3
3.1.1 Origen y distribución del cultivo.....	3
3.1.2 Taxonomía.....	3
3.1.3 Descripción botánica.....	4
3.1.4 Enfermedades y plagas.....	5
3.1.4.1 Enfermedades.....	5
3.1.4.2 Plagas.....	5
3.1.5 Importancia del cultivo.....	6
3.1.5.1 Valor nutricional del berro.....	6
3.1.5.2 Propiedades y beneficios del berro.....	8
3.1.6 Requerimientos nutricionales del cultivo de berro.....	9
3.1.7 Variedades.....	10
3.1.8 Características agroecológicas del berro.....	11
3.2 Densidad de siembra.....	12
3.3 Ambiente Protegido.....	12
3.4 Hidroponía.....	12
3.4.1 Ventajas y desventajas.....	13

a) Ventajas	14
b) Desventajas.....	14
3.4.2 Componentes de los sistemas hidropónicos	14
3.4.2.1 Planta.....	15
3.4.2.2 Sustrato.....	16
3.4.2.3 Contenedor	17
3.4.2.4 Solución nutritiva	17
3.4.2.4.1 Soluciones nutritivas utilizadas en hidroponía	18
3.4.2.4.2 pH de la solución nutritiva	18
3.4.2.4.2.1 Efecto de pH en cultivos nutritivos	19
3.4.2.4.3 Conductividad Eléctrica (CE)	20
3.4.2.4.3.1 Conductividad eléctrica de la solución nutritiva	20
3.4.3 Sistema de producción hidropónica.....	23
3.4.3.1 Sistema hidropónicos con sustrato líquido.....	23
3.4.3.2 Sistema hidropónicos de raíz flotante.....	24
3.4.3.3 Técnica del cultivo con flujo laminar de nutrientes (NFT).....	24
3.4.3.4 Sistemas hidropónicos con sustrato sólido.....	24
3.5 Sistemas de riego en hidroponía.....	25
3.6 Manejo del cultivo	25
3.6.1 Siembra.....	25
3.7 Plagas y enfermedades en los cultivos hidropónicos	26
4. LOCALIZACIÓN.....	27
4.1 Ubicación geográfica	27
4.1.1 Suelo.....	28
4.1.2 Vegetación y pecuaria.....	28
4.2 Características de la Carpa Solar.....	28
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
5.1 Materiales	29
5.1.1 Material Vegetal	29
5.1.2 Material de campo	29
5.1.3 Material de construcción del sistema hidropónico re-circulante.....	29
5.1.4 Material químico	30

5.1.5	Material de laboratorio	30
5.1.6	Material de escritorio.....	30
5.2	Metodología	30
5.2.1	Procedimiento experimental	31
5.2.1.1	Instalación y acondicionamiento del sistema hidropónico	31
a)	Construcción de piscinas para raíz flotante	31
b)	Acondicionamiento de sistema de riego	31
5.2.1.2	Actividades de invernadero.....	32
5.2.1.2.1	Acondicionamiento del sustrato.....	32
5.2.1.2.2	Desinfección de sustrato.....	32
5.2.1.2.3	Siembra y riego	33
5.2.1.2.4	Preparación de la solución nutritiva.....	34
5.2.1.2.5	Control de pH.....	35
5.2.1.2.6	Control de Conductividad Eléctrica.....	36
5.2.1.2.7	Labores culturales.....	37
5.2.1.2.8	Cosecha.....	37
5.2.1.2.9	Tratamiento post-cosecha.....	38
5.3	Diseño Experimental	38
5.3.1	Modelo estadístico.....	39
5.3.2	Factores de Estudio.....	39
5.3.3	Tratamientos.....	39
5.3.4	Dimensiones del área experimental	40
5.4	Variables de respuesta	42
5.4.1	Variables climatológicas	42
a)	Temperatura ambiente	42
b)	Temperatura en ambiente controlado.....	42
c)	Humedad relativa en ambiente controlado	42
5.4.2	Variables agronómicas	42
a)	Porcentaje de emergencia	42
b)	Altura de planta.....	42
d)	Área foliar	43
e)	Diámetro de tallo	43

f)	Longitud de raíz.....	43
5.4.3	Variables de rendimiento	43
a)	Peso fresco	43
b)	Rendimiento.....	44
5.4.4	Variables económicas	44
a)	Relación beneficio/costo.....	44
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
6.1	Variables climatológicas	45
6.1.1	Temperatura ambiente	45
6.2	Variables de respuesta	49
6.2.1	Porcentaje de emergencia	49
6.2.2	Altura de planta.....	51
6.2.3	Número de hojas	55
6.2.4	Área foliar	58
6.2.5	Diámetro de tallo	62
6.2.6	Longitud de raíz.....	63
6.2.7	Días a la cosecha (fase comercial)	65
6.2.8	Peso promedio por planta.....	66
6.2.9	Rendimiento (kg/m ²)	71
6.2.10	Análisis económico	73
a)	Rendimiento ajustado.....	73
b)	Beneficio bruto.....	74
c)	Costos variables.....	75
d)	Costos fijos.....	¡Error! Marcador no definido.
e)	Costo total	76
f)	Beneficio neto	76
g)	Relación beneficio/costo.....	77
7.	CONCLUSIONES.....	78
8.	RECOMENDACIONES	80
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	81
10.	ANEXOS.....	89

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Valor nutricional del berro.....	7
Cuadro 2.	Formulación de nutrientes para berro.....	9
Cuadro 3.	Requerimiento en gramos para 1000 L de solución nutritiva.....	10
Cuadro 4.	Valores recomendados de CE y pH de soluciones nutritivas para algunos cultivos.....	20
Cuadro 5.	Conductividad eléctrica por cultivo.....	21
Cuadro 6.	Cantidades de ácidos y bases para ajustar el pH.....	22
Cuadro 7.	Requerimiento nutricional para el cultivo de berro (ppm).....	34
Cuadro 8.	Porcentaje de fertilizantes para 120 litros de agua.....	35
Cuadro 9.	Factores de estudio con sus respectivos niveles.....	39
Cuadro 10.	Tratamientos de estudio.....	40
Cuadro 11.	Análisis de varianza para la variable altura de planta (cm).....	52
Cuadro 12.	Prueba Duncan al 5% para el factor A (altura de planta).....	53
Cuadro 13.	Prueba Duncan al 5%, para el factor B altura de planta.....	54
Cuadro 14.	Análisis de varianza para el número de hojas por planta.....	56
Cuadro 15.	Prueba Duncan al 5% para el número de hojas por planta.....	57
Cuadro 16.	Análisis de varianza para la variable área foliar (cm ²).....	59
Cuadro 17.	Prueba Duncan al 5%, para el Factor A del área foliar.....	59
Cuadro 18.	Prueba Duncan al 5%, para el factor B para la variable área foliar	61
Cuadro 19.	Análisis de varianza para la variable diámetro de tallo (mm).....	62
Cuadro 20.	Análisis de varianza para la variable longitud de raíz (cm).....	63
Cuadro 21.	Prueba Duncan al 5%, para el factor A de la variable longitud de raíz.....	64
Cuadro 22.	Análisis de varianza para la variable peso promedio por planta (g)	66
Cuadro 23.	Prueba Duncan al 5%, para el factor A peso promedio por planta.	66
Cuadro 24.	Prueba Duncan al 5%, para el factor B peso promedio por planta.	67
Cuadro 25.	Prueba de efectos simples d la interacción de los factores A y B para peso/planta (g).....	68
Cuadro 26.	Análisis de varianza para el rendimiento (kg/m ²).....	71
Cuadro 27.	Prueba Duncan al 5% para el factor A, variable rendimiento kg/m ²	71
Cuadro 28.	Prueba Duncan al 5% para el factor B, rendimiento kg/m ²	73
Cuadro 29.	Rendimiento ajustado del producto comercial (kg/m ²).....	74
Cuadro 30.	Rendimiento bruto.....	75
Cuadro 31.	Costos variables por tratamiento (Bs/cosecha).....	75

Cuadro 32.	Costo total por tratamiento por ciclo comercial.....	76
Cuadro 33.	Beneficio neto por ciclo comercial.....	76
Cuadro 34.	Beneficio costo por ciclo comercial.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Componentes del sistema hidropónico.....	15
Figura 2.	Ubicación geográfica del trabajo de investigación.....	27
Figura 3.	Tubería perforada equidistantemente.....	31
Figura 4.	Pieza de espuma de poliuretano con perforaciones a 7 cm de distancia.....	33
Figura 5.	Material para desinfección de sustrato.....	33
Figura 6.	Siembra de <i>N. officinale</i> y <i>L. sativum</i>	33
Figura 7.	Cubierta de nylon sobre las semillas para asegurar la emergencia.	34
Figura 8.	Fertilizantes químicos para elaboración de solución nutritiva.....	35
Figura 9.	Evolución del pH de la solución nutritiva respecto al tiempo.....	36
Figura 10.	Cosecha por variedades.....	37
Figura 11.	Pesado de berro.....	38
Figura 12.	Croquis de la estructura hidropónica utilizada en la investigación...	41
Figura 13.	Variación de temperatura ambiente.....	45
Figura 14.	Variación de temperatura ambiente controlado.....	46
Figura 15.	Variaciones térmicas entre campo abierto y ambiente controlado	47
Figura 16.	Variación de humedad relativa en ambiente controlado.....	48
Figura 17.	Porcentaje de emergencia de berro V1 y V2.....	49
Figura 18.	Comportamiento de altura de planta de berro a través del tiempo..	51
Figura 19.	Incremento del número de hojas de berro a través del tiempo.....	55
Figura 20.	Número de hojas por planta de los 6 tratamientos.....	57
Figura 21.	Días transcurridos desde a la siembra hasta la cosecha de <i>N. officinale</i> y <i>L. sativum</i> , los valores representan la media \pm error de 5%.....	65
Figura 22.	Comparación de medias del peso por planta en la interacción de niveles de los factores A y B respecto a variedad.....	69
Figura 23.	Comparación de medias del peso por planta en la interacción de niveles de los factores A y B respecto a densidad.....	70

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Planta de berro de jardín (<i>Lepidium sativum</i>).....	86
Anexo 2.	Planta de berro de agua (<i>Nasturtium officinale</i>).....	87
Anexo 3.	Composición química del fertilizante Plant-Prod (15-15-30).....	88
Anexo 4.	Contenido nutricional de algunas Brassicaceae.....	88
Anexo 5.	Registro de datos.....	88
Anexo 5.1	Porcentaje de emergencia por tratamiento.....	88
Anexo 5.2	Altura de planta (cm)	89
Anexo 5.3	Número de hojas (u).....	89
Anexo 5.4	Diámetro de tallo (mm).....	89
Anexo 5.5	Longitud de raíz (cm).....	90
Anexo 5.6	Área foliar (cm ²).....	90
Anexo 5.7	Peso promedio por planta (g).....	90
Anexo 5.8	Peso promedio por unidad experimental (kg/0,24m ²).....	91
Anexo 5.9	Rendimiento (kg/m ²).....	91
Anexo 6.	Presupuesto para sistema hidropónico re-circulante.....	92
Anexo 7.	Cálculo de la depreciación.....	93
Anexo 8.	Análisis económico para una campaña.....	93
Anexo 9.	Costos variables (1 m ²).....	93
Anexo 9.1	Mano de obra.....	94
Anexo 10.	Beneficio Neto.....	94
Anexo 11.	Beneficio Costo.....	94

RESUMEN

La población mundial presenta un crecimiento exponencial año tras año en comparación a las tierras fértiles que cada vez se son menos extensas y el déficit de agua de buena calidad. La hidroponía es una alternativa al problema de escasez de tierras agrícolas y agua en nuestro medio, debido a que presenta rendimientos superiores por unidad de área cultivada y a su vez optimiza el agua para su producción en comparación de un cultivo en campo. Por otra parte, el berro es una hortaliza de hoja que contiene alto valor nutricional, cuyo consumo es limitado en nuestro medio debido a su baja difusión y propagación natural (que la hace proclive a ser portadora de parásitos). Por lo que, en el presente trabajo de tesis se evaluó bajo el diseño de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, teniendo como factores variedades de berro y densidades de siembra. Se estudió la influencia del cultivo hidropónico en la producción y rendimiento de berro; además del beneficio costo que presenta cada tratamiento en estudio. La solución nutritiva fue elaborada a partir de los requerimientos nutricionales del berro y sales disponibles. Asimismo, se brindó condiciones para el crecimiento de esta hortaliza mediante el control del pH y CE. Se verificó que producir a altas densidades permite obtener rendimientos elevados por unidad de superficie, este valor esta relacionado principalmente con la altura de planta y número de individuos por superficie, al estar las plantas tan cerca una de otra se crea una competitividad por luz resultando en una elongación; contrariamente, el producir a bajas densidades permite desarrollar mayor área foliar, número de hojas y en menor proporción altura de planta, reduciendo el rendimiento pero incrementando el peso por individuo.

Económicamente, la mayor utilidad 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.

SUMMARY

The world population presents an exponential growth year after year in comparison to the fertile lands that every time are less extensive and the deficit of water of good quality. Hydroponics is an alternative to the problem of shortage of agricultural land and water in our environment, because it has higher yields per unit of cultivated area and in turn optimizes water for its production compared to a field crop. On the other hand, cress is a leafy vegetable that contains high nutritional value, whose consumption is limited in our environment due to its low diffusion and natural propagation (which makes it prone to be a carrier of parasites). Therefore, in the present thesis work was evaluated under the design of random blocks with arrangement in divided plots, having as factors cress varieties and planting densities. The influence of hydroponics on the production and yield of watercress was studied; in addition to the cost benefit presented by each treatment under study. The nutrient solution was elaborated from the nutritional requirements of watercress and available salts. Likewise, conditions were provided for the growth of this vegetable by controlling the pH and CE. It was verified that producing at high densities allows to obtain high yields per unit of surface, this value is related mainly to the height of the plant and number of individuals per surface, as the plants are so close to each other, a competitiveness is created by light resulting in an elongation; conversely, the production at low densities allows to develop greater leaf area, number of leaves and in smaller proportion plant height, reducing the yield but increasing the weight per individual.

Economically, the greatest utility was registered with the T3 treatment (V1D3), due to the low variable cost and the good performance of *N. officinale*, showing to be the most profitable.

1. INTRODUCCIÓN

El berro es una planta herbácea perenne que crece en lugares donde abunda el agua pertenece al grupo de hortalizas de hoja y generalmente se la consume en ensaladas.

Los berros contienen muchas vitaminas, son especialmente ricos en vitamina A, en forma de betacarotenos, también contienen bastante vitamina C y cantidades menores de vitamina E. En cuanto a los minerales, los berros son ricos en calcio, fósforo y magnesio, ellos ayudan a mantener los huesos, los ligamentos, los músculos en buen estado. Además esta hortaliza contiene elevadas cantidades de potasio y una cantidad considerable de sodio (www. Botanical-online.com, 2015).

En Bolivia el berro se consume mayormente en época húmeda debido a su propagación natural. Sin embargo una parte de la población de este, es hospedero de la *Fasciola hepática*¹ que parasita y provoca lesiones físicas en el hígado, el contagio ocurre por ingestión de vegetales frescos y crudos en los que se han enquistado las metacercarias del parásito. Esto se debe a que el cultivo crece a orillas de riachuelos alimentados con aguas de dudosa calidad donde los animales domésticos están en constante contacto.

La población mundial presenta un crecimiento exponencial año tras año en comparación a las tierras fértiles que cada vez son menos extensas, el agua de buena calidad continua disminuyendo y cada vez más gente migra hacia las grandes ciudades.

La hidroponía responde como alternativa al problema de la escasez de tierras agrícolas y de agua en nuestro medio, considerando que sus principios científicos y técnicos la convierten en una tecnología operativamente sencilla, funcionalmente viable y fácilmente aplicable a la solución de problemas de producción de alimentos, ya que el rendimiento por unidad de área cultivada es superior en contraste a un cultivo en campo; característica que permite altas densidades de siembra.

¹ Es parásito de los canales biliares y la vesícula biliar de herbívoros y omnívoros, incluido el ser humano; es el agente causal de una de las parasitosis más difundidas del ganado, la fascioliasis, que es considerada como una de las enfermedades parasitarias más importantes del mundo de los rumiantes domésticos.

Por tal motivo en el presente trabajo de investigación se estudió el cultivo sin suelo; ya que la agricultura tradicional no logra resolver el problema alimentario, necesiéndose incorporar y usar métodos no convencionales para producir alimentos sanos y libres de parásitos, que contribuyan a la salud de la población, tales como los cultivos hidropónicos altamente potenciales para zonas cuyos suelos son degradados, debido a que no dependen directamente de las condiciones físicas y químicas del suelo.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar el comportamiento agronómico de dos variedades de berro (*Nasturtium officinale* R. Br. y *Lepidium sativum*) en cultivo sin suelo en el centro Experimental de Cota – Cota.

2.2 Objetivos específicos

- Evaluar el comportamiento agronómico de dos variedades de berro en cultivo hidropónico
- Determinar el rendimiento de cada una de las variedades de berro en cultivo hidropónico.
- Comparar el rendimiento entre las diferentes densidades estudiadas.
- Determinar la relación beneficio/costo de los tratamientos propuestos.

2.3 Hipótesis

Ho: El comportamiento agronómico de dos variedades de berro (*Nasturtium officinale* R. Br. y *Lepidium sativum*) en cultivo sin suelo no influye en la producción y rendimiento de esta hortaliza.

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 la Enciclopedia Wikipedia (2017) el berro presenta la siguiente descripción taxonómica:

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

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

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

Reino	:	Plantae
División	:	Magnoliophyta
Clase	:	Magnoliopsida
Orden	:	Brassicales
Familia	:	Brassicaceae
Género	:	<i>Nasturtium</i>
Especie	:	<i>N. officinale</i>

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 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 semi-acuática, 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, vi-pinnadas, 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.

- Las hojas son de color verde oscuras brillantes, un poco carnosas, pinnadas con 1 o 6 pares de folíolos redondeados, enteros o sinuados, con folíolo terminal individual más grande que los demás. Las inferiores pecioladas, las superiores sésiles.
- 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 hectárea 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.

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.

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.

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
Energía	11 kcal
Proteínas	2,300 g
Grasa total	0,100 g
Fibra dietética	0,500 g
Acido Pantoténico	0,310 mg
Piridoxina	0,129 mg
Vitamina A	160 µg
Vitamina C	43 mg
Vitamina E	1,00 mg
Vitamina K	250,00 µg
Calcio	120,00 mg
Cobre	0,077 mg
Manganeso	0,244 mg
Fósforo	60,00 mg
beta-caroteno	1914 µg
Luteína-zeaxantina	5767 µg

Fuente: Enciclopedia Wikipedia (2017)

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

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

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 100 g frescos proveen sobre el 200% de las necesidades diarias recomendadas. La vitamina K tiene un rol potencial en la salud de los huesos promoviendo la actividad osteotrófica a (formación de huesos y fortalecimiento). Cantidades apropiadas de 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.

Asimismo Botanical-online (2017), menciona las contraindicaciones que presenta el consumo excesivo de esta hortaliza ya que puede irritar las vías urinarias y el estómago. Debido a que como todas las crucíferas, el berro contiene sustancias irritantes llamadas glucosinolatos⁸. Estos componentes son los mismos que provocan el sabor picante de la mostaza, de la col o de la rúcula.

3.1.5.2 Propiedades y beneficios 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).

⁷ Inflamación de los senos del cráneo situados en la frente sobre los lados de la nariz, que es debida a una infección de las fosas nasales o de los alvéolos dentarios; suele producir obstrucción nasal y dolor de cabeza.

⁸ Los glucosinolatos son moléculas que están presentes en ciertas crucíferas (coliflor, brócoli, col, etc.) y en los berros. Los glucosinolatos poseen propiedades antibacterianas, antifúngicas, antioxidantes pero también anticancerígenas (podrían limitar el riesgo de cáncer de colon y de pulmón). Sin embargo a dosis altas los glucosinolatos pueden volverse tóxicos.

- Problemas digestivos
- Problemas de anemia y bocio
- 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 frente a los radicales libres y la aparición del cáncer, a la vez que se reducen las probabilidades 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 la cuadro 3, se mencionan los fertilizantes para preparar 1000 litros de solución nutritiva según los requerimientos de cada cultivo.

Cuadro 3. Requerimiento en gramos para 1000 L de solución nutritiva

Soluciones	Fertilizantes	Requerimiento (g)
Solución "A"	Nitrato de Potasio	46,61
	Nitrato de Calcio	926,32
Solución "B"	Plant Prod Canada	763,72
	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

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, cuando todavía no ha terminado de desarrollarse, pero este fenómeno se da en condiciones de humedad apropiadas.

Según Wikipedia (2017) el berro de jardín (*Lepidium sativum* L), comúnmente llamado mastuerzo pertenece a la familia Brassicaceae, consta de 350 géneros y más de 3000 especies (Anexo 1).

b) Berro de fuente o de agua

Crece dentro del agua. Son los más nutritivos, con hojas grandes de color oscuro, es una de las mejores 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) y Wikipedia (2017) señalan que el berro de agua (*Nasturtium officinale*) pertenece a la familia Brassicaceae, consta de 350 géneros y más de 3000 especies (Anexo 2).

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 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 °C y la humedad relativa 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 período de prendimiento a la primera 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 esquejes⁹ de tamaño de 10 – 20 cm, de largo, se plantan 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 cosecha; controlar riego, radiación y humedad. Los ambientes protegidos son 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 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

⁹ Tallo, rama o retoño de una planta que se injerta en otra o se introduce en la tierra para reproducir la planta.

suministro adecuado de todos sus requerimientos nutricionales a través del agua o solución nutritiva”.

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

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

Resh (1997), menciona en cuanto a la salud y alimentación, este sistema es importante porque la hidroponía provee de alimentos frescos de alto valor nutritivo (vitaminas, proteína, fibra y minerales), siendo mejor la calidad del producto, ante la menor presencia de plagas y enfermedades y por lo tanto de contaminación de productos tóxicos por el menor uso de pesticidas¹⁰ contribuyendo así en la conservación del medio ambiente.

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

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:

¹⁰ Cualquier sustancia dirigida a destruir, prevenir, repeler o mitigar alguna plaga. El término pesticida se utiliza para designar compuestos que sean herbicida, fungicida, insecticida utilizadas para controlar plagas.

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 empleado 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, por tanto se tiene mayor rendimiento en comparación con los sistemas de producción en suelo.
- Ausencia de malezas.
- Ausencia de plagas y enfermedades en la raíz, al menos inicialmente.

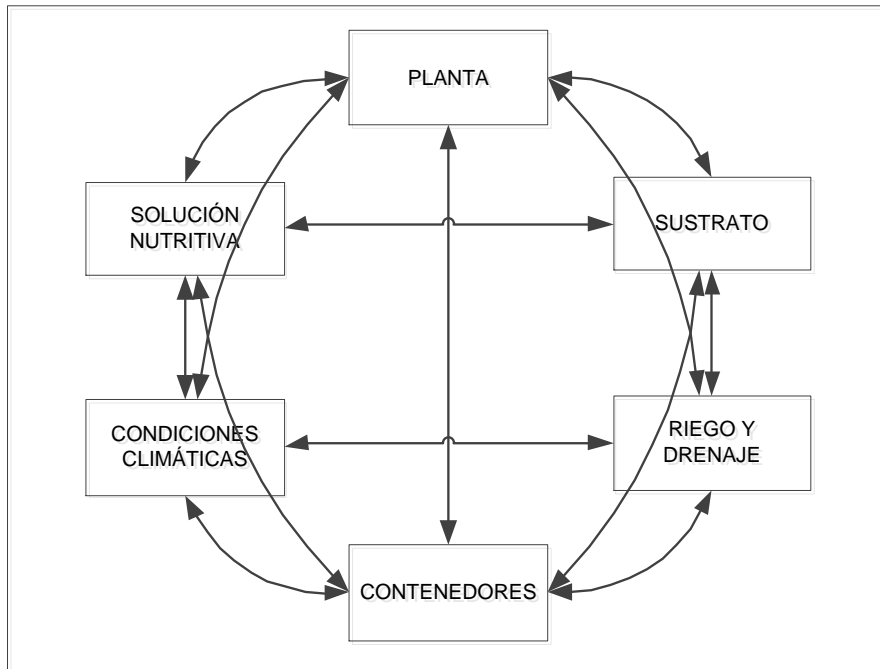
b) Desventajas

- El costo inicial elevado por concepto de infraestructura e instalaciones que integran el sistema.
- Se requiere mano de obra calificada para las diferentes etapas en el proceso de producción.
- Problemas fitosanitarios por el uso de agua de riego de mala calidad.
- Contaminación 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.

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 comercial, las cuales se aprovechan por sus usos alimenticios u ornamentales, 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 Sustrato

Sustrato son materiales distintos al suelo que permite la germinación y el anclaje de las raíces de la planta. Los sustratos se clasifican por su origen en:

Sustratos orgánicos

- Naturales: Sujetos a descomposición biológica, peat-moss¹¹ y turbas.
- Subproductos y residuos de actividades agrícolas, industriales y urbanas: fibra de coco, aserrín, cortezas, virutas¹² de madera, cascarilla de arroz, entre otros.

Sustratos inorgánicos

- Naturales: Que se obtienen a partir de rocas o minerales de origen diverso y no requieren un proceso de transformación, como la arena de río, arena de minas, arena de mar, gravas y piedra.

Propiedades físicas, las propiedades físicas de los sustratos son las más importantes porque deben reproducir las condiciones óptimas para el desarrollo de las plantas. Es importante conocerlas ya que una vez que la planta esté creciendo en él, es muy difícil modificar las características básicas de dicho medio:

- Porosidad total: Es el volumen total del sustrato no ocupado por la fracción sólida, el nivel óptimo se sitúa por encima de un 85%.
- Capacidad de aireación: Es la proporción de volumen del sustrato que contiene aire después de que ha sido saturado con agua y su posterior drenaje, usualmente a 10 cm de tensión.

¹¹ Un musgo absorbente grande que crece en densas masas en terreno pantanoso, donde las partes inferiores se descomponen lentamente para formar depósitos de turba. El musgo de turba es ampliamente utilizado en horticultura, especialmente para plantas de embalaje y (como turba) para compost.

¹² La viruta es un fragmento de material residual con forma de lámina curvada o espiral que se extrae mediante un cepillo u otras herramientas.

- Agua fácilmente disponible: Es el volumen de agua que libera el sustrato al aumentar la tensión de 10 a 50 cm de columna de agua de potencial matricial y se considera que en estas condiciones hídricas la planta tiene un crecimiento óptimo.
- Distribución del tamaño de las partículas: Los sustratos pueden estar constituidos por partículas de un solo tamaño o por una mezcla de tamaños distintos. Pueden ser granulares.
- Densidad aparente: Se define como la materia seca en gramos contenida en un cm³ de sustrato. Los sustratos con valores bajos de densidad aparente son fáciles de manipular.

Propiedades químicas, en un sustrato se busca la inactividad química. Se desean que sean estables químicamente, que presenten una baja o nula salinidad y un pH neutro o ligeramente ácido.

El sustrato ideal es un material inerte y estéril, el cual debe proporcionar a la planta un balance adecuado de agua y oxígeno ideal para su mejor crecimiento. Un buen sustrato debe tener porosidad alta, buena capacidad de retención de agua fácilmente disponible, drenaje rápido, buena aireación, baja densidad aparente y estabilidad.

3.4.2.3 Contenedor

Es el que contiene al sustrato y/o solución nutritiva, y por lo tanto, alberga las raíces. Estos deben ser fabricados de materiales inertes que no liberen sustancias tóxicas o que reaccionen con la solución nutritiva, prefiriéndose así los de plástico, PVC. Las formas dependen principalmente del sistema hidropónico elegido, destacándose las bolsas y sacos de plástico, macetas, tubos, canaletas, tinas o camas de cultivo construido a medida.

3.4.2.4 Solución nutritiva

Rodríguez *et al*, (2002) indican 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 un cultivo en particular y que las concentraciones de nutrientes a suministrar a los mismos dependen directamente de la etapa de desarrollo en que se encuentre la parte de la planta a cosechar, la calidad del agua, o de las condiciones climáticas en determinada etapa; existe otra corriente con autores que han elaborado soluciones propias (direccionadas a cultivos específicos y otras especialmente hacia las diferentes técnicas hidropónicas). Es posible encontrar soluciones nutritivas ya preparadas, con diferentes niveles de sales minerales (Guzmán, 2004).

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

Para Alpi *et al.* (2011) citado por Lacarra y García (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 micronutrientes: hierro, cobre, zinc, manganeso, boro, molibdeno y cloro. El mismo autor indica que la cantidad de nutrientes que 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 4, se muestra los valores recomendados de conductividad eléctrica y pH de soluciones nutritivas para algunos cultivos.

Cuadro 4. 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
Brocoli	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 5, 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 5. 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
Maiz	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 6, se muestra las cantidades de ácidos y bases para ajustar el pH.

Cuadro 6. Cantidades de ácidos y bases para ajustar el pH

Compuestos	Peso molecular (g/mol)	Cantidad / litro	C (N)
KOH	56,09	56,09 g	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 hidropónicos 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 hidropónicos 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 estereofón¹³, a las que se les perforan agujeros, en donde se asienta la planta y luego se pone a flotar sobre la solución nutritiva, la cual debe ser aireada periódicamente para brindarle oxígeno a las raíces (Guzmán, 2004).

En este tipo de sistema 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 lugares, con fines comerciales y su funcionamiento básico sigue vigente hasta la actualidad.

A nivel comercial se realizaron una serie de mejoras fundamentales relacionadas principalmente 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 consiste en el crecimiento de las plantas, teniendo su sistema radicular dentro de una 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

¹³ El estereofón o poliestireno expandido es un material plástico espumado, derivado de poliestireno y utilizado en el sector del envase y la construcción. Conocido en Bolivia como plastoformo.

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

Los sistemas hidropónicos son versátiles, debido a lo práctico que resultan 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, el 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 ocurriría en un cultivo tradicional en suelo.

Sandoval (2004) indica también que las condiciones de alta humedad existentes en este tipo de producción (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 otoño – invierno 2014, a $16^{\circ}32'04''$ de latitud sur, $68^{\circ}03'44''$ de longitud oeste del Meridiano de Greenwich y 3445 msnm (IGM, 2010).

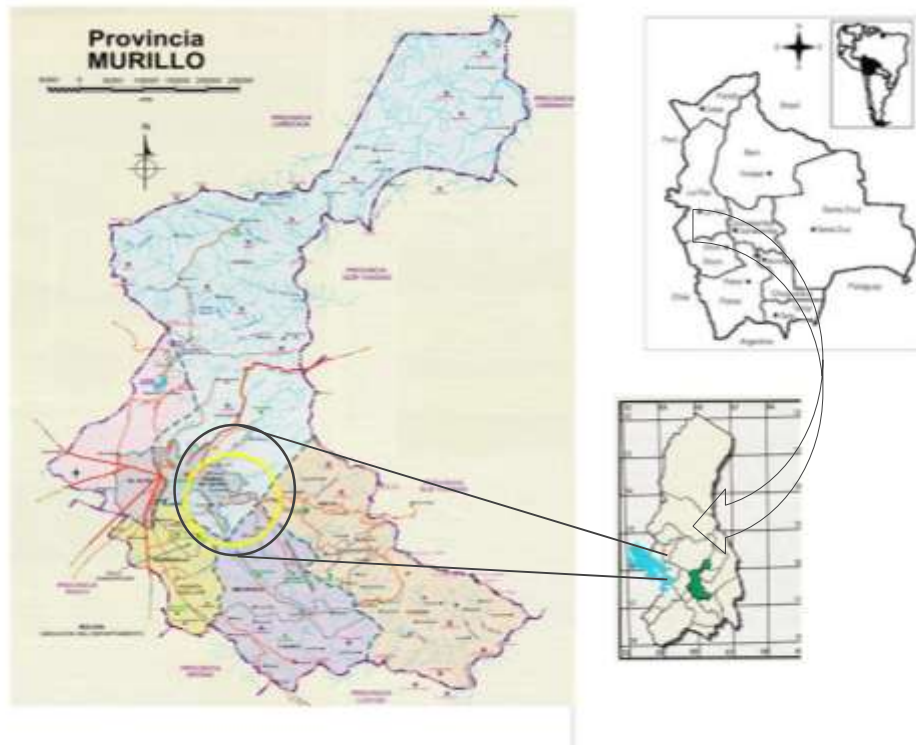


Figura 2. Ubicación geográfica del trabajo de investigación

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 $13,5^{\circ}\text{C}$, 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).

4.1.1 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 franco-arenosa. 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.

4.1.2 Vegetación y pecuaria

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 y patos), porcinos, cuyes y conejos.

4.2 Características de la Carpa Solar

La carpa solar donde se realizó la investigación es de dos aguas, su estructura es de madera, en la parte frontal y trasera presenta ventanas cubiertas por malla semisombra que regulan la temperatura y humedad relativa dentro el ambiente. La carpa está cubierta por agofilm de color amarillo. Las dimensiones del ambiente son 6 x 12 m con una superficie total de 72 metros cuadrados.

La principal función de esta carpa es la de producir forraje verde hidropónico de distintas variedades de cebada y avena principalmente.

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 “Rocalba¹⁴” (Girona, España).

- **Berro de agua mejorado** (*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 campo

El material de campo que se utilizó para la limpieza e implementación del sistema NFT¹⁵ fueron los siguientes: picota, pala, rastrillo, estacas, martillo, nivel de burbuja. Se utilizaron letreros de identificación y marbetes para delimitar la parcela experimental e identificar las muestras, cámara fotográfica, libreta de campo, vernier digital marca TRUPER (99,00 ± 0,01) milímetros.

5.1.3 Material de construcción del sistema hidropónico re-circulante

Los materiales que se utilizaron para la construcción del sistema hidropónico donde se realizó la presente investigación fueron los siguientes:

Madera, agrofilm, sumideros, clavos, soporte en L, tornillos, politubo flex, accesorios para direccionar el sistema de riego re-circulante, cuerdas de plástico, teflón, llave de paso, bomba de agua, tanque de 450 litros de capacidad.

¹⁴ Rocalba, SA empresa de origen español dedicada a la selección, producción y comercialización de semillas forrajeras y pratenses, maíces, céspedes, hortícolas, bulbos y semillas de flores, así como los rosales, frutales, arbustos frutales y ornamentales, patatas de siembra, etc.

¹⁵ 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.

5.1.4 Material químico

Entre el material químico que se utilizó para la producción de berro hidropónico fue Plant Prod Canada (15-15-30), nitrato de calcio, nitrato de potasio, nitrato de amonio y sulfato de magnesio.

5.1.5 Material de laboratorio

Los materiales que se manipularon para cuantificar la variación del ambiente dentro la carpa solar fueron un termómetro (de máximas y mínimas) e Higrómetro. 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 SF-400C (300,00 ± 0,01) g, flexómetro (5 m) y regla milimétrica (30 cm).

5.1.6 Material de escritorio

Se empleó el programa Adobe Photoshop CC versión 2013 para el cálculo de área foliar. Además del programa Excel para el análisis estadístico de los datos registrados de cada variable de respuesta propuesto, para el cálculo de Análisis de Varianza y su prueba de significancia. Cámara fotográfica, CD, cuaderno de campo, planillas de registro y paquete Office.

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 Procedimiento experimental

5.2.1.1 Instalación y acondicionamiento del sistema hidropónico

El área experimental ocupó una superficie de 12,48 m², las dimensiones fueron de 4,8 x 2,6 m, se delimitó el área con cinta plástica.

a) Construcción de piscinas para raíz flotante

Cada una de las piscinas se construyó con dimensiones de 1,95 x 1,25 m con una superficie total de 2,44 metros cuadrados.

Para la elaboración de las piscinas se fabricó marcos de madera que se aseguró en las esquinas con tornillos, estos marcos fueron forrados con agrofilm, desde el interior hacia afuera, formando un reservorio, instalando un desagüe en la parte inferior de cada piscina.

b) Acondicionamiento de sistema de riego

Se instaló el sistema de riego donde el principal componente, politubo flex de longitud igual a 10,65 m, se direccionó desde el tanque (350 L¹⁶) hasta las piscinas, de tal forma que cada una de ellas esté con riego constante. Para que el caudal sea homogéneo, en cada una de las piscinas, la tubería fue perforada equidistantemente en 14 puntos a una distancia de 0,10 m entre ellos como se muestra en la figura 3.



Figura 3. Tubería perforada equidistantemente

¹⁶ El símbolo original es “l”, debido a que los símbolos de las unidades se escriben en minúscula (excepto aquellas que provienen de nombre propio). No obstante, en el año 1979 se adoptó el símbolo alternativo “L” para disminuir el riesgo de confusión entre la letra l y el número 1 en ciertas tipografías.

5.2.1.2 Actividades de invernadero

5.2.1.2.1 Acondicionamiento del sustrato

Para la siembra se utilizaron 18 piezas de espuma de poliuretano cuyas dimensiones son de 0,6 x 0,4 m cada una, distribuidas en las tres piscinas; en la figura 4 se observa como la espuma fue perforada con la ayuda de una pinza, las perforaciones fueron leves, a distancia de 13, 10 y 7 cm en marco real para cada pieza de espuma en sus tres repeticiones.



Figura 4. Pieza de espuma de poliuretano con perforaciones a 7 cm de distancia

5.2.1.2.2 Desinfección de sustrato

Los materiales para la desinfección se observan en la figura 5. 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.



Figura 5. Material para desinfección de sustrato

5.2.1.2.3 Siembra y riego

La siembra de dos variedades de berro: *N. officinale* y *L. sativum*, se realizó el 7 de abril de 2014, como se aprecia en la figura 6, en las piscinas sobre la espuma porosa de poliuretano desinfectada, las semillas se situaron a tres densidades de siembra: densidad 1 igual a 13 x 13 cm, densidad 2 igual a 10 x 10 cm y densidad 3 igual a 7 x 7 cm todas en marco real. En cada punto se sembraron 2 semillas, con el fin de asegurar la emergencia, para un posterior raleo de plántulas.



Figura 6. Siembra de *N. officinale* y *L. sativum*

La figura 7 muestra cómo se cubrió toda el área experimental con nylon negro, con el fin de mantener la humedad y así favorecer la emergencia.



Figura 7. Cubierta de nylon sobre las semillas para asegurar la emergencia

El riego se realizó con ayuda de una regadera de la siguiente manera: A partir del día de siembra se regó con agua potable, durante los primeros 10 días, las cuales emergieron en un 95% de su totalidad. Posteriormente, a partir del día 11 hasta la cosecha se regó con solución nutritiva.

5.2.1.2.4 Preparación de la solución nutritiva

Teniendo las dimensiones de cada una de las piscinas: 1,20 m de ancho y 1,95 m de largo, se calculó la cantidad de agua necesaria para cubrir el riego durante siete días, siendo un total de 120 litros de agua.

La solución nutritiva se elaboró de acuerdo al requerimiento nutricional para el cultivo de berro detallado en el cuadro 7.

Cuadro 7. 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	0,30	0,10	0,07	0,03

Fuente: Rodríguez (1996)

De acuerdo al volumen calculado para la solución nutritiva y concentración de fertilizantes comerciales, en el cuadro 8 se detalla el porcentaje utilizado para 120 L de agua.

Cuadro 8. Porcentaje de fertilizantes para 120 litros de agua

Fertilizantes	Porcentaje (%)
Plant Prod Canada (15-15-30)	31,00
Ca (NO ₃) ₂	38,00
Mg SO ₄	14,00
KNO ₃	3,00
(NH ₄)NO ₃	14,00

En la figura 8 se aprecia los fertilizantes químicos que se utilizaron para la elaboración de solución nutritiva en el presente estudio.



Figura 8. Fertilizantes químicos para elaboración de solución nutritiva

5.2.1.2.5 Control de pH

El control de pH se registró diariamente por la mañana y por la tarde, con la ayuda del pH-metro. En la figura 9 se aprecia las lecturas de pH promedio de la solución nutritiva.

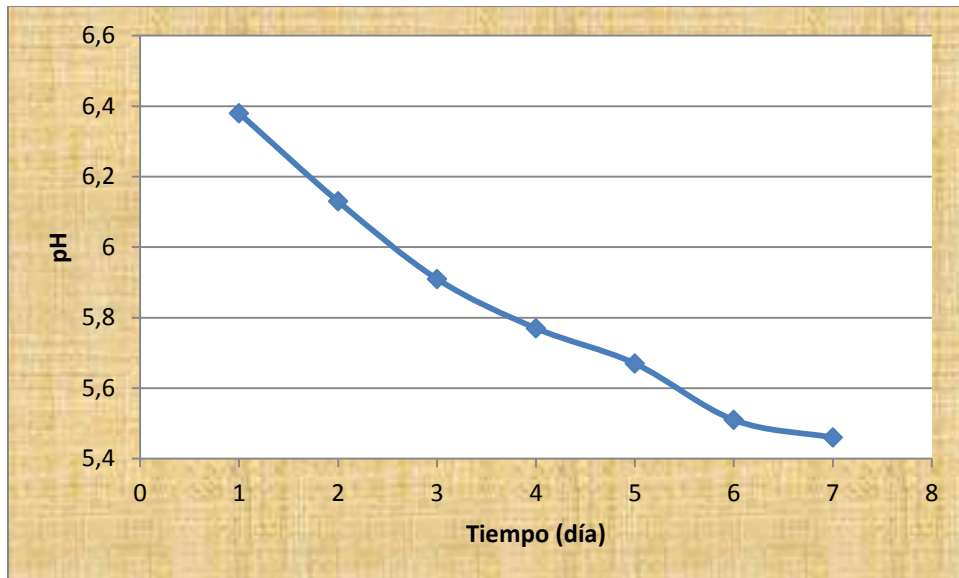


Figura 9. Evolución del pH de la solución nutritiva respecto al tiempo

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 5,46, acidificando la solución. En consecuencia los nutrientes están menos disponibles para las plantas. El descenso del 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 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 pHs comprendidos entre 5 y 7. En el presente estudio el pH inicial después de preparar la solución nutritiva en el tanque fue de 6,38 resultado que se encuentra dentro de los parámetros descritos.

5.2.1.2.6 Control de 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 la 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 Labores culturales

Entre las labores culturales realizadas durante la investigación; proceso de siembra, crecimiento, hasta la cosecha fueron revisiones periódicas cada siete días, hoja por hoja, en las cuales no se manifestaron plagas ni enfermedades; por lo que no fue necesario utilizar método alguno para el control de plagas y enfermedades, debido a la ausencia del mismo.

5.2.1.2.8 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 que pasada esta etapa, la planta tiende a ser amarga y muy picante haciendo su consumo más difícil. En la figura 10 se observa la cosecha de la variedad *L. sativum* que alcanzó en menor tiempo la etapa de madurez comercial a diferencia de la variedad *N. officinale*.



Figura 10. Cosecha por variedades

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.

5.2.1.2.9 Tratamiento post-cosecha

El tratamiento post-cosecha que se realizó una vez cosechados los berros para su posterior venta, consistió en descartar las hojas amarillas, seguidamente se las embolso con un peso promedio de (155 ± 5) g como se muestra en la figura 11.



Figura 11. Pesado de berro

El producto final, se comercializó principalmente en el mercado popular de Achumani.

5.3 Diseño Experimental

El presente trabajo de investigación se realizó bajo el Diseño Experimental de Bloques al azar con arreglo en Parcelas Divididas con tres repeticiones (Ochoa, 2009). Donde los niveles del factor "A" fueron las dos variedades de berro (Mejorado y Jardín) y los niveles del factor "B" las tres densidades de siembra.

5.3.1 Modelo estadístico

Para el diseño Bi-factorial de parcelas divididas se ha empleado el siguiente modelo lineal para el modelo estadístico.

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + \alpha_i + e_{ik} + \gamma_j + \alpha\gamma_{ij} + e_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk}	=	Una observación cualquiera
μ	=	Media poblacional
β_k	=	Efecto del k-ésimo bloque
α_i	=	Efecto del i-ésimo nivel del factor A (Variedad)
e_{ik}	=	Error experimental de la parcela mayor (Ea)
γ_j	=	Efecto del j-ésimo nivel del factor B (Densidad)
$\alpha\gamma_{ij}$	=	Efecto de interacción de A y B (Var y Dens)
e_{ijk}	=	Error experimental de la parcela menor (Eb)

5.3.2 Factores de Estudio

Se plantearon los factores de estudio en base a los objetivos trazados, es decir, dos variedades de berro y tres densidades de siembra. Los factores de estudios se muestran en el cuadro 9.

Cuadro 9. Factores de estudio con sus respectivos niveles

Factores	Niveles
Factor A Variedades	V1 = <i>Nasturtium officinale</i>
	V2 = <i>Lepidium sativum</i>
Factor B Densidades de siembra	D1 = (13 x 13) cm planta/surco = 21 plantas
	D2 = (10 x 10) cm planta/surco = 36 plantas
	D3 = (7 x 7) cm planta/surco = 72 plantas

5.3.3 Tratamientos

El factor "A" en sus dos niveles, fueron dispuestos en las parcelas mayores y el factor "B" en sus tres niveles, en las parcelas menores. Los tratamientos resultaron de la combinación de los factores de estudio, es decir; variedades y densidad de siembra como se presenta en el cuadro 10.

Cuadro 10. Tratamientos de estudio

Parcela mayor	Parcela menor	Interacción	Tratamientos
Variedades de berro	Densidades	A x B	
<i>Nasturtium officinale</i>	13 x 13	<i>N. officinale</i> (13 x 13) planta/surco	T1
	10 x 10	<i>N. officinale</i> (10 x 10) planta/surco	T2
	7 x 7	<i>N. officinale</i> (7 x 7) planta/surco	T3
<i>Lepidium sativum</i>	13 x 13	<i>L. sativum</i> (13 x 13) planta/surco	T4
	10 x 10	<i>L. sativum</i> (10 x 10) planta/surco	T5
	7 x 7	<i>L. sativum</i> (7 x 7) planta/surco	T6

Los tratamientos fueron obtenidos en base a la interacción de los dos factores, “variedades de berro” y “densidades”. De esta manera se determinó los tratamientos que a continuación se detallan.

Tratamiento 1	=	V1D1	=	berro de agua x (13 x 13) planta/surco
Tratamiento 2	=	V1D2	=	berro de agua x (10 x 10) planta/surco
Tratamiento 3	=	V1D3	=	berro de agua x (7 x 7) planta/surco
Tratamiento 4	=	V2D1	=	berro de jardín x (13 x 13) planta/surco
Tratamiento 5	=	V2D2	=	berro de jardín x (10 x 10) planta/surco
Tratamiento 6	=	V2D3	=	berro de jardín x (7 x 7) planta/surco

5.3.4 Dimensiones del área experimental

En la figura 12 se detalla las dimensiones de la estructura hidropónica, la disposición de los tratamientos y el sistema de circulación de los nutrientes utilizados en la presente investigación.

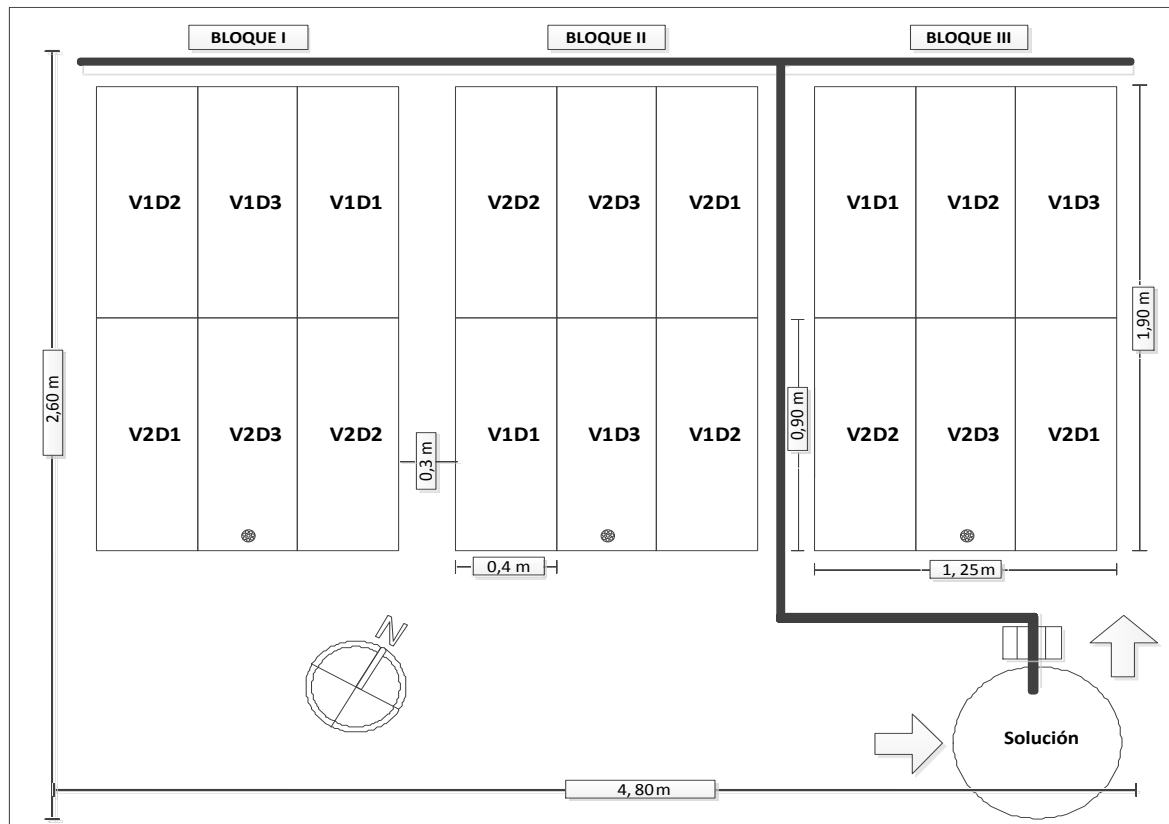


Figura 12. Croquis de la estructura hidropónica utilizada en la investigación

Las dimensiones de la estructura hidropónica presentadas en la figura 12, se detallan a continuación:

Área total del campo experimental	13,92 m ²
Ancho del campo experimental	2,60 m
Largo del campo experimental	4,80 m
Área ocupada por el tanque	1,44 m ²
Área de la piscina experimental	2,37 m ²
Ancho de la piscina experimental	1,25 m
Largo de la piscina experimental	1,90 m
Área de cada parcela experimental	1,08 m ²
Ancho de cada parcela experimental	1,20 m
Largo de cada parcela experimental	0,90 m
Número de parcelas experimentales	6,00 u
Área de la unidad experimental	0,36 m ²

Ancho de la unidad experimental	0,40 m
Largo de unidad experimental	0,90 m
Número de unidades experimentales por piscina	6,00 u
Número total de unidades experimentales	18,00 u
Distancia de pasillo entre parcela experimental y piscina vecina	0,30 m

5.4 Variables de respuesta

5.4.1 Variables climatológicas

a) Temperatura ambiente

Se realizó un seguimiento de las temperaturas diarias máximas, mínimas y medias de la ciudad de La Paz (zona sur).

b) 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.

c) 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

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

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

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) Diámetro de tallo

En el momento de la cosecha se realizó la medición del diámetro del tallo. Se midió la parte del cuello con la ayuda del vernier digital.

f) Longitud de raíz

Para medir esta variable se utilizó la regla metálica, desde el cuello de la planta hasta el ápice radicular de cada planta muestra.

g) Días a la cosecha (fase comercial)

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

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

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.

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

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 primeros tres meses de la gestión 2014 (enero - marzo). La segunda etapa, evaluación agronómica del berro, inicio a partir del mes de abril hasta el 6 de junio de 2014. Tiempo en el cual se obtuvieron los resultados que se presentan a continuación, de acuerdo a las variables de respuesta planteadas.

6.1 Variables climatológicas

6.1.1 Temperatura ambiente

En la figura 13, se aprecia la variación de temperatura ambiente durante el periodo en el cual se desarrolló el trabajo de campo, en la ciudad de La Paz (zona sur), lugar donde se encuentra ubicado el Centro Experimental de Cota Cota.

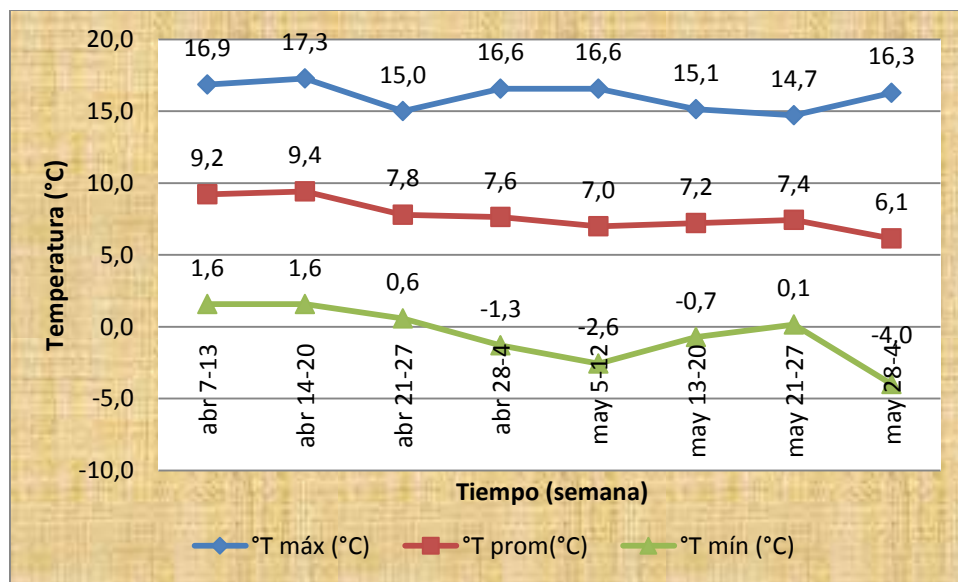


Figura 13. Variación de temperatura ambiente

Se verifica en la figura 13, que en el ambiente a campo abierto existió un notorio descenso de temperatura mínima promedio en la última semana y mes de evaluación debido a la interface de estaciones de otoño a invierno.

6.1.2 Temperatura en ambiente controlado

El comportamiento de la temperatura en ambiente controlado durante el tiempo de investigación comprendida entre los meses de abril hasta junio de la gestión 2014 se observa en la figura 14; evidenciando una disminución gradual del descenso de temperatura, propio al cambio de estación (otoño - invierno). Donde se registró el promedio de temperatura máxima igual a 37,2 °C en el mes de abril y promedio de temperatura mínima igual a 0,8 °C en el mes de junio.

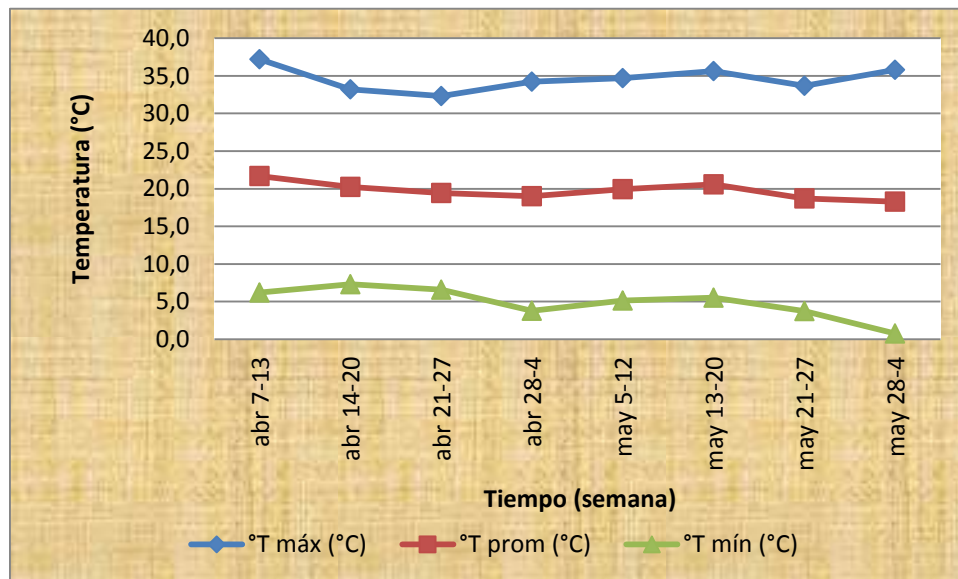


Figura 14. Variación de temperatura en ambiente controlado

Colodro (2013), menciona en su investigación, que el berro se desarrolla adecuadamente en ambiente atemperado en un rango de temperatura entre 4,6 °C y 39,4 °C. De esta manera se evidencia que la temperatura máxima promedio registrado en el presente estudio igual a 37,2 °C se encuentra dentro el rango mencionado para este cultivo. Asimismo la presente investigación afirma, que el berro tolera un descenso de temperatura de hasta 0,8 °C sin producir un cambio en su estructura fisiológica.

Maroto (1995), indica que el berro se ve afectado por bajas temperaturas, afirmando que la temperatura óptima para el crecimiento de esta especie oscila en el rango de 5 °C a 37 °C dentro de un área atemperada. En comparación al presente estudio, la

temperatura dentro del ambiente atemperado fue menor al promedio mencionado por este autor, evidenciándose el normal desarrollo fisiológico de este cultivo durante la fase de crecimiento.

Asimismo se realizó la comparación entre el comportamiento de temperatura obtenido en campo abierto y dentro el ambiente controlado. Las variaciones térmicas se presentan en la figura 15.

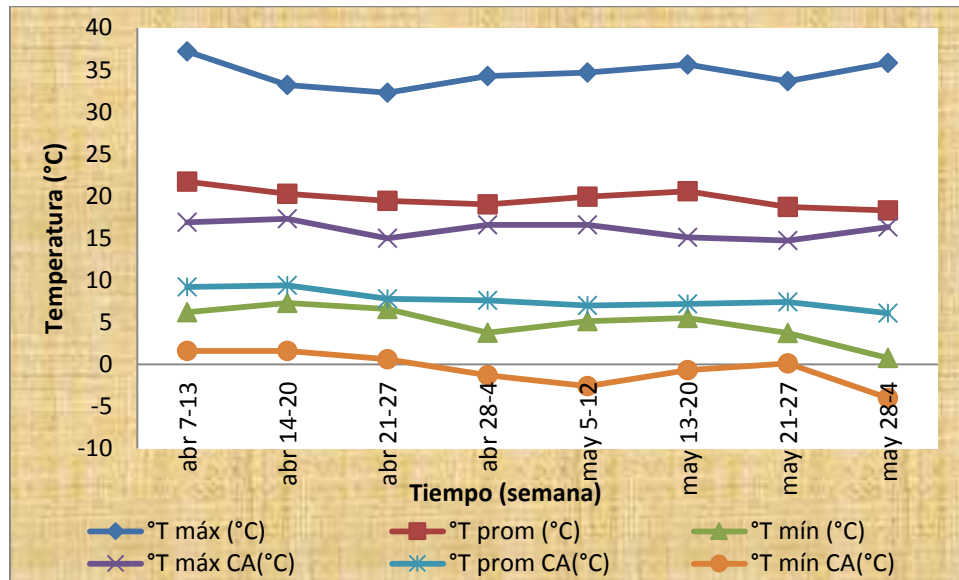


Figura 15. Variaciones térmicas entre campo abierto y ambiente controlado

La tendencia que tuvo la temperatura en campo abierto y ambiente controlado durante la etapa de evaluación se aprecia en la figura 15. Los resultados muestran que la temperatura mínima fue atenuada dentro del ambiente controlado, con un valor en promedio igual a 5,5 °C, en comparación a campo abierto donde se registró valores negativos. Por otro lado, la temperatura máxima dentro del ambiente controlado fue mayor, con una diferencia en promedio de 18,5 °C respecto a la temperatura en campo abierto. La temperatura dentro del ambiente controlado fue ideal para el cultivo del berro, mismo que no presentó necrosis (muerte celular), debido a que la temperatura mínima no alcanzó valores negativos ni descendió bruscamente. Asimismo, la temperatura máxima fue controlada (ventilada) brindando al berro un ambiente adecuado para su normal crecimiento.

6.1.3 Comportamiento de la Humedad relativa en ambiente controlado

El comportamiento de la humedad relativa en ambiente controlado durante el tiempo de investigación comprendida entre los meses de abril hasta junio de la gestión 2014 se observa en la figura 16; evidenciando descenso en el registro de humedad relativa máxima propio al cambio de estación (otoño - invierno). Donde se registró promedio de HR máxima igual a 85,0 °C en el mes de abril y promedio de HR mínima igual a 20,0 °C en el mes de junio.

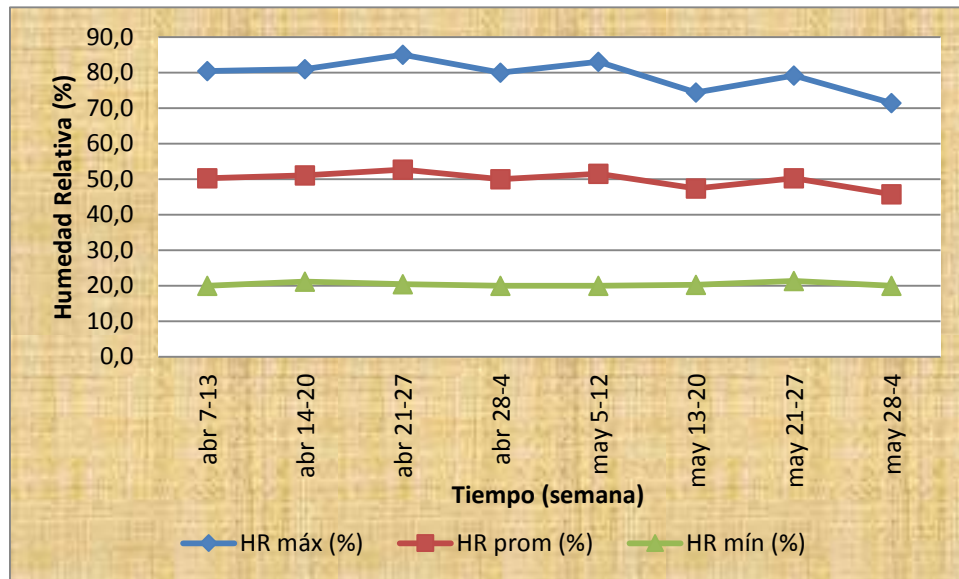


Figura 16. Variación de humedad relativa en ambiente controlado

Mediante los resultados expuestos se aprecia que la humedad relativa máxima promedio se redujo en un 9,0% desde el mes de abril hasta junio; la humedad relativa promedio del ambiente se redujo gradualmente durante el experimento, de 50,2% a 45,7% correspondientes al inicio y al final del experimento. Asimismo la humedad relativa mínima en promedio se mantuvo constante. Una de las causas probables de este fenómeno fue el cambio de estación (otoño-invierno) que se aproximaba, acompañado con el descenso de temperatura. Otra de las causas fue una disminución en el aporte de vapor de agua al ambiente debido a la cosecha de la variedad más precoz.

6.2 Variables de respuesta

6.2.1 Porcentaje de emergencia

Los resultados de la figura 17 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.

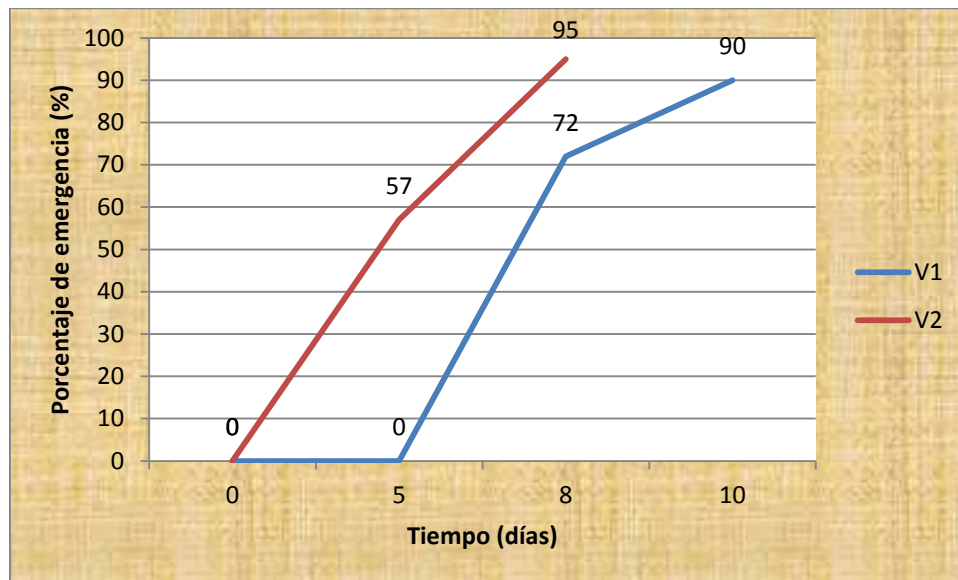


Figura 17. Porcentaje de emergencia de berro V1 y V2

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

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 18.

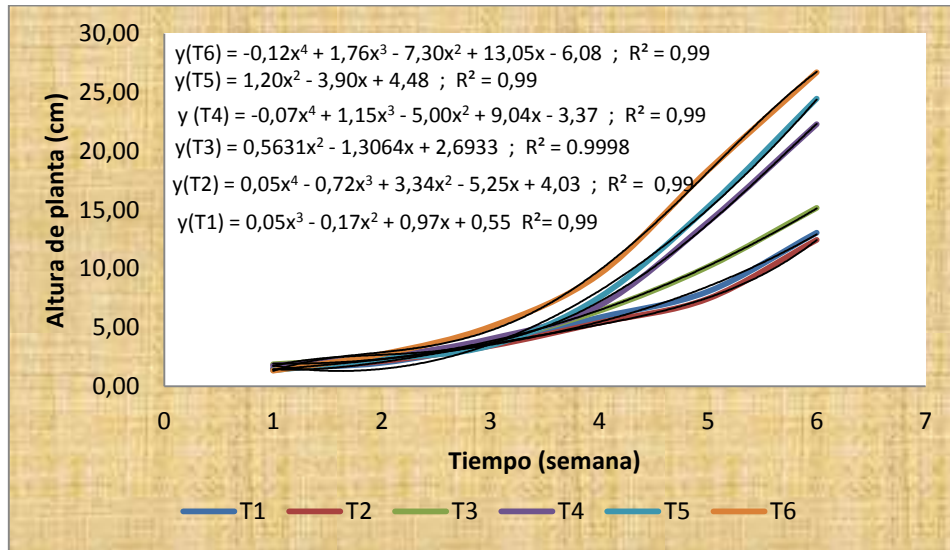


Figura 18. Comportamiento de altura de planta de berro a través del tiempo

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 11).

Cuadro 11. Análisis de varianza para la variable altura de planta (cm)

FV	GL	SC	CM	Fc	0,05	0,01
Bloque	2	6,464	3,232	0,460	4,10	7,56 ns
Variedades	1	537,009	537,009	76,456	4,96	10,01 **
EE Variedad	2	14,048	7,024			
Densidades	2	34,858	17,429	8,886	4,10	7,56 **
Var*Dens	2	6,645	3,323	1,694	4,10	7,56 ns
EE Densidad	8	15,690	1,961			
Total	17	614,715				

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

El coeficiente de variación para la parcela mayor fue de 13,93% (CV_a) y para la parcela menor igual a 7,36% (CV_b); lo que indica un buen manejo de las unidades experimentales en ambos casos, debido a que los mismos son valores aceptables dentro del rango y la confiabilidad de los datos registrados durante el tiempo de duración del ensayo.

El análisis de varianza para la variable altura de planta (Cuadro 11) 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 permite obtener resultados similares en altura de planta.

Debido a que el análisis de varianza (cuadro 11) 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 12), con el objeto

de identificar estadísticamente la variedad (factor A) que alcanzó mayor altura en el ensayo.

Cuadro 12. Prueba Duncan al 5% para el factor A (altura de planta)

Factor A (variedad)			
Variedad	Promedio (cm)	Sd	Duncan $\alpha=5\%$
V2 <i>L. sativum</i>	24,49	2,64	a
V1 <i>N. officinale</i>	13,57	1,65	b

Los resultados de la prueba de comparación de medias, de acuerdo con Duncan al 5% (Cuadro 12), demuestra que la variedad *L. sativum* presentó mayor altura de planta con un promedio de $24,49 \pm 2,64$ 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 $13,57 \pm 1,65$ 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 13,57 cm de altura, afirmando la existencia de diferencias estadísticas en altura de planta entre las variedades estudiadas, como indica la prueba Duncan 5% (Cuadro 12). 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*.

Colodro (2013), en su investigación reportó que numéricamente la variedad *L. sativum* fue la que mostró promedio elevado en ambos cortes, en el primer corte 12,37 cm y 14,88 cm en el segundo corte, respecto a la variedad *N. officinale* que obtuvo en el primer corte 10,07 cm y 13,17 cm de altura de planta, asumiendo que la diferencia a características genéticas de cada variedad, al tipo de suelo, factor ambiental, nutrición, exposición solar y mayor volumen de sustrato en el aporque. En el presente estudio se obtuvo similar comportamiento, debido a que la variedad *L. sativum* con promedio igual a 24,49 cm es estadísticamente superior en altura a la variedad *N. officinale* que obtuvo una altura de 13,57 centímetros.

Asimismo, el análisis de varianza (cuadro 11) reportó resultados altamente significativos entre las densidades estudiadas (13 x 13) cm, (10 x 10) cm y (7 x 7) 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 13. Prueba Duncan, para el factor B altura de planta

Factor B (densidad)			
Densidad	Promedio (cm)	Sd	Duncan $\alpha=5\%$
D3	20,94	6,52	a
D2	18,46	6,75	a b
D1	17,68	5,27	b

Los resultados de la prueba de comparación de medias, de acuerdo con Duncan al 5% (Cuadro 13), indica que existen diferencias significativas entre los tres niveles del Factor B (densidades de siembra), la densidad D3 (7 x 7) cm presentó el mayor promedio igual a $20,94 \pm 6,52$ cm de altura, en relación a D1 (13 x 13) cm que estadísticamente presentó valores inferiores con $17,68 \pm 5,27$ 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 fitocromo¹⁷ ejerce una función importante al detectar la sombra de otras plantas. La vegetación absorbe o refleja casi completamente la radiación que está por debajo de los 700 nm mientras que la radiación que está entre los 700 y los 800 nm (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

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 19.

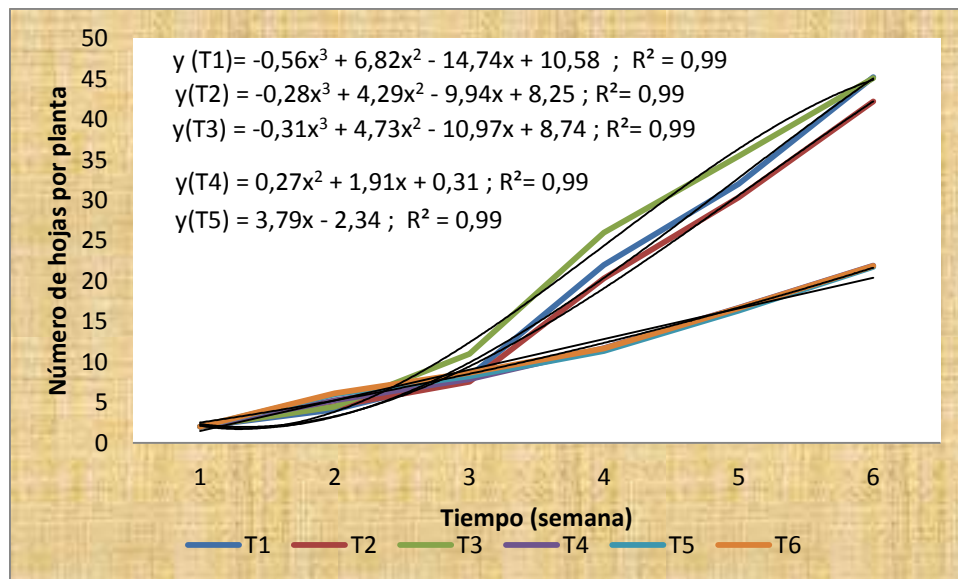


Figura 19. Incremento del número de hojas de berro a través del tiempo

¹⁷ Proteína presente en los vegetales cuya función es la de captar luz roja (600-700 nm) y roja lejana (700-800 nm), el fitocromo en función del tipo de luz detectada puede desencadenar distintas respuestas en la planta, como la floración, la germinación y el crecimiento como repuesta de escape a la sombra.

¹⁸ La forma que absorbe luz roja, "red". Es inactiva.

¹⁹ La forma que absorbe luz roja lejana, "far red". Es biológicamente activa y desencadena respuestas.

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 19, 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 14).

Cuadro 14. Análisis de varianza para el número de hojas por planta

FV	GL	SC	CM	Fc	0,05	0,01
Bloque	2	102,133	51,066	2,756	4,1	7,56 ns
Variedades	1	1887,710	1887,710	101,877	4,96	10,01 **
EE Variedad	2	37,059	18,529			
Densidades	2	7,457	3,728	0,323	4,1	7,56 ns
Var*Dens	2	7,309	3,654	0,316	4,1	7,56 ns
EE Densidad	8	92,457	11,557			
Total	17	2134,123				

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

El coeficiente de variación para la parcela mayor, tiene un valor igual a 13,01% (CV_a) y para la parcela menor un valor igual a 10,27% (CV_b) en ambos casos, el coeficiente de variación indica un buen manejo de las unidades experimentales, por lo tanto se asume que los datos de esta variable son confiables.

A través del análisis de varianza (cuadro 14), 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 no significativo, lo que quiere decir que las diferentes densidades estudiadas permiten estadísticamente obtener 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 desarrollo mayor cantidad de hojas durante el ensayo en comparación con la variedad *L. sativum*.

Cuadro 15. Prueba Duncan al 5% para el número de hojas por planta

Factor A (variedad)			
Variedad	Promedio (u)	Sd	Duncan $\alpha=5\%$
V1 <i>N. officinale</i>	43,33	3,99	a
V2 <i>L. sativum</i>	22,85	4,38	b

Los resultados de la prueba de comparación de medias, de acuerdo con Duncan 5% de significancia (Cuadro 15), indica que existen diferencias significativas entre los dos niveles del factor A (entre variedades), donde la variedad *N. Officinale*, presentó un promedio de 43 ± 4 hojas en relación a la variedad *L. sativum*, que obtuvo en promedio 22 ± 4 hojas por planta.

El comportamiento del número de hojas por planta al momento de cosecha, se puede apreciar en la figura 20, notándose la diferencia de 24 hojas entre el tratamiento T1 y T5 correspondiente a la variedad *N. officinale* y *L. sativum* respectivamente.

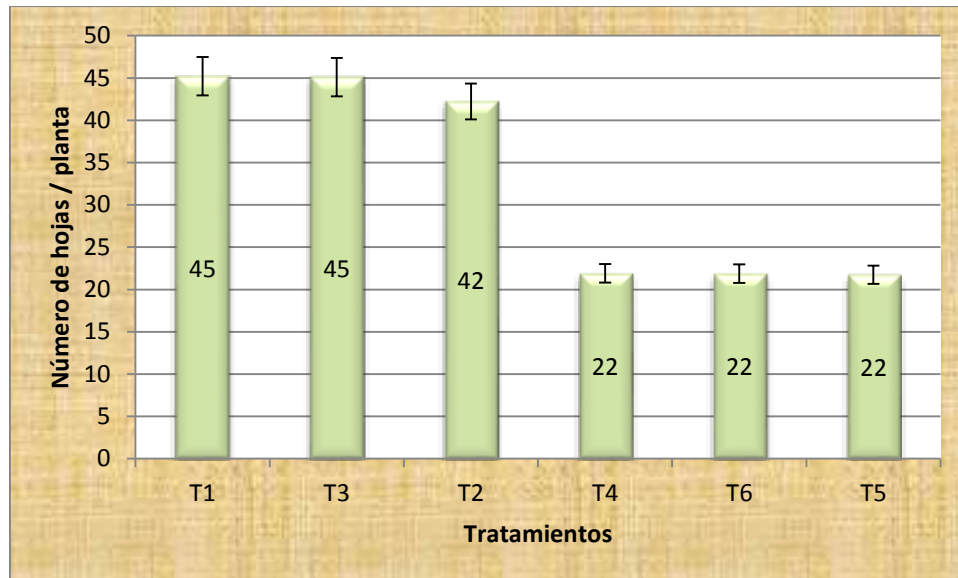


Figura 20. Número de hojas por planta de los 6 tratamientos

La variedad *N. officinale* correspondiente a los tratamientos T1, T3 y T2 numéricamente obtuvo mayor cantidad de hojas con 45, 45 y 42 hojas por planta respectivamente. A diferencia de la variedad *L. sativum* correspondiente a los tratamientos T4, T6 y T5 que obtuvieron en promedio 21 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 intercepción 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).

6.2.4 Área foliar

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 16.

Cuadro 16. Análisis de varianza para la variable área foliar (cm²)

FV	GL	SC	CM	Fc	0,05	0,01
Bloque	2	13,114	6,557	0,777	4,10	7,56 ns
Variedades	1	654,308	654,308	77,504	4,96	10,01 **
EE Variedad	2	16,884	8,442			
Densidades	2	32,390	16,195	9,801	4,10	7,56 **
Var*Dens	2	0,509	0,255	0,154	4,10	7,56 ns
EE Densidad	8	13,219	1,652			
Total	17	730,425				

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

El coeficiente de variación, de la parcela mayor fue de 17,19% (CV_a) y para la parcela menor 7,61% (CV_b) en ambos casos, el coeficiente de variación indica un buen manejo de las unidades experimentales, por lo tanto se asume que los datos de esta variable son confiables.

El análisis de varianza a un nivel de confianza del 5% de error, de la variable área foliar (cuadro 16), determinó que existen diferencias altamente significativas entre los dos niveles del factor A (variedades *N. officinale* y *L. sativum*), así mismo 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 17. Prueba Duncan al 5%, para el Factor A del área foliar

Factor A (variedad)			
Variedad	Promedio (cm ²)	Sd	Duncan $\alpha=5\%$
V2 <i>L. sativum</i>	22,93	2,71	a
V1 <i>N. officinale</i>	10,87	1,46	b

Los resultados de la prueba de comparación de medias, de acuerdo con Duncan 5% de significancia (Cuadro 17), estadísticamente muestra, que la variedad *L. sativum* presentó mayor área foliar con un promedio de $22,93 \pm 2,71$ cm², por otro lado la variedad *N. officinale* presentó menor área foliar con promedio igual a $10,87 \pm 1,46$ centímetros.

De las dos variedades evaluadas, el mejor comportamiento registra la variedad *L. sativum* debido a que obtuvo la mayor área foliar, con un promedio igual a 22,93 cm² seguido de la variedad *N. officinale* con 10,87 centímetros cuadrados. Esto es consistente con el tipo de arquitectura que presenta cada una de las dos variedades: la variedad *N. officinale* exhibe escaso desarrollo foliar, esta disposición reduce la capacidad de interceptar radiación fotosintéticamente activa (RFA). La variedad *L. sativum* exhibe por el contrario, tallo erecto 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 trabajó en suelo, lo cual no se aplicó en el presente estudio. Se asume que las variedades en estudio tuvieron un comportamiento diferente al estar en cultivo hidropónico. Asimismo las condiciones de temperatura en el presente estudio fueron menores (otoño-invierno) respecto a las condiciones en las que Colodro realizó el trabajo en (primavera-verano).

Como en la fuente de variabilidad correspondiente al factor "B" (tres densidades de siembra), el ANVA (cuadro 16) reportó altamente 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 18. Prueba Duncan al 5%, para el factor B para la variable área foliar

Factor B (densidad)			
Densidad	Promedio (cm ²)	Sd	Duncan $\alpha=5\%$
D2	18,72	6,88	a
D3	16,44	6,67	a b
D1	15,54	6,89	b

Los resultados de la prueba de comparación de medias, de acuerdo con Duncan 5% (Cuadro 18) estadísticamente muestra, que la densidad (10x10) presentó el mayor desarrollo de área foliar con un promedio igual a $18,72 \pm 6,88$ cm², por efecto de un mayor número de plantas por superficie. Por otro lado la densidad (13x13) reportó menor desarrollo de área foliar con un promedio igual a $15,54 \pm 6,89$ cm² debido a una baja 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 (15x15) este comportamiento lo atribuye a la densidad poblacional. Tal promedio se rectifica en el presente trabajo utilizando una menor densidad (10x10) 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 Diámetro de tallo

Para la evaluación del diámetro de tallo del cultivo de berro por efecto de los factores variedad y densidad, se realizó el análisis de varianza (Cuadro 19).

Cuadro 19. Análisis de varianza para la variable diámetro de tallo (mm)

FV	GL	SC	CM	Fc	0,05	0,01
Bloque	2	0,163	0,082	0,058	4,10	7,56 ns
Variedades	1	0,517	0,517	0,365	4,96	10,01 ns
EE Variedad	2	2,833	1,417			
Densidades	2	0,475	0,238	0,991	4,10	7,56 ns
Var*Dens	2	0,092	0,046	0,191	4,10	7,56 ns
EE Densidad	8	1,918	0,240			
Total	17	5,998				

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

El coeficiente de variación, de la parcela mayor fue de 25,87% (CV_a) y para la parcela menor fue de 10,64% (CV_b) puesto que el valor del primer dato es más elevado, se establece el manejo regular de las unidades experimentales, se asume que la razón de estos valores son debidos a las condiciones ambientales propias de este cultivo, por lo que los datos registrados durante el experimento no dejan de ser confiables, debido a que aún se encuentran dentro del rango de aceptación.

El análisis de varianza a un nivel de 5% de error, de la variable diámetro de tallo (cuadro 19) reportó diferencias no significativas en todas las fuentes de variabilidad, entendiéndose que estadísticamente a cualquier nivel del factor B (con cualquier de las tres densidades de siembra) y en cualquiera de los niveles del factor A (cualquiera de las variedades) ya sea *N. officinale* y *L. sativum*, estadísticamente se obtendrán similares diámetros de tallo. 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.

6.2.6 Longitud de raíz

Para evaluar la longitud de raíz del cultivo de berro por efecto de los factores variedad y densidad, se realizó el análisis de varianza (Cuadro 20).

Cuadro 20. Análisis de varianza para la variable longitud de raíz (cm)

FV	GL	SC	CM	Fc	0,05	0,01
Bloque	2	14,095	7,047	0,477	4,10	7,56 ns
Variedades	1	360,521	360,521	24,422	4,96	10,01 **
EE Variedad	2	29,524	14,762			
Densidades	2	24,544	12,272	0,648	4,10	7,56 ns
Var*Dens	2	26,000	13,000	0,687	4,10	7,56 ns
EE Densidad	8	151,427	18,928			
Total	17	606,111				

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

El coeficiente de variación, de la parcela mayor fue igual a 16,39% (CV_a) y para la parcela menor fue 18,56% (CV_b), puesto que el valor de estos datos son elevados, se establece que en ambos casos el manejo regular de las unidades experimentales, se asume que estos valores son debido a las condiciones propias del cultivo hidropónico, por lo que los datos registrados durante el experimento son confiables.

El análisis de varianza a un nivel de 5% de error, de la variable longitud de raíz (cuadro 20) determinó que existieron diferencias altamente significativas entre los dos niveles del factor A (variedades *N. officinale* y *L. sativum*), eso significa que las dos variedades en promedio tienen desarrollo longitudinal de raíz diferente. Por otra parte para la fuente de variabilidad para los niveles del factor B (densidades de siembra) el ANVA reportó no significativo, lo que quiere decir que sembrar cualquiera de las dos variedades en estudio permite obtener estadísticamente similar longitud de raíz. 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.

Debido a que en el análisis de varianza (cuadro 20) reporto resultados altamente significativos entre las variedades *N. officinale* y *L. sativum* al igual que lo observado en campo, se realizó la correspondiente prueba Duncan (cuadro 21) tomando en

cuenta el 5% de error, con el objeto de identificar estadísticamente la variedad (factor A) que mayor longitud de raíz desarrollo al final del ensayo.

Cuadro 21. Prueba Duncan al 5%, para el factor A variable longitud de raíz

Factor A (variedad)			
Variedad	Promedio (cm)	Sd	Duncan $\alpha=5\%$
V2 <i>L. sativum</i>	27,92	4,97	a
V1 <i>N. officinale</i>	18,97	2,42	a

Los resultados de la prueba de comparación de medias, de acuerdo con Duncan 5% de significancia muestran, que ambas variedades reportan estadísticamente longitud de raíz similar. Lo que significa, estadísticamente sembrar cualquiera de las dos variedades en estudio a cualquiera de las tres densidades evaluadas permite obtener longitud de raíz similares en un rango entre $18,97 \pm 2,42$ y $27,92 \pm 4,97$ centímetros.

Bosque (2009), indica que la profundidad de raíces está determinada por una serie de factores, tales como: características genéticas, características del suelo (textura, estructura), nivel de agua en el suelo, nutrientes, oxígeno y otros. En la investigación la cantidad de agua, oxígeno y nutrientes a nivel de las raíces no tuvo déficit, manifestándose con ausencia de alteraciones o deformaciones en la planta; entonces el factor que incidió en la variación de longitud de raíz es la característica genética propia de cada variedad. En una solución nutritiva, el agua y los nutrientes están a disposición de la planta, por este motivo el crecimiento de la raíz no es una estrategia habitual en los cultivos hidropónicos y las raíces de estas plantas presentan menor desarrollo que las que crecen en el suelo, en condiciones naturales (Beltrano y Giménez, 2015).

Al respecto Rosero (2015), registró en la variedad *N. officinale* una longitud de raíz de 32,67 cm para la solución de Golden Fos 13-38-12 + micronutrientes, 28,33 cm para la solución Plant Prod 15-15-30 + micronutrientes, 22,67 cm para la solución (Nitrato de Ca, Fosfato mono cálcico, Sulfato de Mg, Nitrato de K) y 21,67 cm para el testigo. Estos valores difieren a los resultados que se obtuvieron en el presente trabajo, debido a que el autor trabajó con distintas proporciones de nutrientes; sin embargo el resultado obtenido se encuentra dentro del rango de longitud de raíz registrado por este autor.

6.2.7 Días a la cosecha (fase comercial)

En campo se observó que la variedad *L. sativum* en las tres densidades de siembra en estudio, fueron las que en menor tiempo se desarrolló.

En la figura 21, se presenta la comparación entre tratamientos, los días transcurridos hasta la cosecha donde la diferencia notoria se encuentra entre variedades.

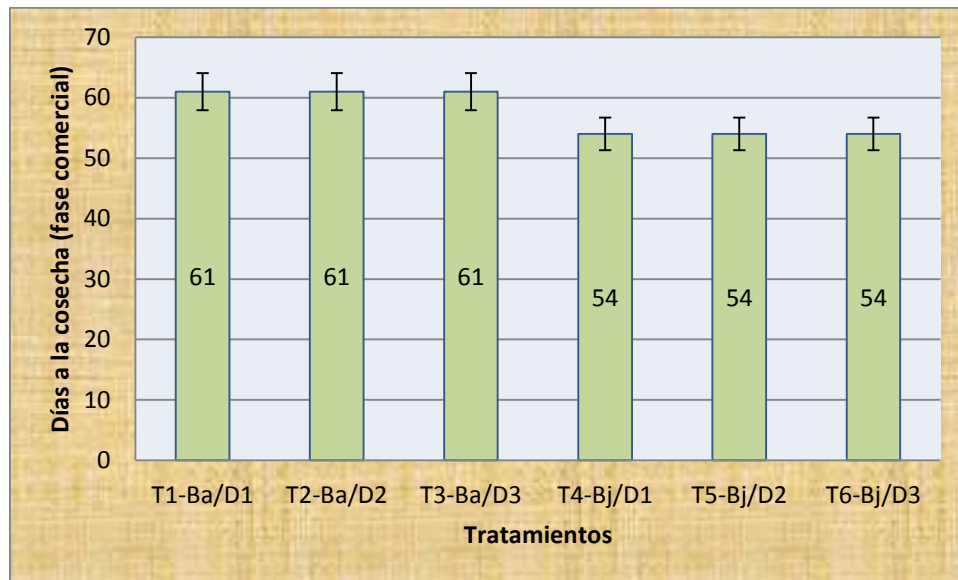


Figura 21. Días transcurridos desde a la siembra hasta la cosecha de *N. officinale* y *L. sativum*, los valores representan la media \pm error de 5%.

En la figura 21 se observa los 61 días que tomó a la variedad *N. officinale* para llegar a la fase comercial en comparación a la variedad *L. sativum* que requirió de 54 días. La diferencia en el desempeño de cada variedad se atribuye a las características genéticas propias de cada individuo. Al respecto Benitez (1999), en su estudio menciona que inicio el cultivo mediante siembra directa, por lo cual desde la siembra hasta la cosecha transcurrieron 76 días para la variedad *N. officinale*.

Palaniswamy y McAvoy (2001) citado por Márquez (2013) indican 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. En comparación a esta investigación los resultados indican que cultivar entrando a la estación de invierno demora a la variedad mayor tiempo en completar su crecimiento al alcanzar la fase comercial.

6.2.8 Peso promedio por planta

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	50,597	25,299	3,809	4,10	7,56 ns
Variedades	1	419,019	419,019	63,088	4,96	10,01 **
EE Variedad	2	13,284	6,642			
Densidades	2	205,368	102,684	13,064	4,10	7,56 **
Var*Dens	2	86,726	43,363	5,517	4,10	7,56 *
EE Densidad	8	62,880	7,860			
Total	17	837,874				

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

El coeficiente de variación, de la parcela mayor fue de 10,11% (CV_a) y para la parcela menor 11,00% (CV_b) en ambos casos, el coeficiente de variación indica que hubo un buen manejo de las unidades experimentales, por lo tanto se asume que los datos de esta variable son confiables.

El análisis de varianza a un nivel de confianza del 5% de error, de la variable peso promedio por planta (cuadro 22), determino que existen diferencias altamente significativas entre los dos niveles del factor A (variedades *N. officinale* y *L. sativum*), así mismo entre los tres niveles del factor B (tres densidades de siembra). Para fuente de variabilidad interacción variedad-densidad, el análisis de varianza, reportó significativo, esto quiere decir que la acción conjunta entre variedad y densidad estadísticamente permite 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

Factor A (variedad)			
Variedad	Promedio (g)	Sd	Duncan $\alpha=5\%$
V1 <i>N. officinale</i>	30,32	6,14	a
V2 <i>L. sativum</i>	20,67	3,82	b

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 $30,32 \pm 6,14$ g en comparación a V2 que obtuvo un promedio de $20,67 \pm 3,82$ 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 (13 x 13) cm, D2 (10 x 10) cm y D3 (7 x 7) cm al igual que lo observado en campo, se realizó la correspondiente Prueba de Duncan (cuadro 24) tomando en cuenta el 5% de error, con el objetivo de identificar estadísticamente la densidad (factor B) que registró mayor cantidad de peso al final del ensayo.

Cuadro 24. Prueba Duncan al 5%, para el factor B peso promedio por planta

Factor B (densidad)			
Densidad	Promedio (g)	Sd	Duncan $\alpha=5\%$
D2	29,47	6,63	a
D3	25,81	2,78	a b
D1	21,21	8,64	b

Los resultados de la prueba de comparación de medias, de acuerdo con Duncan 5% (cuadro 24) estadísticamente muestra, que D2 presentó mayor peso promedio por planta con un valor igual a $29,47 \pm 6,63$ g respecto a D1 con un valor igual a $21,21 \pm 8,64$ g por planta. Lo que indica que se alcanza mayor peso en planta utilizando una densidad de 10 x 10 cm entre plantas probablemente al espacio que dispone para su crecimiento.

Como el análisis de varianza indica, que existen diferencias significativas para la variable peso por planta, en la fuente de variación de interacción de los niveles del factor A (*N. officinale* y *L. sativum*) con los niveles del factor B (tres densidades de siembra), por lo que se realizó la prueba de efectos simples, presentándose los resultados en el cuadro 25.

Cuadro 25. Prueba de efectos simples de la interacción de los factores A y B para peso/planta (g)

FV	GL	SC	CM	Fc	0,05	sig
Variedad (D1)	1	302,46	302,46	38,48	4,96	**
Variedad (D2)	1	182,60	182,60	23,23	4,96	**
Variedad (D3)	1	21,14	21,14	2,69	4,96	ns
Densidad (V1)	2	277,77	138,88	17,67	4,10	**
Densidad (V2)	2	14,27	7,13	0,91	4,10	ns
Error Exp.	8	62,880	7,860			

En el cuadro 25, 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 22, 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.

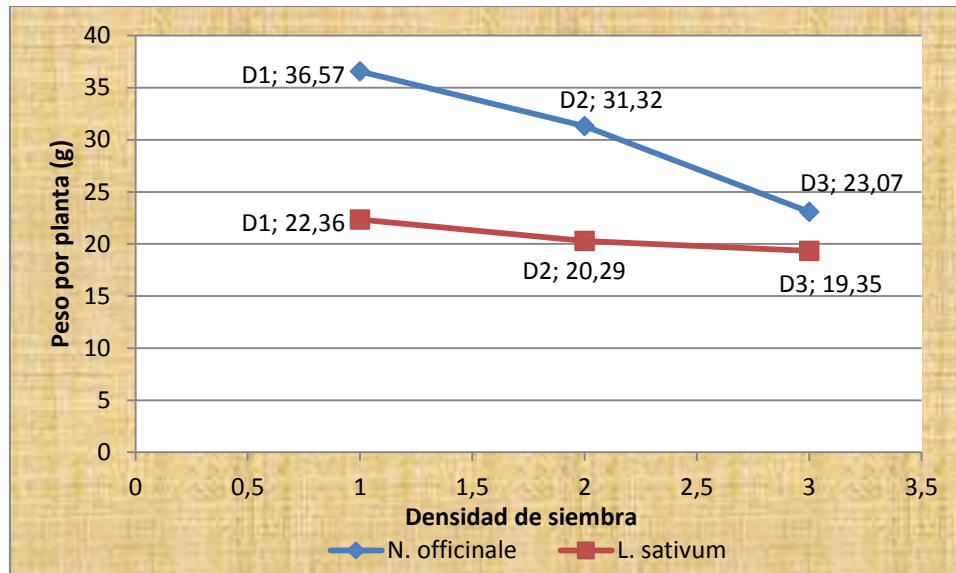


Figura 22. Comparación de medias del peso por planta en la interacción de niveles de los factores A y B respecto a variedad

En la figura 22 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 (13 x 13 cm) obtiene mayor peso por planta igual a 36,57 g, seguido por la D2 (10 x 10 cm) con un valor igual a 31,32 g y finalmente la que menor rendimiento obtuvo fue la D3 (7 x 7 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 (13 x 13 cm) igual a 22,36 g/planta, D2 (10 x 10 cm) con 20,29 g/planta y D3 (7 x 7 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 23, 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.

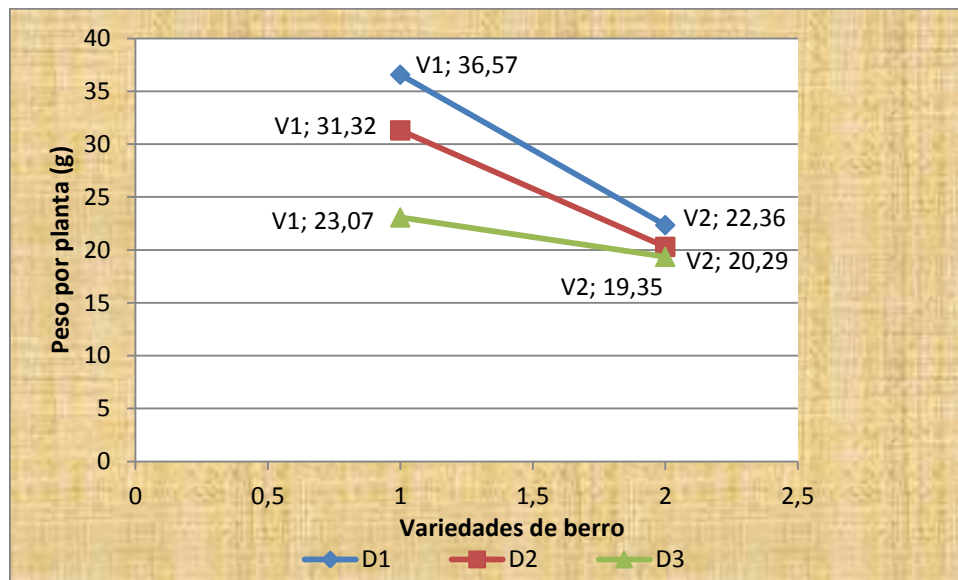


Figura 23. Comparación de medias del peso por planta en la interacción de niveles de los factores A y B respecto a densidad

Se puede apreciar en la figura 23, 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.

6.2.9 Rendimiento (kg/m²)

El desarrollo y resultados del análisis de varianza para el rendimiento (kg/m²) se encuentra en el cuadro 26.

Cuadro 26. Análisis de varianza para el rendimiento (kg/m²)

FV	GL	SC	CM	Fc	0,05	0,01
Bloque	2	0,516	0,258	2,122	4,10	7,56 ns
Variedades	1	3,578	3,578	29,435	4,96	10,01 **
EE Variedad	2	0,243	0,122			
Densidades	2	19,739	9,870	138,399	4,10	7,56 **
Var*Dens	2	0,106	0,053	0,744	4,10	7,56 ns
EE Densidad	8	0,571	0,071			
Total	17	24,752				

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

Los coeficientes de variación son: 12,24% (CV_a) para la parcela mayor y 9,38% (CV_b) para la parcela menor, indican un buen manejo de las unidades experimentales, además, que los datos son confiables.

Los resultados del análisis de varianza (cuadro 25), en cuanto al rendimiento, indican que estadísticamente hubo diferencias altamente significativas entre los componentes del factor A (variedades de berro) y diferencias altamente significativas entre los componentes del factor B (densidades).

Lo que significa que existen rendimientos diferentes entre las variedades *N. officinale* y *L. sativum*, y que al menos un tratamiento obtuvo mayor rendimiento en comparación con los demás tratamientos.

Para determinar la variedad con mayor rendimiento se realizó la Prueba Duncan al 5% de error (cuadro 27).

Cuadro 27. Prueba Duncan al 5% para el factor A, variable rendimiento kg/m²

Factor A (variedad)			
Variedad	Rendimiento (kg/m ²)	Sd	Duncan $\alpha=5\%$
V1 <i>N. officinale</i>	3,29	1,09	a
V2 <i>L. sativum</i>	2,40	1,21	b

Según la prueba Duncan para el rendimiento de berro, la prueba refleja que existió diferencias significativas, donde la variedad *N. officinale*”, presentó un promedio en rendimiento significativamente más alto igual a $3,29 \pm 1,09 \text{ kg/m}^2$ con respecto a *L. sativum*, que obtuvo promedio en rendimiento igual a $2,40 \pm 1,21 \text{ kg/m}^2$. Estos resultados coinciden con lo expuesto por Colodro (2013), quien afirma que cultivando en suelo y ambiente protegido las variedades *N. officinale* y *L. sativum* se obtiene rendimiento promedio igual a $1,77 \text{ kg/m}^2$ y $1,34 \text{ kg/m}^2$, respectivamente. Las características genotípicas y la interacción entre el genotipo y el medio son elementos trascendentales en la disposición que presenta la panta en la acumulación de materia seca, dichas características genéticas de una variedad determinan cuáles son sus hábitos de crecimiento, aun cuando estos pueden ser alterados por influencia del ambiente.

Rosero (2015) registró rendimiento igual a $1,50 \text{ kg/m}^2$ utilizando solución nutritiva Golden Fos (15–50–15 + micronutrientes), $1,30 \text{ kg/m}^2$ con la solución Plant-Prod (15-15-30 + micronutrientes) y el testigo con $0,79 \text{ kg/m}^2$. El bajo rendimiento en cultivo hidropónico se asume que fue por la baja densidad población utilizada (15 cm entre plantas).

Benitez (1999), reporto rendimiento igual a $1,60 \text{ kg/m}^2$ a una densidad de 81 plantas/ m^2 en la variedad *N. officinale*, siendo este el tratamiento de mejor resultado registrado, argumentando el efecto directo de la densidad de siembra. En comparación a este trabajo se registró un promedio igual a $3,29 \text{ kg/m}^2$ en rendimiento en la variedad *N. officinale*, las posibles razones para esta notoria diferencia son: ser la primera hortaliza de hoja cultivada dentro la carpa, como consecuencia el cultivo estuvo exento de plagas y enfermedades; la variedad *N. officinale* se adaptó mejor al sistema de cultivo evaluado el cual se reflejó en el rendimiento.

Para el caso de la densidad (factor B) se realizó la prueba Duncan al 5% de significancia, cuyo desarrollo y resultados se encuentran en el cuadro 28.

Cuadro 28. Prueba Duncan al 5% para el factor B, rendimiento kg/m²

Factor B (densidad)			
Densidad	Rendimiento (kg/m ²)	Sd	Duncan α=5%
D3	4,24	0,56	a
D2	2,58	0,66	b
D1	1,72	0,50	c

Según la prueba Duncan, el rendimiento de berro refleja que existió diferencias significativas, donde la densidad D3 presentó un promedio mayor igual a $4,24 \pm 0,56$ kg/m², la densidad D2 presentó un rendimiento igual a $2,58 \pm 0,66$ kg/m², respecto a la densidad D1 fue la que reporto menor rendimiento igual a $1,72 \pm 0,50$ kg/m². El cultivar berro a una densidad igual a D3 produjo un rendimiento significativamente más alto que cultivar a una densidad D1. Estos resultados coinciden con lo expuesto por Criollo y García, (2009) quienes afirman que con el aumento de la densidad población, por lo general, disminuye la biomasa por planta pero se incrementa por unidad de superficie. Además establece que incrementando el IAF (Índice de área foliar) con densidad de plantas, se incrementa el rendimiento/superficie pero se reduce el AF (área foliar) por planta.

6.2.10 Análisis económico

El análisis económico de los diferentes tratamientos en estudio se realizó utilizando la técnica de la relación Beneficio/Costo (Perrín, 1995).

Para el análisis económico se tomó en cuenta los siguientes cálculos: rendimiento ajustado, beneficio bruto, costos variables, costos de producción, beneficios netos y beneficio/costo. Para el cálculo del beneficio bruto se tomó en cuenta los precios de venta de acuerdo a los precios de mercado en la ciudad de La Paz.

a) Rendimiento ajustado

Es el rendimiento promedio de cada tratamiento, menos el 10% que refleja la diferencia entre el promedio del experimento y el posible rendimiento que se puede obtener en condiciones de un productor promedio.

$$Rdto. Ajustado \left(\frac{kg}{m^2} \right) = Rdto. Promedio \left(\frac{kg}{m^2} \right) - 10\% \text{ del } Rdto. Promedio \left(\frac{kg}{m^2} \right)$$

Cuadro 29. Rendimiento ajustado del producto comercial (kg/m²)

Variedad	Densidad de siembra (cm)	Tratamiento	Rdto. Promedio (kg/m ²)	Ajuste 10%	Rdto. Ajustado (kg/m ²)
Berro de agua (<i>N. officinale</i>)	D1 (13 x 13)	T1	2,13	0,21	1,92
	D2 (10 x 10)	T2	3,13	0,31	2,82
	D3 (7 X 7)	T3	4,61	0,46	4,15
Berro de agua (<i>L. sativum</i>)	D1 (13 x 13)	T4	1,30	0,13	1,17
	D2 (10 x 10)	T5	2,03	0,20	1,83
	D3 (7 X 7)	T6	3,87	0,39	3,48

La información del cuadro 29 reporta que, la densidad de siembra D3 igual a (7 x 7 cm) fue la que obtuvo mejor rendimiento ajustado en ambas variedades, con rendimiento superior a 3,48 kg/m², seguido por la densidad D2 (10 x 10 cm) cuyo promedio del rendimiento no supera los 2,82 kilos por metro cuadrado.

El sistema hidropónico en interacción con las técnicas culturales, los acontecimientos del medio ambiente del cultivo, en parte aleatorios, y la dinámica de la población vegetal cultivada en una área de cultivo pequeño generalmente son sobre estimados, porque las técnicas empleadas son más precisas y oportunas al manejar las variables en prueba. Asimismo en áreas pequeñas el cultivo tiende a ser más uniforme en comparación a cultivar en grandes extensiones.

b) Beneficio bruto

El beneficio bruto es el beneficio total que se obtiene de multiplicar el rendimiento ajustado por el precio del producto (cuadro 30).

$$\text{Beneficio bruto} \left(\frac{Bs}{m^2} \right) = \text{Rdto. Ajustado} \left(\frac{kg}{m^2} \right) * \text{Precio del producto} \left(\frac{Bs}{kg} \right)$$

Cuadro 30. Beneficio bruto

Variedad	Densidad de siembra (cm)	Tratamiento	Rdto. Ajustado (kg/m ²)	Precio (Bs/kg)	Beneficio bruto (Bs/m ²)
Berro de agua (<i>N. officinale</i>)	D1 (13 x 13)	T1	1,92	21,00	40,32
	D2 (10 x 10)	T2	2,82	21,00	59,22
	D3 (7 X 7)	T3	4,15	21,00	87,15
Berro de agua (<i>L. sativum</i>)	D1 (13 x 13)	T4	1,17	21,00	24,57
	D2 (10 x 10)	T5	1,83	21,00	38,43
	D3 (7 X 7)	T6	3,48	21,00	73,08

Las variedades *N. officinale* y *L. sativum* a una densidad D3 (7 x 7cm) son las que obtuvieron mayor beneficio bruto con 87,15 y 73,08 Bs/m² respectivamente, debido a que los tratamientos 3 y 6 lograron obtener mayor rendimiento (cuadro 30).

c) Costos variables

Para este análisis se tomó en cuenta los costos que varían entre tratamientos, el análisis se realizó tomando en cuenta solamente los relacionados con insumos, mano de obra y herramientas utilizadas (cuadro 31). Todos los gastos adicionales que se realizaron (carpa solar) se consideraron como gastos fijos y se consideraron para todos los tratamientos.

Cuadro 31. Costos variables por tratamiento (Bs/cosecha)

Insumos	<i>N. officinale</i>			<i>L. sativum</i>		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
TRATAMIENTO	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Semilla	0,14	0,24	0,47	1,04	1,79	3,57
Riego	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
Envase	0,60	0,88	1,30	0,37	0,57	1,09
Fertilizantes	1,43	2,46	4,93	1,43	2,46	4,93
Mano de obra	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33
Total CV (Bs/cosecha)	10,99	12,40	15,52	11,66	13,64	18,41

Los costos variables, según los tratamientos estudiados, reflejan una variación por la cantidad de semilla, sales y envases utilizados. Los costos se incrementan de acuerdo a la cantidad de individuos por superficie.

d) Costo total

El costo total se define como la adición entre los costos fijos (infraestructura y herramientas) y costos variables que corresponden a gastos de un proceso productivo (cuadro 32).

Cuadro 32. Costo total por tratamiento por ciclo comercial

Item	<i>N. officinale</i>			<i>L. sativum</i>		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
TRATAMIENTO	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Total Costo Variable	10,99	12,40	15,52	11,66	13,64	18,41
Total Costo Fijo	6,89	6,89	6,89	6,89	6,89	6,89
COSTO TOTAL	17,88	19,29	22,41	18,55	20,53	25,30

En el (cuadro 32) se observa claramente que los costos de los tratamientos 1, 2 y 3 correspondientes a la variedad *N. officinale*, son los que presentan valores más bajos respecto a los tratamientos 4, 5 y 6. Este resultado está influenciado por el costo de la semilla, debido a que existe mayor cantidad por peso (5163 u/g) en comparación a la variedad *L. sativum* (342 u/g).

e) Beneficio neto

El beneficio neto refleja los ingresos obtenidos luego de sustraer el costo total de producción. A continuación en el cuadro 33, se detalla el beneficio neto por ciclo comercial.

Cuadro 33. Beneficio neto por ciclo comercial

Item	<i>N. officinale</i>			<i>L. sativum</i>		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
TRATAMIENTO	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Beneficio bruto	40,32	59,22	87,15	24,57	38,43	73,08
Costo total	17,88	19,29	22,41	18,55	20,53	25,30
BENEFICIO NETO	22,44	39,93	64,74	6,02	17,90	47,78

Realizando un análisis entre las dos variedades dentro de las tres densidades podemos indicar los siguientes resultados. El mejor beneficio neto que registró el estudio fue la variedad *N. officinale* cultivada a una densidad de (7 x 7) cm cuyo beneficio neto es igual a 64,74 Bs/cosecha, asimismo la variedad *L. sativum* cultivada a una densidad de (13 x 13) cm presenta un beneficio neto igual a 6,02 Bs/cosecha el cual es el menor reportado por los tratamientos evaluados.

f) Relación beneficio/costo

El beneficio/costo es la relación que existe entre el beneficio bruto y el costo de producción. Se realizó el análisis en base al costo fijo, costo variable y beneficio neto; diferenciando una producción por ciclo comercial y tratamiento (cuadro 34).

Cuadro 34. Beneficio costo por ciclo comercial

Item	<i>N. officinale</i>			<i>L. sativum</i>		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
TRATAMIENTO	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Beneficio bruto	40,32	59,22	87,15	24,57	38,43	73,08
Costo total	17,88	19,29	22,41	18,55	20,53	25,30
BENEFICIO/COSTO	2,26	3,07	3,89	1,32	1,87	2,89

El análisis demuestra que para los todos los tratamientos la relación beneficio/costo es mayor a uno ($B/C > 1$), en consecuencia estos son económicamente rentables; sin embargo, debe destacarse que el cultivar a una densidad con mayor población vegetal permite obtener mayores beneficios. Además la investigación se realizó en época otoño – invierno, donde los días presentan temperaturas mínimas bajas y temperaturas máximas elevadas; teóricamente, el resultado del microambiente influye en un mayor tiempo para llegar a la cosecha.

El valor de beneficio costo para el tratamiento T3 es el 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. Por otro lado el T4 reporta un valor de B/C igual a 1,32, indicando que la inversión será recuperada pero la retribución es relativamente escasa.

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 13,57 cm; respecto a densidades, el mejor comportamiento fue a una densidad de 200 plantas/m² con una altura igual a 20,94 cm. El número de hojas por planta es un carácter genético determinado por cada variedad y las condiciones a los 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 cultivo sin suelo influye en la producción y rendimiento de esta hortaliza.

8. RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación se realizan las siguientes recomendaciones:

- Para el microclima de la zona de Cota Cota y zonas similares, se sugiere cultivar hidropónicamente *N. officinale* a una densidad de población entre 200 plantas/m² (distancia 7 x 7 cm entre plantas) porque brinda resultados óptimos respecto al rendimiento, utilidad y características de presentación. Debido a que los rendimientos de la variedad *N. officinale* son los esperados desde el punto de vista agronómico y características organolépticas (sabor poco intenso).
- Cultivar berro hidropónico es una alternativa para diversificar la producción de hortalizas, por su alto valor nutricional, tiempo corto en alcanzar la etapa comercial, rendimiento elevado, escasa mano de obra y principalmente garantizar la inocuidad de la hortaliza.
- Para obtener una producción eficiente, se plantea investigar la cantidad necesaria de sales para cubrir los requerimientos en la producción de berro.
- Buscar alternativas para disminuir la pérdida de nutrientes en la solución por la presencia de algas, al finalizar la etapa de producción se observó mayor incidencia de estos en la producción de berro.

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-Bótanica. 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. 2017. Garden cress (en línea). Consultado 10 abr. 2017. Disponible en https://en.wikipedia.org/wiki/Garden_cres.

Enciclopedia Wikipedia. 2017. Watercress (en línea). Consultado 15 jun. 2017. 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.

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. 2015. Disponible en www.infoagro.org

Krarup, C; Moreira, I. 2004. Berro de agua (en línea). Consultado 27 jun. 2016. Santiago, Chile. Disponible en http://www.uc.cl/sw_educ/hort0498/html.

Lacarra, A; García, C. 2011. Validación de cinco Sistemas Hidropónicos para la Producción de Jitomate (*Lycopersicon 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.

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

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; Renteria, 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 espaciamiento 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.

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 Hldropónicos. 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, 2014. 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.

10. ANEXOS

Anexo 1. Planta de berro de jardín (*Lepidium sativum*)



Anexo 2. Planta de berro de agua (*Nasturtium officinale*)



Anexo 3. Composición química del fertilizante Plant-Prod (15-15-30)

Componente	Porcentaje de Pureza
Nitrógeno total (H)	15 %
Ácido fosfórico asimilable (P ₂ O ₅)	15 %
Potásico soluble (K ₂ O)	30 %
Boro (B)	0,02 %
Cobre quelatado (CU)	0,05 %
Hierro quelatado (Fe)	0,10 %
Manganeso quelatado (Mn)	0,05 %
Molibdeno (Real) (Mo)	0,0005 %
Zinc quelatado (Zn)	0,05 %
EDTA (tetra acetato) de la dinamita del etileno quelatante	el 1 % del agente

Anexo 4. Contenido nutricional de algunas Brassicaceae

Contenido de nutrientes por c/100 g	Berro (N. o)	Berro (L. s)	Brócoli	Coliflor	Repollo	Col de bruselas	Nabo	Rábano
Kcal (g)	11,0	32,0	34,0	27,0	25,0	43,0	28,0	16,0
H. C. (g)	1,3	5,5	6,64	5,0	5,8	8,9	6,4	3,4
Fibra (g)	0,5	1,1	2,6	2,0	2,5	3,8	1,8	1,6
Grasas (g)	0,1	0,7	0,4	0,3	0,1	0,3	0,1	0,1
Proteínas (mg)	2,3	2,6	2,8	1,9	1,3	3,5	0,9	0,7
Agua (g)	95,0	89,4	89,3	92,0	90,5	86,0	91,9	95,3
Calcio (mg)	120,0	81,0	47,0	22,0	40,0	42,0	30,0	25,0
Hierro (mg)	0,2	1,3	0,7	0,4	0,5	1,4	0,3	0,3
Vitamina A	160,0	346,0	31,0	16,0	98,0	38,0	30,0	30,0
Vitamina C (mg)	43,0	69,0	89,2	48,2	36,6	85,0	21,0	17,2
Vitamina E (mg)	1,0	0,7	0,8	0,1	0,2	0,9	0,1	0,1
Fosforo (mg)	60,0	76,0	66,0	44,0	26,0	69,0	27,0	20,0

Fuente: Wikipedia 2017

Anexo 5. Registro de datos

Anexo 5.1 Porcentaje de emergencia por tratamiento

Variedad	Dens	Tratam	BLOQUES			Σx (V*D)	x̄t (%E)	x̄v (%E)
			I (%E)	II (%E)	III (%E)			
V1 <i>N. officinale</i>	D1	T1	78	71	81	230	76,7	72,0
	D2	T2	64	64	81	209	69,7	
	D3	T3	77	60	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 5.2 Altura de planta (cm)

	DENS	I	II	III	TOTAL	PROM
V1 Berro mejorado	D1	14,47	13,17	11,57	39,20	13,067
	D2	11,93	12,60	12,83	37,37	12,456
	D3	15,47	13,47	16,60	45,53	15,178
		41,87	39,23	41,00		
V2 Berro de jardín	D1	20,63	21,90	24,35	66,88	22,294
	D2	21,77	26,07	25,57	73,40	24,467
	D3	24,87	28,90	26,37	80,13	26,711
		67,27	76,87	76,28		
TOTAL BLOQUES		109,13	116,10	117,28	342,52	19,029

Anexo 5.3 Número de hojas (u)

	DENS	I	II	III	TOTAL	PROM
V1 Berro mejorado	D1	13,33	13,67	14,00	41,00	13,667
	D2	14,00	14,00	14,33	42,33	14,111
	D3	14,67	14,33	14,00	43,00	14,333
		42,00	42,00	42,33		
V2 Berro de jardín	D1	16,00	13,67	16,00	45,67	15,222
	D2	14,33	13,33	15,33	43,00	14,333
	D3	14,33	15,00	14,67	44,00	14,667
		44,67	42,00	46,00		
TOTAL BLOQUES		86,67	84,00	88,33	259,00	14,389

Anexo 5.4 Diámetro de tallo (mm)

	DENS	I	II	III	TOTAL	PROM
V1 Berro mejorado	D1	4,42	5,36	5,40	15,18	5,060
	D2	5,27	5,25	3,63	14,16	4,720
	D3	4,36	4,92	4,31	13,59	4,530
		14,05	15,53	13,35		
V2 Berro de jardín	D1	4,65	3,96	5,18	13,79	4,597
	D2	4,63	3,44	4,84	12,92	4,306
	D3	4,59	3,87	4,71	13,17	4,391
		13,88	11,27	14,73		
TOTAL BLOQUES		86,67	27,93	26,80	28,08	82,81

Anexo 5.5 Longitud de raíz (cm)

	DENS	I	II	III	TOTAL	PROM
V1 Berro mejorado	D1	22,75	15,37	19,17	57,28	19,094
	D2	17,93	21,17	20,47	59,57	19,856
	D3	18,47	19,70	15,67	53,83	17,944
		59,15	56,23	55,30		
V2 Berro de jardín	D1	31,37	33,10	28,64	93,11	31,036
	D2	19,57	23,57	34,60	77,73	25,911
	D3	27,77	23,10	29,53	80,40	26,800
		78,70	79,77	92,77		18,965
TOTAL BLOQUES		187,85	136,00	148,07	421,92	27,916

Anexo 5.6 Área foliar (cm²)

	DENS	I	II	III	TOTAL	PROM
V1 Berro mejorado	D1	8,92	10,05	9,73	28,70	9,566
	D2	13,05	11,40	12,95	37,40	12,466
	D3	10,00	11,64	10,11	31,75	10,583
		31,97	33,09	32,78		
V2 Berro de jardín	D1	25,14	20,98	18,40	64,52	21,505
	D2	25,47	25,08	24,40	74,95	24,983
	D3	25,00	22,45	19,46	66,91	22,302
		75,61	68,51	62,25		
TOTAL BLOQUES		107,58	101,60	95,04	304,22	16,901

Anexo 5.7 Peso promedio por planta (g)

	DENS	I	II	III	TOTAL	PROM
V1 Berro mejorado	D1	28,77	38,29	38,46	105,51	35,171
	D2	26,27	35,80	27,46	89,53	29,842
	D3	23,65	28,22	24,72	76,59	25,530
		78,68	102,31	90,64		
V2 Berro de jardín	D1	22,09	21,56	25,51	69,15	23,051
	D2	12,86	11,76	22,23	46,85	15,615
	D3	14,99	8,69	16,57	40,25	13,418
		49,94	42,00	64,31		
TOTAL BLOQUES		128,62	144,31	154,95	427,88	23,771

Anexo 5.8 Peso promedio por unidad experimental (kg/0,24m²)

	DENS	I	II	III	TOTAL	PROM
V1 Berro mejorado	D1	0,72	0,74	0,85	2,30	0,768
	D2	1,15	1,12	1,11	3,38	1,128
	D3	1,62	1,69	1,67	4,98	1,661
		3,49	3,55	3,63		
V2 Berro de jardín	D1	0,51	0,35	0,55	1,41	0,470
	D2	0,60	0,69	0,90	2,19	0,730
	D3	1,15	1,47	1,55	4,18	1,393
		2,26	2,52	3,00		
TOTAL BLOQUES		5,74	6,08	6,63	18,45	1,025

Anexo 5.9 Rendimiento (kg/m²)

	DENS	I	II	III	TOTAL	PROM
V1 Berro mejorado	D1	1,99	2,05	38,46	6,40	2,133
	D2	3,20	3,12	27,46	9,40	3,132
	D3	4,50	4,71	24,72	13,84	4,614
		9,69	9,87	10,08		
V2 Berro de jardín	D1	1,41	0,98	1,53	3,91	1,305
	D2	1,66	1,93	2,50	6,09	2,029
	D3	3,20	4,09	4,31	11,61	3,870
		6,27	7,00	8,34		
TOTAL BLOQUES		15,96	16,88	18,42	51,25	2,847

Anexo 6. Presupuesto para sistema hidropónico re-circulante

DESCRIPCION	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs)	TOTAL (Bs)
Agrofilm	m	4,5	42	189
Arandelas	pieza	6	2,5	15
Bomba de agua de 0,5 HP de potencia	pieza	1	310	310
Chupador de 1" de diámetro	pieza	1	70	70
Cinta teflón de 3/4	pieza	1	20	20
Codos de 1" de diámetro	pieza	4	6	24
codos simples de 2" de diámetro	pieza	3	3	9
Cuerda de 5 mm de diámetro	unidad	3	5	15
espuma de poliuretano	pieza	3	24	72
Llave de paso 1/2" de diámetro	pieza	1	15	15
Llave de paso de 1" de diámetro	pieza	1	50	50
Madera 1" (1,25*0,15)	m^2	6	8	48
Madera 1" (1,90x0,15)	m^2	6	20	120
Miples 1 "de diámetro	pieza	5	2	10
Miples 1/2" de diámetro	pieza	1	2	2
Pegamento PVC	pieza	1	12	12
Polytubo de 1/2" de diámetro	m	10	1,1	11
Reductor de 1 1/2" a 1" de diámetro	pieza	2	8	16
Reductor de 1" a 1/2" de diámetro	pieza	1	4	4
Soporte en forma de L	pieza	12	1,5	18
T de 1" de diámetro	pieza	1	7	7
T de 1/2" de diámetro	pieza	2	4	8
T de 2" de diámetro	pieza	2	4	8
Tanque de agua capacidad 450 L	pieza	1	380	380
Tapones de PVC	pieza	3	2	6
Tapones macho de 1/2" de diámetro	pieza	2	3	6
Térmico (30 Amperios)	pieza	1	35	35
Tornillos	pieza	52	0,1	5,2
Zumideros de plastico	pieza	3	10	30
TOTAL				1515,2

Anexo 7. Cálculo de la depreciación

Nombre de los recursos	Precio al que se adquirió	Cantidad	Precio total (Bs)	Años de vida útil	Depreciación anual (Bs)
Sistema hidropónico	1515	1	1515	11	138
Herramientas	120	varios	120	5	24
Otros	100		100	5	20
TOTAL DEPRESIACION ANUAL					182
DEPRESIACION MENSUAL					15
DEPRESIACION POR CICLO PRODUCTIVO DE BERRO (1 cosecha)					30

Anexo 8. Análisis económico para una cosecha

	TRATAMIENTOS					
	1	2	3	4	5	6
Rdto. Prom (kg/m ²)	2,13	3,13	4,61	1,3	2,03	3,87
Rdto. Ajustado (-10%)	1,92	2,82	4,15	1,17	1,83	3,48

	BENEFICIO BRUTO (Bs/m ²)					
	Rdto. Prom (kg/m ²)	2,13	3,13	4,61	1,3	2,03
Rdto. Ajustado (-10%)	1,92	2,82	4,15	1,17	1,83	3,48
Pecio (Bs/kg)	21	21	21	21	21	21
BENEFICIO BRUTO (Bs/m²)	40,32	59,22	87,15	24,57	38,43	73,08

Anexo 9. Costos variables (1m²)

Insumos						
Semilla/planta	0,14	0,24	0,47	1,04	1,79	3,57
Riego	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
Envase	0,60	0,88	1,30	0,37	0,57	1,09
Fertilizantes						
Nitrato de calcio	0,39	0,66	1,33	0,39	0,66	1,33
Nitrato de potasio	0,03	0,05	0,09	0,03	0,05	0,09
Nitrato de amonio	0,09	0,16	0,31	0,09	0,16	0,31
Plant Prod Canada	0,83	1,43	2,86	0,83	1,43	2,86
Sulfato de magnesio	0,10	0,17	0,33	0,10	0,17	0,33
Mano de Obra						
Siembra	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17
Recolección	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78
Embolsado	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39
TOTAL CV (m²)	10,99	12,40	15,52	11,66	13,64	18,41

Anexo 10. Beneficio neto

BENEFICIO BRUTO	40,32	59,22	87,15	24,57	38,43	73,08
TOTAL COSTOS	17,88	19,29	22,41	18,55	20,53	25,30
BENEFICIO NETO	22,44	39,93	64,74	6,02	17,90	47,78

Anexo 11. Beneficio Costo

BENEFICIO BRUTO	40,32	59,22	87,15	24,57	38,43	73,08
TOTAL COSTOS	17,88	19,29	22,41	18,55	20,53	25,30
BENEFICIO/COSTO	2,25	3,07	3,89	1,32	1,87	2,89

Anexo 12. Cálculo para la cantidad de semilla/m²

		Núm de plantas/ 7,2 m ²	%Emerg		10% imprevistos	núm total de semillas	núm de semilla/g	costo (Bs/g)	total costo (Bs)
a	D1	378	90	420	0,1	462	5163	10	0,89
	D2	648	90	720	0,1	792	5163	10	1,53
	D3	1296	90	1440	0,1	1584	5163	10	3,07
j	D1	378	95	398	0,1	438	342	5	6,40
	D2	648	95	682	0,1	750	342	5	10,97
	D3	1296	95	1364	0,1	1501	342	5	21,94

plantas /1m ²	núm total de semillas/m ²	total costo (Bs/m ²)
58	71	0,14
100	122	0,24
200	244	0,47
58	71	1,04
100	122	1,79
200	244	3,57

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



Informe de Ensayo: A 75/15

Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYO DE AGUAS A75/15

Cliente:	FACULTAD DE AGRONOMIA - UMSA
Solicitante:	Univ. Roxana Tarquino Garcia
Dirección del cliente:	El Alto Zona Balliviá, Calle Pucarani # 25
Procedencia de la muestra:	Centro Experimental de Cota Cota
	Provincia: Murillo
	Departamento: La Paz
Punto de muestreo:	Cribo de Carpa de Horticultura - Fac. Agronomía
Responsable del muestreo:	Univ. Roxana Tarquino Garcia
Fecha de muestreo:	15 de febrero 2014
Hora de muestreo:	10:15
Fecha de recepción de la muestra:	10 de junio de 2014
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 10 al 26 de junio, 2014
Caracterización de la muestra:	agua de grifo
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Botella PET
Código LCA:	75 - I
Código original :	A - 1

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	A - 1 75 - I
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 365.2	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, julio 14 día 2014


Ing. Jaime Chincheros Paniagua
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



cc: WCH
JC-MCA

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