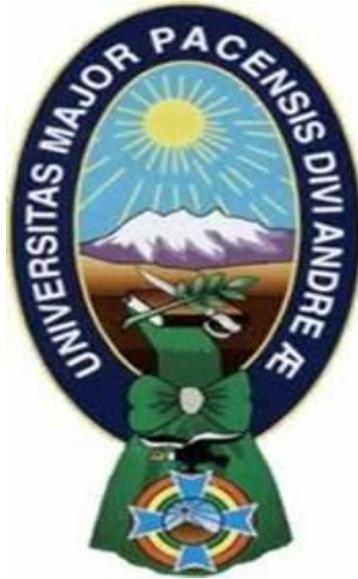


UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



TESIS DE GRADO

EVALUACIÓN DE DOS VARIEDADES DE RUCULA
(*Eruca sativa* L) EN TRES DENSIDADES BAJO LA TECNICA HIDROPONICA NFT
EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE
COTA COTA

DORADO MARTINEZ MARCO ANTONIO

LA PAZ, BOLIVIA

2018

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

EVALUACIÓN DE DOS VARIETADES DE RUCULA
(*Eruca sativa* L) EN TRES DENSIDADES BAJO LA TECNICA HIDROPONICA NFT
EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE
COTA COTA

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

Dorado Martínez Marco Antonio

ASESORES:

Ing. Freddy Carlos Mena Herrera

Ing. Willams Alex Murillo Oporto

TRIBUNAL EXAMINADOR:

Ing. M. Sc. Agr. Celia Fernández Chávez

Ph. D. David Cruz Choque

APROBADA:

Presidente tribunal examinador

La Paz, Bolivia

2018



DEDICATORIA

Deseo dedicar este trabajo a la memoria de mis padres que desde el cielo me cuidan y guían en cada paso que llevo: Adolfo Dorado quien con su trabajo, esfuerzo me dieron un ejemplo a seguir, a mi amada y añorada madre Maritza Martínez Cayo quien inculco todos los valores que una madre responsable dedicada, trabajadora, honesta, cariñosa y sobre todo con todo el amor que me dio en el poco tiempo que me acompañó en esta vida y que con mucho amor la recuerdo

Asimismo, me gustaría dedicar este trabajo a mi hija Dayami Maritza Dorado Ibañez quien es la razón de todo lo que hago, la luz de mi vida y a mi flaquita Roxana Ibañez quien me acompaña con amor en las buenas y en las malas T.Q.M.

También dedicar a mis hermanos: María Luisa Dorado, Michael Dorado y mi hermanita pequeña Lina María Dorado, quienes siempre recibo apoyo moral en todo lo que hago

“Que el conocimiento contenido en estos escritos te guíe a través de la oscuridad que nos depara el futuro”

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer de manera muy especial a mis asesores:

Al Ing. Williams Murillo Oporto, por el apoyo incesante de manera técnica, científica y moral, sin la cual no hubiera sido posible la ejecución de este estudio, muchas gracias.

Al ing. Freddy Carlos Mena, agradecerle por su apoyo incondicional en todos los aspectos ya que sin su ayuda y empuje no se haría realidad este trabajo, muchas gracias.

A la Ing. Celia Fernández, agradezco su asesoría, ayuda y tiempo que dedico a mejorar esta investigación, brindándome su amplia experiencia la que ha sido una motivación para mí, muchas gracias

Al Ph. D. David Cruz Choque por darme tanto de su tiempo para mejorar este trabajo, el gran conocimiento que tiene y experiencias, muchas gracias.

A la Universidad Mayor de San Andrés por formarme como profesional, dotándome de todos los conocimientos necesarios para poder realizar este trabajo.

Al Ing. Freddy Porco Chiri por la oportunidad y confianza para realizar esta investigación, realmente ha sido un ejemplo en mi desarrollo ético y profesional.

A mis compañeros Demis Monroy Tellez, Martin Rivera Arredondo, con quienes viví la gran experiencia de culminar mis estudios. A todos mis compañeros y amigos de cota cota y de la Facultad de Agronomía con quienes crecí académicamente durante todos estos años de estudio. Y a todas esas personas que no alcance a nombrar pero que estuvieron a mi lado dándome consejo, inspiración o ejerciendo en mí algún cambio que me permitió crecer como persona

CONTENIDO DE LA INVESTIGACIÓN

| | Pag. |
|------------------------|------|
| ÍNDICE GENERAL..... | iii |
| ÍNDICE DE CUADROS..... | vi |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | vii |
| RESUMÉN..... | viii |
| ABSTRACT..... | X |

INDICE GENERAL

| | |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Objetivos | 2 |
| 1.1.1. Objetivo general..... | 2 |
| 1.1.2. Objetivos específicos | 2 |
| 1.2. Hipótesis..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA..... | 3 |
| 2.1. Horticultura | 3 |
| 2.2. El cultivo de la Rúcula | 3 |
| 2.2.1. Origen | 4 |
| 2.2.1. Taxonomía | 4 |
| 2.2.2. Características botánicas..... | 5 |
| 2.2.2.1. Hoja | 5 |
| 2.2.2.2. Tallo | 5 |
| 2.2.2.3. Tallo floral | 5 |
| 2.2.2.4. Flor..... | 6 |
| 2.2.2.5. Inflorescencia..... | 6 |
| 2.2.2.6. Raíz | 6 |
| 2.2.2.7. Semilla | 6 |
| 2.2.2.8. Fruto | 7 |
| 2.2.3. Requerimientos agroecológicos y manejo del cultivo de Rúcula..... | 7 |
| 2.2.4. Composición y Valor Nutritivo de la Rúcula | 7 |
| 2.2.5. Variedades de Rúcula | 9 |
| 2.2.5.1. Silvestre | 10 |
| 2.2.5.2. Cultivada | 11 |
| 2.2.6. Densidad de plantación..... | 12 |
| 2.2.7. Labores culturales | 12 |
| 2.2.7.1. Siembra | 12 |
| 2.2.8. Rendimiento | 13 |
| 2.2.9. Plagas y enfermedades del cultivo de rúcula..... | 14 |
| 2.2.9.2. Enfermedades más importantes del cultivo de rúcula..... | 15 |
| 2.3. Hidroponía..... | 15 |
| 2.3.1. Historia de la hidroponía | 15 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.3.2. Ventajas y desventajas de la hidroponía..... | 16 |
| 2.3.3. Formas de cultivo hidropónico | 17 |
| 2.3.3.1. Cultivo hidropónico en medio líquido | 17 |
| 2.3.3.2. Cultivo hidropónico en sustrato sólido inerte | 19 |
| 2.3.4. Nutrición de las plantas..... | 19 |
| 2.3.4.1. Nutrientes minerales | 19 |
| 2.3.4.2. Funciones de los elementos nutritivos en las plantas | 20 |
| 2.3.4.3. Síntomas de deficiencia y toxicidad de los elementos esenciales | 21 |
| 2.3.5. Solución nutritiva..... | 23 |
| 2.3.5.1. Soluciones nutritivas utilizadas en hidroponía | 24 |
| 2.3.5.2. pH de la solución | 25 |
| 2.3.5.3. Conductividad Eléctrica | 26 |
| 2.3.5.4. Vida útil de la solución nutritiva | 26 |
| 2.4. Plagas de los cultivos hidropónicos..... | 27 |
| 2.4.1. Plagas insectiles en cultivos hidropónicos | 27 |
| 2.4.2. Enfermedades en cultivos hidropónicos..... | 28 |
| 2.5. Hortalizas utilizadas más frecuentes en hidroponía | 28 |
| 2.6. Características de la carpa solar | 29 |
| 2.6.1. Carpa solar..... | 29 |
| 2.6.2. Orientación..... | 29 |
| 3. LOCALIZACIÓN | 30 |
| 3.1. Ubicación geográfica..... | 30 |
| 3.2. Características agroecológicas | 31 |
| 3.2.1. Clima..... | 31 |
| 3.2.2. Suelos | 31 |
| 3.2.3. Vegetación | 31 |
| 3.3. Carpa solar..... | 32 |
| 4. MATERIALES Y METODOS..... | 32 |
| 4.1. Materiales..... | 32 |
| 4.1.1. Material vegetal..... | 32 |
| 4.1.2. Material de laboratorio | 32 |
| 4.1.3. Material de campo..... | 32 |
| 4.1.4. Material químico..... | 33 |
| 4.1.5. Material de escritorio | 33 |
| 4.2. Metodología..... | 34 |
| 4.2.1. Trabajo de campo | 34 |
| 4.2.1.1. Almacigos de sustrato inerte..... | 34 |
| 4.2.1.2. Armado de la Estructura del sistema flujo laminar de nutrientes (NFT) | 34 |
| 4.2.1.3. Agua para la Solución Nutritiva..... | 36 |
| 4.2.1.4. Trasplante al sistema hidropónico NFT | 37 |
| 4.2.1.5. Preparación de la solución nutritiva para el trasplante..... | 37 |
| 4.2.1.6. Medición de la temperatura | 37 |
| 4.2.1.7. pH de la solución nutritiva | 37 |
| 4.2.1.8. Conductividad eléctrica..... | 38 |
| 4.2.1.9. Cosecha..... | 38 |
| 4.2.2. Diseño experimental | 38 |
| 4.2.3. Croquis del experimento | 39 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2.4. Variables de respuesta | 40 |
| 4.2.4.1. Porcentaje de emergencia | 40 |
| 4.2.4.2. Numero de hojas..... | 40 |
| 4.2.4.3. Área foliar | 40 |
| 4.2.4.4. Altura de planta..... | 40 |
| 4.2.4.5. Rendimiento en peso fresco | 40 |
| 4.2.4.6. Análisis Económico Preliminar..... | 41 |
| 4.2.5. Análisis estadístico..... | 43 |
| 5. RESULTADOS Y DISCUSION | 43 |
| 5.1. Porcentaje de emergencia en almaciguera | 43 |
| 5.2. Altura de planta | 44 |
| 5.2.1. Comparación de medias para la altura de planta..... | 46 |
| 5.3. Área foliar del cultivo de rúcula | 47 |
| 5.4. Numero de hojas en el sistema NFT para el cultivo de rúcula. | 50 |
| 5.4.1. Comparación de medias para el número de hojas del cultivo rúcula | 52 |
| 5.5. Rendimiento en peso fresco de rúcula en el sistema NFT | 53 |
| 5.5.1. Comparación de medias para el rendimiento peso fresco de rúcula..... | 55 |
| 5.6. Análisis económico preliminar | 56 |
| 5.6.1. Rendimiento ajustado | 57 |
| 5.6.2. Número de campañas por año de las variedades..... | 57 |
| 5.6.3. Beneficio bruto | 58 |
| 5.6.4. Costos variables..... | 59 |
| 5.6.5. Costos fijos..... | 59 |
| 5.6.6. Costos totales | 60 |
| 5.6.7. Beneficio neto | 60 |
| 5.6.8. Relación beneficio costo (Bs/año)..... | 61 |
| 6. CONCLUSIONES | 62 |
| 7. RECOMENDACIONES | 64 |
| 8. BIBLIOGRAFIA | 65 |

INDICE DE CUADROS

| | Pag. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Cuadro 1: Contenido De Minerales En Cada 100 G De Hojas De Rucula. | 8 |
| Cuadro 2: Valor Nutritivo En 100 G De Hojas De Rucula..... | 8 |
| Cuadro 3: Ventajas Y Desventajas De La Hidroponía..... | 16 |
| Cuadro 4: Comparativo De Cultivos Tradicionales E Hidropónicos..... | 17 |
| Cuadro 5: Funciones De Los Macro Elementos En La Nutrición De Plantas. | 20 |
| Cuadro 6: Funciones De Los Micro Elementos En La Nutrición De Plantas. | 21 |
| Cuadro 7: Componentes Esenciales De La Solución Nutritiva..... | 25 |
| Cuadro 8: Cantidades De Ácidos Y Bases Para Ajustar El Ph..... | 27 |
| Cuadro 9: Interacción De Los Factores A Y B..... | 39 |
| Cuadro 10: Porcentaje De Emergencia De Las Dos Variedades De Rucula. | 43 |
| Cuadro 11: Altura De Planta Con Respecto A Los Dos Factores En Cm..... | 44 |
| Cuadro 12: Anva Para La Altura De Planta En El Cultivo De La Rucula. | 45 |
| Cuadro 13: Área Foliar Del Cultivo De Rucula En Cm ² | 47 |
| Cuadro 14: Anva Para El Área Foliar Del Cultivo De Rucula. | 48 |
| Cuadro 15: Numero De Hojas Entre Variedades Y Densidades De Plantacion. | 50 |
| Cuadro 16: Anva Para El Numero De Hojas Del Cultivo De Rucula. | 51 |
| Cuadro 17: Peso Fresco Por Planta Entre Variedades Bajo Efecto De Tipos De Almacigo. | 53 |
| Cuadro 18: Anva Para El Peso Fresco Por Planta Del Cultivo De Rucula. | 54 |
| Cuadro 19: Rendimiento Ajustado Por Corte. | 57 |
| Cuadro 20: Beneficio Bruto Anual. | 58 |
| Cuadro 21: Costos Variables Por Variedades (Bs/Año). | 59 |
| Cuadro 22: Costos Fijos Por Variedades (Bs/Año). | 60 |
| Cuadro 23: Costos Totales Por Variedades. | 60 |
| Cuadro 24: Beneficios Netos Anuales..... | 61 |
| Cuadro 25: Beneficio Costo Anual. | 61 |

INDICE DE FIGURAS

| | Pag. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Figura 1: Ubicación Del Invernadero De Horticultura, Donde Se Llevó A Cabo La Investigación..... | 30 |
| Figura 2: Distribución De Las Unidades Experimentales. | 35 |
| Figura 3: Ciclo Productivo De La Rucula En Sistemas Hidropónicos..... | 43 |
| Figura 4: Altura De Planta Del Cultivo De Rucula Por Tratamiento..... | 46 |
| Figura 5: Área Foliar De Dos Variedades De Rucula Con Tres Diferentes Densidades..... | 49 |
| Figura 6: Numero De Hojas Del Cultivo De Rucula Por Tratamientos. | 52 |
| Figura 7: Peso Fresco Por Planta De Rucula Por Tratamientos. | 55 |

INDICE DE ANEXOS

| |
|----------------------------------------------------------|
| Anexo 1:Almacigo de las dos variedades de rucula. |
| Anexo 2:Trasplante al sistema NFT del cultivo de rucula. |
| Anexo 3:Crecimiento de hojas. |
| Anexo 4:Elección de los tratamientos. |
| Anexo 5:Medición del área foliar. |
| Anexo 6:Embolsado de la rúcula con y sin raíz. |

RESUMEN

El cultivo de rúcula, es una hortaliza de hoja variedad de consumo no muy frecuente, caracterizadas por tener alto contenido de potasio, magnesio, hierro, vitamina C y pro-vitamina A. Es una hoja muy apreciada por su sabor particular picante y aromático de hojas basales en forma de roseta.

La hidroponía es un método desarrollado que se basa en sistemas balanceados de control en donde las plantas reciben una nutrición adecuada para su crecimiento y desarrollo, basándose en que las plantas mantienen sus raíces continua o intermitentemente inmersas en una solución acuosa que contiene los elementos minerales esenciales para su crecimiento.

El sistema NFT (Nutrient Film Technique), es una de las técnicas de la hidroponía con la cual se puede lograr una alta densidad de plantas, capaz de mecanizarse, automatizarse y adaptarse a regiones limitadas de precipitación, suelos no aptos para la agricultura y de climas adversos, por lo cual es una estrategia productiva de importancia para las zonas rurales y urbanas del Altiplano de nuestro país.

El objetivo de este trabajo, fue el de evaluar dos variedades de rúcula (*Eruca sativa* L), en tres densidades de plantación bajo condiciones hidropónicas con la técnica NFT (Nutrient Film Technique) en la centro experimental de Cota-Cota.

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar (DBA), con un arreglo bifactorial o de dos factores y con tres repeticiones de acuerdo al modelo estadístico. Los factores estudiados fueron variedades de rúcula Astro I y Astro II) y densidades de plantación (0,08 m; 0,12 m y 0,15 m). Realizando la interacción de los dos factores se obtuvo 6 tratamientos y se utilizó la solución nutritiva formulada a partir de los requerimientos nutricionales de la rúcula.

Para alcanzar el objetivo, se planteó siete variables de respuesta las cuales son: Porcentaje de emergencia, Número de Hojas, Área Foliar, Altura de Planta, Rendimiento en Peso Fresco y Análisis Económico Parcial.

El experimento se localizó en el centro experimental de Cota Cota dependiente de la Facultad de Agronomía - Universidad de Mayor de San Andrés (La Paz – Bolivia), ocupando un área de 80 m² y un ciclo de cultivo de 30 días.

Los resultados indican que la variedad Astro II plantada a una densidad de 0,08 m presento un rendimiento de 4,11 kg/m². Este rendimiento supero a la Astro I plantada a una densidad de 0,08 m que obtuvo un rendimiento de 3,96 kg/m²respectivamente.

La rúcula hidropónica, se cosecho a los 30 días de los cuales estuvo en los almácigos durante 7 días y en el sistema de flujo laminar de nutrientes durante 23 días. Mediante este ciclo de producción de puede obtener 10 ciclos productivos por año de rúcula hidropónica.

Para la relación beneficio/costo la variedad Astro II, fue la que presentó la mayor ganancia, con una relación beneficio costo de 2,20; en comparación a la variedad Astro I que presentó 2,09; las dos variedades plantadas a una densidad de 0,08 m. Lo que nos quiere decir que por cada boliviano invertido se ganara Bs 1,20 y Bs 1,09 respectivamente.

SUMMARY

The cultivation of rúcula, is a vegetable leaf variety of not very frequent consumption, characterized for having high content of potassium, magnesium, iron, vitamin C and pro-vitamin A. It is a leaf very appreciated for its particular spicy and aromatic flavor of basal leaves in the form of a rosette.

Hydroponics is a developed method that is based on balanced control systems where plants receive adequate nutrition for their growth and development, based on the fact that the plants maintain their roots continuously or intermittently immersed in an aqueous solution that contains the essential mineral elements for your growth.

The NFT system (Nutrient Film Technique) is one of the techniques of hydroponics with which a high density of plants can be achieved, capable of being mechanized, automated and adapted to limited regions of precipitation, soils unsuitable for agriculture and adverse climates, which is why it is a productive strategy of importance for the rural and urban areas of the Altiplano of our country.

The objective of this work was to evaluate two varieties of rúcula (*Eruca sativa* Mill), in three planting densities under hydroponic conditions with the NFT technique (Nutrient Film Technique) in the experimental center of Cota-Cota.

A randomized block experimental design (DBA) was used, with a two-factor or two-factor arrangement and with three repetitions according to the statistical model. The factors studied were varieties of Astro I and Astro II rúcula) and planting densities (0.08 m, 0.12 m and 0.15 m). By performing the interaction of the two factors, 6 treatments were obtained and the nutrient solution was used formulated from the nutritional requirements of the rúcula.

To reach the objective, seven response variables were proposed, which are: Emergency rate, Number of Leaves, Foliar Area, Plant Height, Fresh Weight Yield and Partial Economic Analysis.

The experiment was located in the Cota Cota experimental center under the Faculty of Agronomy - University of Mayor de San Andrés (La Paz - Bolivia), occupying an area of 80 m² and a cultivation cycle of 30 days.

The results indicate that the Astro II variety planted at a density of 0.08 m presented a yield of 4.11 kg / m². This performance surpassed the Astro I planted at a density of 0.08 m that obtained a yield of 3.96 kg / m² respectively.

The hydroponic rúcula was harvested after 30 days of which it was in the nursery for 7 days and in the system of laminar flow of nutrients for 23 days. Through this production cycle you can obtain 10 productive cycles per year of hydroponic rúcula.

For the benefit / cost ratio, the Astro II variety presented the highest gain, with a benefit-cost ratio of 2.20; in comparison to the variety Astro I que presented 2.09; the two varieties planted at a density of 0.08 m. What we want to say that for each Bolivian invested will earn Bs 1.20 and Bs 1.09 respectively.

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de plantas en agua o en solución nutritiva es llamada hidroponía el cual proviene de dos palabras griega (hidro = agua, phonos = labor), que hoy en día es la técnica más usada en la producción de hortalizas En regiones no aptas para su cultivo

Cultivos hidropónicos, termino aplicado al cultivo de plantas en soluciones de nutrientes sin emplear la tierra como sustrato es una técnica que cumple un papel muy importante en el desarrollo global de la agricultura por lo que en los últimos tiempos se está buscando emplear esta técnica por ser un modo de producción intensivo.

La presión por el incremento de la población, los cambios en el clima, la erosión del suelo, la falta y contaminación de las aguas, son algunos de los factores que han influenciado la búsqueda de métodos alternos de producción de alimentos (Delfín 2001).

La técnica de hidroponía de la Solución Nutritiva Recirculante, conocida como el Sistema NFT, que consiste en recircular permanentemente una solución nutritiva que moja las raíces de las plantas, aportándoles nutrientes, oxígeno durante su crecimiento y que es capaz de superar la producción de cultivos en tierra pues se aprovecha más el espacio aumentando la producción.

La producción de hortalizas puede hacerse en forma intensiva como actividad productiva bajo carpas solares o ambientes atemperados donde se pueden controlar el riego, la humedad como la temperatura.

La producción convencional de cultivos tales como las hortalizas en las regiones de altura, como valles y altiplano de Bolivia que cuentan con bajas temperaturas, sequías en ciertas épocas del año, suelos pobres en materias orgánicas. Hace que busquemos e incorporemos métodos no tradicionales para producir alimentos en zonas no agrícolas y no depender de las condiciones físicas, químicas del suelo y de los problemas climáticos.

La producción de cultivos hidropónicos es un método de producción intensivo por lo cual es capaz de superar a la producción del cultivo en tierra por muchos factores, el agotamiento del suelo por el constante monocultivo, mucha mano de obra, las enfermedades y plagas hacen que se busque otras alternativas de producción.

La hidroponía surge como una alternativa de solución a los problemas que se presentan en valles y altiplano de Bolivia para la producción de hortalizas y así poder cultivar hortalizas bajo ambientes atemperados y carpas solares

La técnica NFT (Nutrient Film Technique) o técnica de hidroponía de la Solución Nutritiva Recirculante en carpas solares o ambientes atemperados es una técnica que puede adaptarse a regiones con problemas climáticos adversos tales como heladas granizadas, cambio de estaciones climáticas durante todo el año como problemas de suelos donde presentan baja fertilidad y no son aptas para la agricultura.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Evaluar dos variedades de rúcula (*Eruca sativa* L) en tres densidades de plantación bajo condiciones hidropónicas con la técnica NFT (Nutrient Film Technique) en el centro experimental de Cota-Cota.

1.1.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar cuál de las densidades de plantaciones más adecuada para la producción de rúcula.
- ✓ Identificar la variedad que tiene mayor rendimiento con la técnica hidropónica recirculante NFT.
- ✓ Realizar el análisis económico preliminar de la producción de rúcula con la técnica hidropónica recirculante de flujo laminar de nutrientes.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Horticultura

Las hortalizas ocupan un lugar importante en todas las comunidades humanas, junto con las carnes. La producción agrícola mundial está formada básicamente por cereales, oleaginosas y hortalizas (Vigliola, 1992).

Según Sánchez (2004), el cultivo de las hortalizas es una de las prácticas agrícolas más rentables y fáciles de efectuar en nuestro medio, por lo que no requiere de amplios lugares y son de corto ciclo productivo.

Para Porco y Terrazas (2009), las hortalizas son plantas herbáceas, de ciclo anual o bienal, de prácticas agronómicas intensivas, cuyos productos son utilizados en la alimentación humana al estado natural o procesados, presentan un alto contenido de agua (mayor a 70%), un bajo contenido energético (menor a 100 calorías por cada 100 gramos) y una corta vida útil en post-cosecha.

2.2. El cultivo de la Rúcula

Es una hierba de tamaño medio (alrededor de 50 cm) con una roseta basal de hojas partidas. Tiene flores color crema con 4 pétalos y un fruto de 2-3 cm con un pico aplanado, (Rzedowski y Rzedowski, 2001).

Según Villatoro (2011), la rúcula es un cultivo conocido desde hace siglos. Su denominación proviene del latín “uro” que significa “quemo”, debido al sabor pungente que tiene. Es importante como cultivo de hoja en diferentes países circunmediterráneos entre los que se encuentran Italia, Grecia, Turquía, Egipto y Sudán.

La rúcula presenta hojas relativamente espesas y divididas. El limbo foliar tiene coloración verde y las nervaduras son verde claras, estas hojas son similares a las hojas del rábano y nabo. En Brasil las principales variedades comerciales de rúcula son denominadas cultivadas, entretanto presentan diferencias de tipo foliar, prendimiento y resistencia a plagas insectiles y enfermedades (Sala *et al*, 2004).

2.2.1. Origen

Según Rollins (1993), es originario del Mediterráneo occidental, ampliamente distribuida en las Américas; especialmente abundante en el centro de México, el origen semántico del nombre de esta planta alude a las culturas más antiguas del Cercano Oriente al latín *eruca*, del que aparecen, a través del romance, las voces «roqueta» y «oruga» del castellano actual. La arrugula o arugula está teniendo un auge a nivel mundial a través de restaurantes italianos como estimulante ya afrodisíaco.

Villaseñor y Espinosa (2000), señalan que es una planta originaria de la Región Mediterránea, conocida y cultivada desde la época de los romanos siendo considerada un afrodisíaco. Poco a poco, comenzó a conocerse en el sur de Europa y el oeste de Asia. Actualmente es un cultivo importante en la Europa meridional, Egipto y Sudán. En la India también es cultivada por la calidad del aceite que poseen sus semillas. Pero su difusión a nivel mundial es escasa.

Horturba (2011), indica que la rúcula (*Eruca sativa*) es una planta originaria de la región mediterránea, conocida y cultivada desde tiempos antiguos. En la época de los romanos se encontraba de forma natural en márgenes de caminos y en campos de cultivo.

2.2.1. Taxonomía

Según Leskova (2011), la rúcula presenta la siguiente clasificación:

| | |
|-------------------|-----------------------|
| Clase | : Magnoliopsida |
| Orden | : Cruciferas |
| Familia | : Brassicaceae |
| Nombre científico | : <i>Eruca sativa</i> |
| Nombre común | : Rúcula |

2.2.2. Características botánicas

2.2.2.1. Hoja

Las hojas basales son en roseta, pecioladas, de 10 a 15 cm, lirado-pinnatifidas; las caulinares sentadas, con 3 a 7 lóbulos o dentadas, inferiores de hasta 20 cm de largo, pinnatífidos o pinnadamente lobados, algunas con el lóbulo terminal más grande, las superiores son más pequeñas y menos profundamente divididas, a veces sésiles (Rzedowski, 2001).

Al respecto Maroto (2002) señala, existen variedades de esta hortaliza, donde sus hojas son oblongas, festoneadas en sus bordes, hendidas pinnado, partidas en la base y ásperas al tacto.

Pino (2012), menciona que la planta de rúcula tiene 5 a 7 hojas, cuyo tamaño varía según las épocas del año, pero puede llegar a 25 cm de largo o más. Como el órgano de consumo es la hoja sin inflorescencia, la aparición de esta no es deseable. Se cultiva al aire libre o en invernadero, en la primavera con días largos y altas temperaturas, florece, y esto perjudica la calidad.

2.2.2.2. Tallo

Rzedowski (2001), menciona que el tallo puede alcanzar hasta 1 m de altura, es de forma cilíndrica y vellosa, aunque también hay variedades con tallo lizo de color verde y posee muchas ramificaciones.

Generalmente ramificado desde la base. Tiene un tallo corto, por este motivo se lo denomina Eruca (Maroto, 2002).

2.2.2.3. Tallo floral

Según Rzedowski (2001), afirma que el tallo floral puede alcanzar hasta los 1 m de altura, cilíndrico y vellosa, aunque también hay variedades con tallo lizo de color verde y posee muchas ramificaciones. No requiere vernalización para formarse.

2.2.2.4. Flor

Terranova (1995), menciona que las flores de esta especie son hermafroditas, medianas con limbo amarillo, rosado y con venas violetas en la mayoría de las variedades.

Las flores son de 1,5 a 3,0 cm de longitud, incluyendo el pedicelo de 2-5 mm, sépalos de 10 a 12 mm de largo, pétalos de 15 a 25 mm de longitud, blancos, amarillentos o verdosos, con venación morada oscura o café (Espinosa y Sarukhán, 1997).

La flor es un brote especial cuyas hojas se han transformado para la reproducción. La forma de la flor de la rúcula es cruciforme, cuatro pétalos, dispuestos en forma de cruz (Alcaraz, 2002).

2.2.2.5. Inflorescencia

La inflorescencia es racimosa, alcanzando hasta los 30 cm de largo por racimo, llegando a poseer hasta 70 flores por racimo (Rzedowski, 2001).

2.2.2.6. Raíz

El sistema radical está fuertemente anclado en el suelo con raíz pivotante gruesa y ramificada (FAO, 2010).

2.2.2.7. Semilla

Las semillas son pequeñas de 1,5 a 2,5 mm, esférica de color pardo. Un gramo contiene aproximadamente de 450 a 500 semillas. La duración del poder germinativo es de 4 ó 5 años, aunque el porcentaje de germinación se reduce progresivamente (FAO, 2010).

Semillas de alrededor de 1,5 mm de largo, ovoides de color café amarillentas(Espinosa y Sarukhán, 1997).

2.2.2.8. Fruto

Frutos silicuas, de 2 a 4 cm de largo a veces con algunos pelos, ascendentes, angostos, aplanados y terminados en pico, con un nervio medio manifiesto en las valvas, que son quilladas, el pico es aplanado y en ocasiones tan largo como el resto del fruto (Espinosa y Sarukhán, 1997).

2.2.3. Requerimientos agroecológicos y manejo del cultivo de Rúcula

Moroto 2002, indica que puede cultivarse prácticamente en cualquier terreno, pero se obtienen mejores rendimientos en suelos de textura media (franco-arenosos a areno-arcillosos); ricos en materia orgánica y ligeramente ácidos a neutro.

Es una de las hortalizas cuyas plantas se caracterizan por una elevada capacidad de acumulación de nitratos en las hojas, aún en presencia de escasa cantidad de nitrógeno en el medio de cultivo. Esta capacidad distintiva de la especie ha sido interpretada como una estrategia evolutiva para la sobrevivencia de la especie aún en condiciones de carencia de nitrógeno en el medio de crecimiento (FAO, 2010).

Din (1976), sugiere que las condiciones de temperatura óptima para el cultivo bajo cubierta de *Eruca sativa* son de 22-24 °C durante el día y de 16-18 °C durante la noche, con una humedad relativa siempre por debajo del 60%.

2.2.4. Composición y Valor Nutritivo de la Rúcula

Bedri (2010), indica que contiene alto grado de potasio, magnesio, hierro, vitamina C y pro-vitamina A. Posee propiedades diuréticas, digestivas, la combinación de hierro y vitamina C favorece que sea un vegetal con cualidades contra la anemia.

La rúcula es una hortaliza de hoja muy apreciada por su sabor particular picante y aromático, contiene isotiocianato al igual que las semillas, las que se emplean como sustitutas de la mostaza blanca. Las hojas tienen un sabor amargo que se suaviza con la cocción o fritura. Las semillas son picantes, aunque algo menos que las mostazas. Contiene glucósidos, sales minerales y vitamina A y C. El aceite de la semilla contiene ácido erúcido (FAO, 2010).

Alarcón (2000), indica que la rúcula muestra una cantidad considerable de vitamina C, beta-caroteno o pro-vitamina A, también minerales como el magnesio, potasio y hierro. La combinación de su alto contenido en hierro y vitamina C, le brinda cualidades anti anémicas, pues nos ayuda a mantener unos niveles de glóbulos rojos adecuados y necesarios para el correcto funcionamiento del organismo. Las sustancias amargas de la rúcula estimulan la secreción de jugos gástricos y así ayudan al estómago a realizar mucho mejor la digestión.

En el cuadro 1, se puede observar el contenido mineral en cada 100 g de muestra de hojas de rúcula.

Cuadro 1: Contenido de minerales en cada 100 g de hojas de rúcula.

| Mineral | Contenido (mg) |
|-----------|----------------|
| Nitrógeno | 748,0 |
| Fósforo | 47,3 |
| Potasio | 469,7 |
| Cobre | 5,50 |
| Calcio | 128,0 |
| Magnesio | 43,2 |
| Hierro | 320,0 |
| Zinc | 28,65 |
| Manganeso | 24,1 |
| Sodio | 5,25 |

Fuente: www.cuencarural.com, 2008

En el cuadro 2, se observa el valor nutritivo que posee la rúcula por cada 100 g de muestra.

Cuadro 2: Valor nutritivo en 100 g de hojas de rúcula.

| Descripción | Composición |
|---------------------|-------------|
| Agua | 91,7 g |
| Calcio | 160 mg |
| Fibra | 2 g |
| Folatos | 97 mg |
| Hidratos de Carbono | 4 g |
| Hierro | 1,5 mg |
| Magnesio | 47 mg |
| Manganeso | 0,3 mg |
| Potasio | 369 mg |
| Vitamina A | 2373 UI |
| Vitamina E | 15 mg |
| Vitamina K | 109 mg |
| Calorías | 25 mg |

Fuente: Verdimed, 2011

2.2.5. Variedades de Rúcula

Existe dos variedades: rúcula cultivada y la silvestre. Supuestamente la “selvática” es la auténtica, su hoja es mucho más fina, se diferencian en que las semillas de la “selvática” son minúsculas, como un polvillo, mientras que las de la “cultivada” son más grandes, similares a la de los rabanitos. (Iberica, 2000).

Para Bedri (2010), las variedades rúcula cultivada y la rúcula silvestre se distinguen por tener hojas más grandes; esta última se encuentra incluso al lado de senderos y caminos y era recolectada por nuestros padres y abuelos.

Un nativo de cultivos de Brassica al sur de Europa y Asia Occidental, hay dos clases generales de rúcula cultivadas por los mercados en los EE.UU. y en el extranjero; podrá elegir de selecciones de ambos tipos de variedades cultivada y silvestre, ambos tipos tienen el sabor picante (Johnny's, 2015).

2.2.5.1. Silvestre

Esta variedad puede ser encontrada en diferentes lugares, sus hojas son más angostas y se diferencian en tamaños con respecto al largo de hoja (Murcia, s.f.).

a) Voyager

Más vigorosa, más uniforme y más erguida que las variedades estándar. Es también más lenta para el espigado, de hojas más gruesas y de color verde más oscuro.

b) Discovery

Tiene una hoja más oscura y elegante con un sabor excepcional, las hojas son más erguidas y lentas al espigado que las variedades estándar.

c) Adventuer

Hoja más robusta de color verde oscuro con mayor durabilidad en las góndolas. Esta variedad tiene un gran sabor y textura y buena tolerancia al espigado.

d) Dragons Tongue

Tiene venas coloradas muy atractivas en las hojas, lo que ciertamente la diferencia de las demás. También tiene un excelente sabor.

e) Wildfire

Se cultivó para diferenciarse en sabor y en la forma de la hoja. Su sabor es picante, la hoja es menos uniforme que la rúcula silvestre estándar, lo que le da a esta variedad una mayor apariencia silvestre. No está disponible su venta en el Reino Unido.

f) TZ 9029

Con espigado lento frente a las desafiantes temperaturas del verano y un excelente vigor y sabor, TZ9029 permite una mayor flexibilidad en el cultivo de rúcula silvestre.

2.2.5.2. Cultivada

Según García(s.f.), asevera que existen diferentes variedades cultivadas entre las más importantes se encuentran:

A) Selección Enza

El principio y final de campaña con seguridad con buenas características las cuales son las siguientes: Vigor de planta medio tolerante al espigado, hoja dentada de color verde oscuro, variedad de gran sabor y alto rendimiento, recolecciones de inicio de otoño y final de primavera (García, s.f.).

b) Rúcula disco

La transición con calidad con características: vigor de planta medio – alto, hoja dentada de color verde oscuro, variedad de alto rendimiento, recolecciones de otoño y primavera (Johnny's, 2015).

c) Bellezia

La seguridad del invierno con excelentes características: vigor de planta alto, hoja erecta y muy dentada de color verde oscuro, variedad de gran sabor y alto rendimiento, recolecciones de pleno invierno, variedad apta para cultivo al aire libre e invernadero (Johnny's, 2015).

d) Astro I

Variedad de sabor intenso, sin mucha pubescencia, de hoja poco dentada, lista para cosecha a los 38 días, germina muy bien a los 20 °C, resistente a la baja luminosidad (Johnny's, 2015).

e) Astro II

Una selección de rúcula regular con hojas lobuladas y menos profundamente un sabor ligeramente más suave. Flores comestibles de color blancas con venas oscuras de color rosa a medida que aparecen, el sabor es picante (Johnny's, 2015).

2.2.6. Densidad de plantación

Con la elección de una determinada distancia entre surcos y densidad de plantación debe tratarse de obtener una óptima población y el mejor aprovechamiento para la nutrición de las plantas (Birrueta, 1994).

Para Murillo (2010), las plántulas se trasplantan cuando alcanzan los 7 cm de altura, como también debe tener 2 a 3 hojas verdaderas y una raíz de 4 a 6 cm de largo, cabe resaltar que tanto los canales de cultivo y la cobertura deben estar desinfectadas con hipoclorito de sodio para posteriormente ser trasplantadas de acuerdo a la distancia de los huecos, donde crecen hasta la cosecha.

2.2.7. Labores culturales

El manejo técnico involucra prácticas que se desarrollan durante toda la temporada productiva, tales como confección de almácigos, preparación de suelo, manejo climático de los invernaderos, operación del sistema de riego, fertilización de los cultivos, manejo integrado de plagas y enfermedades, control de malezas, cosecha y embalaje de la producción (Obando y Mc Leod, 2010).

2.2.7.1. Siembra

Haeff (1997), indica la época de siembra de la rúcula es de enero a octubre, por lo que la podemos encontrar en el mercado durante todo el año.

El sustrato que se utiliza para la bandeja de germinación tiene una relación de 4 partes de arena fina de río, 4 partes de turba, 2 partes aserrín no descompuesto. La siembra es a 0,5 cm de profundidad con la técnica de siembra al boleó hasta que los plantines obtengan de 3 a 4 hojas verdaderas y su posterior trasplante (Carrasco e Izquierdo, 1996).

Díaz (2010) sostiene que para la siembra de una hectárea, se requiere 1,2 kg a 1,8 kg de semilla; variando la cantidad de semillas por gramo entre 500 a 650.

Herrera (2009), sugiere sembrar al boleto en terraplenes o camas procurando que las semillas queden esparcidas convenientemente y a una profundidad de siembra de 0.5 a 1.0 cm

b) Trasplante

El trasplante es de acuerdo al número de hojas que presenta la planta como también a la altura de la planta los cuales generalmente son: de 3 a 4 hojas verdaderas a una altura mayor a 7 cm (Carrasco e Izquierdo, 1996).

c) Cosecha

Horturba (2011), señala que la cosecha se debe realizar a los 40 días aproximados después de la siembra.

Normalmente se consumen las hojas frescas pero también se pueden consumir los tallos y flores, la cosecha empieza a partir de 4 a 6 semanas después de la siembra y es continua hasta la floración, la flor también es comestible y tiene el característico sabor picante de la hoja pero con mayor intensidad (Díaz, 2010).

Pino (2012), la cosecha se realiza con raíz o por cortes sobre la base del tallo, sobre hojas de 10 a 15cm. Tiene muy buena capacidad.

Según la FAO (2010), la planta de rúcula está lista para ser cosechada cuando las hojas alcanzan un buen tamaño y un parámetro importante es cuando las hojas basales son amarillas.

2.2.8. Rendimiento

El rendimiento del cultivo de rúcula es de 7500 a 8000 kg/ha, y puede variar según la época del año, el número de cortes, el tamaño de hoja a la cosecha, la variedad y la densidad de plantas. El rendimiento obtenido es de un promedio de 1,42 kg de hojas de rúcula por metro cuadrado sembrado. El rendimiento mencionado corresponde a un corte, pudiéndose realizar durante el ciclo 2 ó 3 cortes (Pino, 2012).

Para Correa y Carrasco (2013), en el rendimiento de temporada primaveral, se obtuvo un promedio de 1000,8 g/m² de materia fresca del cultivo de rúcula. .

2.2.9. Plagas y enfermedades del cultivo de rúcula

El control de plagas y enfermedades deben estar bajo la supervisión, dada la importancia que tiene este punto en el medio ambiente:

2.2.9.1. Plagas insectiles más importantes del cultivo de rúcula

| Plagas insectiles | Método de muestreo | Toma de decisión | Otros medios de control |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Trips | Si existe transmisión de virosis se recomienda el uso de trampas. | Aplicación de insecticidas ante los primeros individuos detectados. | Siempre son recomendados agro textiles o mallas anti trips para prevenir el ingreso de individuos al cultivo. Desmalezado. |
| | Prestar atención a la presencia de ninfas poco móviles en las axilas de las hojas y en el envés de las mismas. | La aplicación de insecticidas se realizara según el estado del cultivo ante la presencia de la plaga. Se recomienda aplicar cuando se observen de 1 a 3 individuos por planta. | |
| Pulgonos | Prestar atención especialmente en las axilas de las hojas. | Aplicar ante la presencia de la plaga. | |
| Minadores | Prestar atención especialmente a la presencia de daño por minas o punteado por alimentación y ovoposición. | Al iniciarse la observación de los daños. | |
| Noctuidios | Prestar atención al terreno previo ala siembra o trasplante. | Ante la presencia de la plaga. | |
| Caracoles y babosas | Observación directa de hojas perforadas y presencia de la plaga desde el atardecer hasta la salida del sol por la mañana. | Presencia de los primeros individuos y daños. | Desmalezado. Para el caso de las isocas cortadoras es necesario la utilización de cebos tóxicos a base de afrecho de trigo y concentrados de jugo de naranja con insecticidas piretroides. |

Fuente: FAO (2010).

2.2.9.2. Enfermedades más importantes del cultivo de rúcula

| Enfermedad y agente causal | Síntomas sobresalientes | Condiciones favorables | Manejo cultural | Control químico |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Roya blanca (Albugo sp.) | Se presenta en forma de ampollas blancas en la cara superior de las hojas y pústulas eflorescentes blancas en la cara inferior. | Sobrevive en semillas y plantas infectadas. Aparece cuando el ambiente se mantiene muy húmedo y frío por un periodo más o menos prolongado. | Eliminación de plantas o restos infectados del cultivo. | No hay productos inscritos. |

Fuente: FAO (2010).

2.3. Hidroponía

El vocablo hidroponía proviene de dos palabras griegas “HYDRO” que significa agua y “PONOS” que significa trabajo. Se concibe a la hidroponía como una serie de sistemas de producción en donde los nutrientes llegan a la planta a través del agua, son aplicados en forma artificial y el suelo no participa en la nutrición (Gilsanz, 2007).

La hidroponía o cultivo sin suelo es una técnica cuya importancia reside en su alta producción por metro cuadrado, gran eficiencia en el uso de agua y una multiplicidad de cultivos compatibles que brindan a los productos de las zonas áridas y semiáridas una oportunidad interesante de producción (Birgi, 2015).

Para Huterwal (1956), el cultivo hidropónico, es el método que consiste en proveer a las plantas los alimentos que necesita, para su crecimiento, no por medio de su habitáculo natural, la tierra, sino por medio de una solución sintética de agua y de sales minerales diversas.

2.3.1. Historia de la hidroponía

El trabajo sobre los constituyentes de las plantas comenzó, hacia el año 1600; no obstante, las plantas fueron cultivadas sin tierra mucho tiempo antes. Los jardines colgantes de Babilonia, los jardines florecientes de los aztecas, en México, y los de la China imperial son ejemplos de cultivos “hidropónicos”, existiendo también

jeroglíficos egipcios fechados cientos de años antes de Cristo que describen el cultivo de plantas en agua (Resh, 1997).

De acuerdo a Beltrano y Giménez (2015), menciona que los Jardines Flotantes de China, son considerados ejemplos hidropónicos, al igual que las formas de cultivo que se emplearon en Cachemira. Se afirma también, que existen jeroglíficos egipcios, de cientos de años AC que describen el cultivo de plantas en agua a lo largo del Nilo a través de un primitivo esquema hidropónico.

Los primeros investigadores realizaban ensayos en laboratorio inapropiados para obtener rendimientos amplios. Corresponde al D. Wm. F. Gericke, profesor asociado de fisiología vegetal en la Universidad de California, el mérito de haber comenzado en 1938 a realizar cultivos sin tierra “en grande”. Este profesor fue quien invento la palabra hidroponía (Huterwal, 1991).

2.3.2. Ventajas y desventajas de la hidroponía

Para poder iniciar el cultivo hidropónico se debe evaluar las ventajas y desventajas que le pueden ocasionar este tipo de producción de alimentos:

Cuadro 3: Ventajas y desventajas de la hidroponía.

| Para Rodríguez, (2002), las Ventajas del cultivo hidropónico son las siguientes: | Según Gilsanz, (2007), las Desventajas de los cultivos hidropónicos son: |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Menor número de horas de trabajo y más livianas. | Costo inicial alto. |
| No es necesaria la rotación de cultivos. | Se requieren conocimientos de fisiología y nutrición vegetal. |
| No existe la competencia por nutrientes. | Desbalances nutricionales causan inmediato efecto en el cultivo. |
| Las raíces se desarrollan en mejores condiciones de crecimiento. | Se requiere agua de buena calidad. |
| Mínima pérdida de agua. | El sistema NFT es dependiente de la energía eléctrica. |
| El sistema se ajusta en áreas de producción no tradicionales. | Se requieren variedades de semilla para hidroponía lo cual es difícil encontrar en el mercado local. |

En el cuadro 4, se presenta un análisis comparativo de sistemas de cultivo tradicional y los hidropónicos o sin suelo los cuales dan una gran ventaja a la hidroponía.

Cuadro 4: Comparativo de cultivos tradicionales e hidropónicos.

| | Sobre Suelo | Sin Suelo |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Nutrición de la planta | Muy variable difícil de controlar | Controlada, estable, fácil de observar y corregir |
| Espaciamiento | Limitado a la fertilidad | Densidades mayores, mejor uso del espacio y la luz |
| Control de Malezas | Presencia de malezas | Prácticamente inexistentes |
| Enfermedades y Patógenos del suelo y Nematodos | Enfermedades del suelo | No existe estrés hídrico, pérdida casi nula |
| Agua | Plantas sufren de estrés ineficiente uso del agua | |

Fuente: Universidad de Osaka, Japón, JICA (1998), Citado por Gilsanz, (2007).

El sistema de flujo laminar de nutrientes, desarrollado y utilizado por muchos países, actualmente es posible implementar este sistema con materiales y equipos de menor precio, ya sea, a través de la utilización de madera, diferentes tipos de plástico (PVC, polietileno, poliuretano, poliestireno), caños y bombas de agua de costo reducido (Carrasco e Izquierdo, 1996).

2.3.3. Formas de cultivo hidropónico

Para Sánchez (2004), el concepto hidropónico se utiliza actualmente en dos niveles distintos Cultivo hidropónico puro en medio líquido y Cultivo hidropónico en sustrato sólido inerte.

2.3.3.1. Cultivo hidropónico en medio líquido

El pionero de esta técnica fue Allen Cooper, en el Glasshouse Crops ReserchInstitute, en Litlehampton (Inglaterra), 1965. El término *Nutrient Film Technique* fue utilizado en dicho Instituto para remarcar que la profundidad del flujo del líquido que pasaba a través de las raíces de las plantas debía ser muy pequeño

(laminar), para que de esta forma siempre pudieran disponer del oxígeno necesario. Resh (1987).

Según Marulanda (2003), el medio de cultivo más económico y fácil de conseguir es el agua que se usa con el mismo fin que el sustrato sólido; permitir el desarrollo de las raíces y la absorción de agua y de las sustancias nutritivas adicionadas, pero en un ambiente totalmente líquido.

En estos sistemas de producción hidropónica podemos mencionar a las siguientes:

- Sistema de raíz flotante
- Sistema en columnas
- Sistema aeropónico
- Sistema acuapónico
- Sistema *Nutrient Film Technic* (NFT)

- System Nutrient Film Technic(NFT)

El sistema más conocido es el NFT que corresponde a las siglas de nutrient film technique, que fue desarrollado a finales de 1960 por el Dr. Allan Cooper. Está basado en mantener una delgada lámina de solución nutritiva que continuamente se encuentra en recirculación, pasando a través de las raíces de la planta aportando agua, nutrientes y oxígeno (Baixauli; Aguilar, 2002).

DICTA (2002), agrega que el sistema consiste en recircular la solución por una serie de canales de Cloruro de Polivinilo (PVC) de un diámetro de 4 a 6 pulgadas, el agua junto con la solución nutritiva circula por el medio de los tubos mediante una bomba, los tubos están apoyados sobre mesas o armazón, y tiene una ligera 26 pendiente que facilita la circulación de la solución, en la que posteriormente es recolectada y almacenada en un tanque, la cual es recirculada nuevamente.

El oxígeno es aportado por la solución y por el aire que rodea a gran parte de las raíces, que se dificulta con el aumento de la temperatura, ya que el consumo se duplica con el aumento de 10°C, mientras que la disolución del oxígeno en la

solución baja de 9,6 a 7,8 mg/L para 20 y 30 °C respectivamente (Beltrano y Giménez, 2015).

2.3.3.2. Cultivo hidropónico en sustrato sólido inerte

En este sistema se utiliza un medio sólido (sustrato) para el soporte de las raíces de las plantas (Alpizar, 2004).

Resh (1987), casi todos los cultivos en sustrato utilizan un sistema de sub irrigación. Esto es, el agua se bombea en las bancadas y fluye algunas pulgadas por encima de la superficie, drenando a continuación hacia el depósito de nutrientes.

En el lenguaje hidropónico, los sustratos son materiales sobre los que se desarrollan las raíces de las plantas (Marulanda, 2003).

2.3.4. Nutrición de las plantas

2.3.4.1. Nutrientes minerales

De acuerdo a Resh (1987), de los 108 elementos naturales que se conocen, solamente 60 de ellos han sido encontrados en diversas plantas, no obstante muchos de estos no se consideran esenciales para el crecimiento, solamente 16 elementos están generalmente considerados como esenciales para el crecimiento de la mayoría de las plantas.

La nutrición para las plantas en la Hidroponía es suministrada en forma de soluciones nutritivas que se consiguen en el comercio agrícola. Las soluciones pueden ser preparadas por los mismos cultivadores cuando ya han adquirido experiencia en el manejo de los cultivos o tienen áreas lo suficientemente grandes como para que justifique hacer una inversión en materias primas para su preparación (Huterwal, 1991).

Las soluciones nutritivas concentradas, contienen todos los elementos químicos que las plantas necesitan para su desarrollo y adecuada producción de raíces, tallos, hojas, flores, frutos o semillas. Si cualquiera de los elementos de las soluciones se

agrega al medio en proporciones inadecuadas, estos efectos pueden ser tóxicos para la planta, Sánchez (2004).

2.3.4.2. Funciones de los elementos nutritivos en las plantas

Cuadro 5: Funciones de los macro elementos en la nutrición de plantas.

| Macroelementos | |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elemento | Función |
| Carbono | Es constituyente de todos los compuestos orgánicos de las plantas. |
| Hidrogeno | Constituyente de todos los compuestos orgánicos en los cuales el carbono también forma parte. Es además, muy importante su acción en el intercambio de cationes en Las relaciones planta - suelo. |
| Oxígeno | Forma parte de la mayoría de los compuestos orgánicos de las plantas. El caroteno es uno de los pocos compuestos orgánicos en que no se encuentra el O ₂ . Interviene en el intercambio de aniones en las raíces y el medio exterior. Es receptor terminal del H en la respiración aeróbica. |
| Nitrógeno | Forma parte de numerosos compuestos orgánicos, tales como la glucosa, como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas, clorofila. |
| Fosforo | Es parte de muchos compuestos orgánicos, ATP ²³ , ácidos nucleicos, fosfolípidos y algunas coenzimas. |
| Potasio | Su acción es como coenzima o activador de numerosas enzimas. Es requerido en altos niveles en la síntesis de proteínas. |
| Azufre | Aparece en compuestos orgánicos que incluyen aminoácidos y proteínas. También contienen azufre la coenzima A y las vitaminas B ₁ y B ₈ . |
| Magnesio | Es parte esencial de la molécula de la clorofila; necesario para la actividad de numerosas enzimas, lo que comprende los pasos más importantes en la actuación del ATP. Es esencial para mantener la estructura del ribosoma. |
| Calcio | En las paredes de la célula se encuentra como péctate cálcico, que une las paredes primarias de las células adyacentes. Es indispensable para mantener la integridad de la membrana y forma parte de la enzima alfa-amilasa. En ocasiones puede interferir la capacidad del magnesio para activar las enzimas. |

Fuente: Grass, (1993)

La carencia tanto de macronutrientes y micronutrientes puede generar desordenes en el crecimiento y desarrollo del cultivo (Huterwal, 1991).

Cuadro 6: Funciones de los micro elementos en la nutrición de plantas.

| Microelementos | |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elemento | Función |
| Hierro | Indispensable para la síntesis de la clorofila, y parte esencial del citocromo que actúa como portador de electrones en la fotosíntesis y en la respiración. Parte esencial de la ferridoxina ²⁴ . |
| Cloro | En la fotosíntesis actúa como activador de enzimas para la producción de oxígeno a partir del agua. Su insuficiencia causa efectos en las raíces. |
| Manganeso | Activa la enzima responsable de la forma del ADN ²⁵ y del ARN ²⁶ , como también la enzima deshidrogenasa en el ciclo de Krebs ²⁷ . Activa algunas enzimas en síntesis de los ácidos grasos. Tiene participación directa en la producción fotosintética de O ₂ a partir del H ₂ O. |
| Boro | Aunque su papel en las plantas no es bien conocido, se le tiene por indispensable para el transporte de los carbohidratos. |
| Zinc | Es necesario para la formación de la hormona del ácido indolacético ²⁸ . Activa las enzimas alcohol deshidrogenasa, ácido glutámico deshidrogenasa y carbopeptidasa. |
| Cobre | Actúa como portador de electrones y forma parte de algunas enzimas. Es parte de la plastocianina ²⁹ , que actúa en la fotosíntesis, y también de la enzima oxidasa polifenol. |
| Molibdeno | Actúa como portador de electrones en la conversión del nitrato de amonio, siendo igualmente esencial en la fijación del N ₂ . |

Fuente: Grass, (1993)

2.3.4.3. Síntomas de deficiencia y toxicidad de los elementos esenciales

Pueden ocurrir síntomas de deficiencia o toxicidad nutricional, si no hay prácticas de manejo adecuadas de la solución de nutrientes, que incluyen, probar la solución de nutrientes regularmente y realizar análisis de tejido foliar de las plantas paulatinamente (Almodovar, 1998).

Según Rodríguez, Hoyos y Chang (2002), la deficiencia y toxicidad de los principales elementos, son los siguientes:

a) Deficiencia

- **Nitrógeno:** Aspecto enfermizo de la planta. Color verde amarillento debido a la pérdida de clorofila. Desarrollo lento y escaso.
- **Fosforo:** Desarrollo y madurez lento, aspecto raquítrico en los tallos. Mala germinación de las semillas. Bajo rendimiento de frutos y semillas. Aparición de hojas, ramas y tallos de color purpureo.
- **Potasio:** Las hojas de la parte más baja de la planta se queman en los bordes y puntas; generalmente la vena central conserva el color verde, tienden a enrollarse. En las leguminosas da lugar a semillas arrugadas y desfiguradas que no germinan o que originan plantas débiles.
- **Calcio:** Las hojas jóvenes de los brotes terminales se doblan al aparecer y se queman en sus puntas y bordes. Las hojas jóvenes permanecen enrolladas y tienden a arrugarse. Puede producirse la muerte de los extremos de las raíces.
- **Magnesio:** Pérdida del color verde, que comienza en las hojas de abajo y continua hacia arriba, pero las venas conservan el color verde. Las hojas se tuercen hacia arriba a lo largo de los bordes. Los tallos se forman débiles, y las raíces se ramifican y alargan excesivamente.
- **Cobre:** Las hojas más jóvenes toman color verde oscuro y se enrollan. Escasa formación de la lámina de la hoja, disminución de su tamaño y enrollamiento hacia la parte interna, lo cual limita la fotosíntesis.
- **Boro:** Anula el crecimiento de tejidos nuevos y puede causar hinchazón, también una descoloración de los vértices radiculares y muerte de la zona apical (terminal) de las raíces.

b) Toxicidad

- **Nitrógeno:** La floración y la producción de frutos y semillas se retardan. Cuando se le suministra en cantidades desbalanceadas en relación con los demás elementos,

la planta produce mucho follaje de color verde oscuro, pero el desarrollo de las raíces es reducido.

- **Fosforo:** Los excesos de fosforo no son notorios a primera vista, pero pueden ocasionar deficiencia de cobre o de zinc.

- **Potasio:** No es común la absorción de exceso de potasio, pero altos niveles de el en las soluciones nutritivas pueden ocasionar deficiencia de magnesio y también de manganeso, zinc y hierro.

- **Calcio:** No se conocen síntomas de excesos, pero estos pueden alterar la acidez del medio de desarrollo de la raíz y esto si la disponibilidad de otros elementos para la planta.

- **Cobre:** Clorosis férrica, enanismo, reducción en la formación de ramas, engrosamiento y escurrimiento anormal de la zona de las raíces.

- **Boro:** Se produce un amarillamiento del vértice de las hojas, seguido de la muerte progresiva, que va avanzando desde la parte basal des estas hasta los márgenes y vértices. No se deben exceder las cantidades de este elemento dentro de las soluciones nutritivas ni dentro de los sustratos, porque en dosis superiores a las recomendadas es muy toxico.

2.3.5. Solución nutritiva

Según Penningsfield (1983), las soluciones deberán contener todos los elementos necesarios para las plantas, en las debidas condiciones y en la dosis conveniente, debiendo cumplir, junto a los elementos nutritivos, la que efectúan en el suelo los microorganismos y los coloides. Así púes, debemos dar gran importancia a la fabricación y control de las soluciones nutritivas.

Sánchez y Escalante (1988), define solución nutritiva como, el conjunto de elementos nutritivos requeridos por las plantas, disueltos en agua. Se ha probado que para el crecimiento y desarrollo de las plantas son necesarios los elementos

como: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre, magnesio, hierro, manganeso, boro, cobre, zinc, molibdeno, cloro y níquel.

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

Barry, (1997), indica que la cantidad de cualquier mineral presente en una solución nutritiva es medida en partes por millón (ppm). Es exactamente lo mismo que medir en mg/litro o g/1000 litros.

Gilda (2005), menciona que a través de la disolución de fertilizantes altamente solubles en el agua, se entregan los elementos minerales esenciales para el cultivo en cualquier estado de desarrollo que se encuentre la planta.

2.3.5.1. 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 cosechar, la estación del año, el clima, la calidad del agua y el estado de desarrollo de la planta (Bautista, 2000).

Por su parte Resh (1978), indica que de los 92 elementos naturales que se conocen, solamente 16 son esenciales para el crecimiento de las plantas en diferentes proporciones. Los 16 elementos considerados como esenciales para el desarrollo y crecimiento de las hortalizas, se dividen en macro nutrientes, requeridos en grandes cantidades y los micronutrientes, requeridos en menor cantidad (Izquierdo, 2003).

Cuadro 7: Componentes esenciales de la solución nutritiva.

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

Fuente: Izquierdo (2003)

La solución de nutrientes en un sistema NFT debe circular las 24 horas, por lo que es recomendable el uso de una bomba con controlador de tiempo (Alpizar, 2004). La solución debe circular entre 1 a 2 litros por minuto y no debe permanecer por más de tres a cuatro semanas en el sistema (Orellana, 2002).

2.3.5.2. pH de la solución

De acuerdo a Fossati (1986), el grado de acidez o de alcalinidad de una solución varía de 0 a 14 las soluciones con pH inferior a 4 o superior a 9 no puede ser usado en hidroponía, porque son ácidas o muy alcalinas respectivamente. Las variaciones del pH son determinadas por los elementos químicos que componen o integran las soluciones, la solución tendrá un determinado pH en función del porcentaje de productos químicos (ácidos, alcalinos o neutros) que la compongan.

El pH de una solución nutritiva nos 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; Aguilar, 2002).

El pH de una solución es importante ya que controla la disponibilidad de sales de los fertilizantes, y se considera además como un pH óptimo de 5,8 para el crecimiento de la lechuga, aunque también es aceptable rangos entre 5,6 y 6,0 (Albright, 2004).

Según Gilsanz (2007), los valores de pH entre 5,5 y 7,0; presentan la mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas. Fuera de este rango las formas en que se pueden encontrar los nutrientes resultan inaccesibles para ser absorbidos por la planta, por lo que es fundamental mantener el rango de pH.

2.3.5.3. Conductividad Eléctrica

Las plantas van consumiendo los nutrientes proporcionados, lo cual significa que la conductividad eléctrica también irá descendiendo hasta que la solución ya no contenga la cantidad necesaria para el crecimiento de las plantas, ya es necesario el cambio o el aumento de nutrientes, Resh (1987).

Según Alvarez (1999), 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 la corriente eléctrica.

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

La conductividad eléctrica es un indicador indirecto de la concentración salina del agua y de la solución nutritiva; nos puede dar un indicio si el agua a utilizar es la adecuada y sobre la vida útil de la solución nutritiva en el sistema (Gilsanz, 2007).

2.3.5.4. Vida útil de la solución nutritiva

Resh (1987), la conductividad eléctrica está muy relacionado con la cantidad de sólidos disueltos en la solución, lo que permite determinar la vida útil de la solución

que depende principalmente del porcentaje de acumulación de los iones extraños que no son utilizados por las plantas.

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).

Cuadro 8: Cantidades de ácidos y bases para ajustar el pH.

| Compuesto | Peso Molecular | Cantidad por litro | Concentración |
|-------------------------------------------------------|----------------|--------------------|---------------|
| Hidróxido de potasio (KOH) | 56,09 | 56,09 g | 1 N |
| Ácido clorhídrico 37%(HCL) | 36,47 | 82,83 ml | 1 N |
| Acido fosforito 85% (H ₃ PO ₄) | 98,00 | 22,70 ml | 1 N |
| Ácido nítrico 65% (HNO ₃) | 63,00 | 69,23 ml | 1 N |
| Ácido sulfúrico 85% (H ₂ SO ₄) | 98,00 | 31,36 ml | 1 N |

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

2.4. Plagas de los cultivos hidropónicos

La literatura indica que la hidroponía puede producir unas presiones selectivas extremas de nuevos patógenas, adaptadas a esta condición y no encontradas en sistemas de cultivos tradicionales. Algunos patógenos considerados secundarios en el campo, pueden adquirir niveles epidémicos en hidroponía, como *Pythium dissotocum* en lechuga, en los Estados Unidos y Italia, *Cercospora* sp. Lechuga en el Brasil. (Rodríguez, Hoyos, y Chang 2002).

2.4.1. Plagas insectiles en cultivos hidropónicos

Las plagas insectiles que más se presentan o son más frecuentes en los Cultivos Sin Tierra son: La mosca blanca, Los gusanos o larvas, Los pulgones, Los minadores, Las babosas (Marulanda, 2003).

Dentro de las plagas del follaje cuyas larvas atacan las hojas de las plantas más jóvenes se encuentran: los Áfidos, pulgón verde (*Myzus persicae* Sulzer) y *Pemphige betae*; la *Diaphania* spp. y la chicharrita o cigarrita (*Empoasca* spp.) Los insecticidas que se deben usar son los de corta residualidad y baja toxicidad Las larvas del Minador de la hoja (*Liriomyza sativae*), hacen galerías en forma espiral en

las hojas comúnmente llamadas minas, el ataque severo provoca que las hojas se sequen y se caigan (Casaca, 2005).

2.4.2. Enfermedades en cultivos hidropónicos

Una enfermedad común en hidroponía es la pudrición de raíces provocados por los hongos *Pythium* spp., *Fusarium* spp., estas provocan la muerte de las plantas en los semilleros o en pleno crecimiento. Se debe al exceso de humedad en el medio de crecimiento, aireación pobre y alta densidad de plántulas. Este hongo sobrevive en el polvo y partículas de suelo en el piso. Se disemina a través de las manos, herramientas e insectos como la mosquita de los hongos. La recirculación de la solución de nutrientes hace fácil su diseminación a todo el cultivo (Almodovar, 1998).

Otra enfermedad frecuente es el añublo polvoriento, provocado por los hongos *Erysiphe cichoracearum* y *Sphaeroteca fuliginea*, provocan un crecimiento blanco polvoriento en las hojas y tallos de las plantas infectadas. Es favorecido por alta densidad de siembra y baja intensidad de luz. Una alta humedad relativa (> de 95%) favorece la infección por este hongo y condiciones secas favorecen la colonización del tejido por el hongo y su diseminación (Supulveda, 2004).

2.5. Hortalizas utilizadas más frecuentes en hidroponía

Para poner en práctica dichos sistemas de producción, que recibe el nombre de semiforzada o forzada, son precisos una serie de elementos especiales, tales como: semilleros, invernaderos, sistemas hidropónicos, sistemas de riego y fertilización, sustratos, y especialmente especies y variedades de hortalizas que se adapten bien a estos sistemas, Enciclopedia de la Agricultura y Ganadería Océano (2007).

Son muchas las especies que se pueden cultivar bajo esta técnica; sin embargo, el productor debe considerar algunos factores como: plantas que mejor se adapten a las condiciones ambientales donde vive; cultivos anuales o de ciclo corto y que sean las más utilizadas en el hogar (Guzmán, 2004).

2.6. Características de la carpa solar

2.6.1. Carpa solar

Las carpas solares son ambientes que permiten conformar microclimas atemperados, a la vez esto minimizan los efectos de las heladas (Días, 1993).

La tecnología de protección de cultivos implementada en Bolivia, se ha basado en la adaptación de diferentes modelos de invernaderos a las condiciones climáticas y socio-económicas locales. De este proceso de adaptación han resultado varios tipos de invernaderos que se repiten con mayor o menor frecuencia en diferentes lugares (Blanco *et al.*, 1999).

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).

2.6.2. Orientación

Para Blanco *et al.* (1999), la orientación de los invernaderos es determinante para lograr la mayor captación de luz solar y de calor durante el día. La orientación óptima depende del modelo de invernadero utilizado. Los criterios más importantes a considerar en cada caso son:

- Trayecto entre la naciente y poniente del sol (varía según las estaciones del año).
- Dirección e intensidad de los vientos dominantes.
- Material de cobertura.
- Sistemas de ventilación.
- Disposición de los cultivos dentro del invernadero.

Hartman (1990), dice que la lámina de protección transparente o techo de un ambiente atemperado en el hemisferio sur debe orientarse hasta en norte con el objetivo de captar la mayor cantidad de radiación solar de esta manera el eje longitudinal está orientado de este a oeste.

En los modelos con amplia superficie de insolación (túnel y doble caída), la orientación longitudinal recomendada para lograr la mayor captación de luz y calor es de Norte a Sur (Blanco *et al.*, 1999).

3. LOCALIZACIÓN

3.1. Ubicación geográfica

Este estudio se realizó en el Centro Experimental de Cota-Cota dependiente de la facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés. Situado en la Provincia Murillo del departamento de La Paz a 3445 m.s.n.m. y a 16° 32' 04'' Latitud Sur y 68° 03' 44'' Longitud Oeste, la temperatura máxima oscila entre 21,5°C.

El centro experimental comprende una superficie de 7.850 m² y se encuentra ubicada en el campus universitario de la zona de Cota Cota al Sud-Este de la ciudad de La Paz, en el margen derecho del río Jillisuya, ladera este con exposición oeste presenta una precipitación de 558,53 mm/año en promedio datos actuales del SENAMHI (2011).

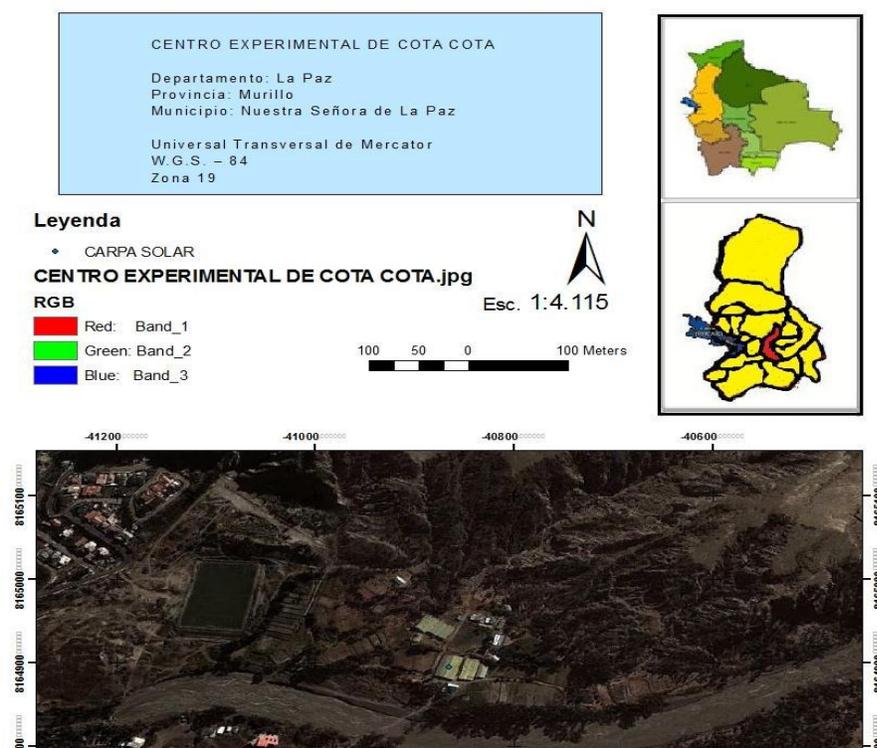


Figura 1: Ubicación del invernadero de horticultura, donde se llevó a cabo la investigación.

3.2. Características agroecológicas

3.2.1 Clima

La zona se caracteriza por ser seca durante gran parte del año, pues la estación de lluvias se concentra con altas precipitaciones en los meses de diciembre hasta febrero, la precipitación anual de la zona está alrededor de los 488,53 mm año. Las temperaturas máximas se registran en los meses de octubre y noviembre que alcanzan 21,5 °C, las temperaturas mínimas alcanzan su máximo valor en los meses de junio y julio llegando a registrar -0,6 °C, y una temperatura media de 11,5 °C. Los fuertes vientos se presentan en el mes de agosto como en todo el Departamento (SENAMHI, 2015).

3.2.2 Suelos

Los suelos son arcillosos y franco arcillosos con pH ligeramente alcalino, con baja porosidad y elevada compactación, impidiendo la infiltración del agua y su almacenamiento, con un alto riesgo de erosión. La capa arable es poco profunda estos suelos son muy aptos para el cultivo de alfalfa y otras leguminosas.

3.2.3 Vegetación

La vegetación predominante en el Centro Experimental Cota Cota está conformada por especies silvestres, especies cultivables (sistema intensivo y extensivo), frutales, especies arbóreas y arbustivas. Entre las especies arbóreas se encuentran especies como: Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), Ciprés (*Cupressus macrocarpa*), Álamo (*Pupulos deltoides*), Aromo negro (*Acasia melanoxilon*); entre los arbustos tenemos la Retama (*Spartium junceum.*); arbustos de origen andino, de mediana estatura como la Chilca (*Baccharis incanun*), considerado como un elemento típico de la Puna; entre las herbáceas está el Kikuyo (*Penisetum sp.*), Tarwi silvestre (*Lupinus altimontanus*). Otras especies: Alfa alfa (*Medicago sp.*), Tréboles (*Trifolium sp.*) que son fijadores de nitrógeno (Zeballos, 2000).

3.3. Carpa solar

El experimento se realizó en ambiente protegido o carpa solar tiene una construcción de dos aguas, la estructura de soporte interno está conformada de postes de madera y acoplados a vigas de dos y tres pulgadas. Toda la estructura está cubierta de plástico AGROFILM de 250 micrones. La superficie que ocupa el lugar es de 200 m² con una altura máxima central de 3,0 m; las paredes laterales alcanzan a 1,8 m de altura, ancho de la carpa solar es de 10 m y largo de 20 m, con ventanas laterales, frontales anterior y posterior.

4. MATERIALES Y METODOS

4.1. Materiales

4.1.1. Material vegetal

El material vegetal que se utilizó en la presente investigación, fueron dos variedades de rúcula Astro I y Astro II (Johnny`s. 2015), cuyas características ya fueron mencionadas.

4.1.2. Material de laboratorio

- ❖ Balanza analítica de un kilo de capacidad.
- ❖ Peachimetro para la medición de la acides y de bases de la solución.
- ❖ Conductimetro para medir la conductividad eléctrica de la solución nutritiva.
- ❖ Vaso precipitado de 50 ml.
- ❖ Termómetro.

4.1.3. Material de campo

Los materiales que se utilizaron para la construcción del sistema hidropónico recirculante fueron los siguientes:

- ✓ Maderas de 2 metros y 1,8 metros, con un espesor 2 pulgadas y 3 pulgadas.
- ✓ Tubos de PVC (Poly Vinyl Chloride) de 3 Pulgadas de diámetro y una cantidad de 25 barras.
- ✓ Polytubo de ½ Pulgada de diámetro y 12 metros de longitud.

- ✓ Tubos de PVC (Poly Vinyl Chloride) de 2 Pulgadas de diámetro y de longitud 10 metros.
- ✓ Micro tubo de 6 milímetros de diámetro y 10 metros de longitud.
- ✓ 10 conectores para emisores.
- ✓ 2 llaves de paso con unión patente de 1 Pulgada de diámetro para el retorno y la distribución.
- ✓ 6 tapones de PVC (Poly Vinyl Chloride) 3 pulgadas de diámetro.
- ✓ Un tanque de agua con una capacidad de 300 Litros.
- ✓ Una bomba de agua de 1 HP de potencia.
- ✓ 5 kilos de clavos de 2 pulgadas y de 1 pulgadas.
- ✓ Una hoja de esponja de 4 centímetros de espesor.
- ✓ Hojas de plastofomo en un total de 12, de largo 1 metro y 0,5 metros de ancho.
- ✓ Agrofilm de 15 metros de largo y 4 metros de ancho.
- ✓ Taladro, serrucho, martillo, alicate, cubetas y cita métrica.
- ✓ Turba, arena fina de rio y aserrín no descompuesto.
- ✓ Poliestireno o esponja corriente.

4.1.4. Material químico

- Plant prod Canadá en cantidad de 381,860 gr.
- Nitrato de amonio (NH_4NO_3) en cantidad de 125,605 gr.
- Nitrato de Calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) en cantidad de 463,160 gr.
- Sulfato de Magnesio heptahidratado ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) en cantidad de 196,91 gr.
- Nitrato de Potasio (KNO_3) en cantidad 23,306 gr.
- Quelato de hierro en cantidad de 2,105 gr.

4.1.5. Material de escritorio

- Máquina de calcular, cámara fotográfica, lápices, cuaderno de apuntes, computadora, impresora, hojas de papel bond y regla.

4.2. Metodología

4.2.1. Trabajo de campo

El experimento se realizó en la infraestructura de producción de hortalizas de la Facultad de Agronomía, UMSA; perteneciente al campus universitario de Cota Cota la misma que tiene las siguientes características: carpa solar tipo doble agua, cubierta de las paredes por agrofilm de 250 micras de espesor, ambos techos como paredes de agrofilm con una superficie de 200 m², el área de ensayo destinado fue de 80 m².

4.2.1.1. Almácigos de sustrato inerte

Para la cual se utilizó una bandeja de madera de 80 cm por 100 cm, con una altura de 10 cm, la cual esta forrada de agrofilm, con orificios en la parte inferior.

El sustrato tuvo una relación de 4 partes de arena fina de río, 4 partes de turba, 2 partes aserrín no descompuesto.

La siembra fue realizada a una distancia de 5 cm entre surcos, 1cm entre semillas y una profundidad de 0,5 cm, donde se esperó hasta que la plantita tenga 3 a 4 hojas, aproximadamente el tiempo fue de 15 días.

4.2.1.2. Armado de la Estructura del sistema flujo laminar de nutrientes (NFT)

a) Desmalezado y nivelado del suelo para la estructura

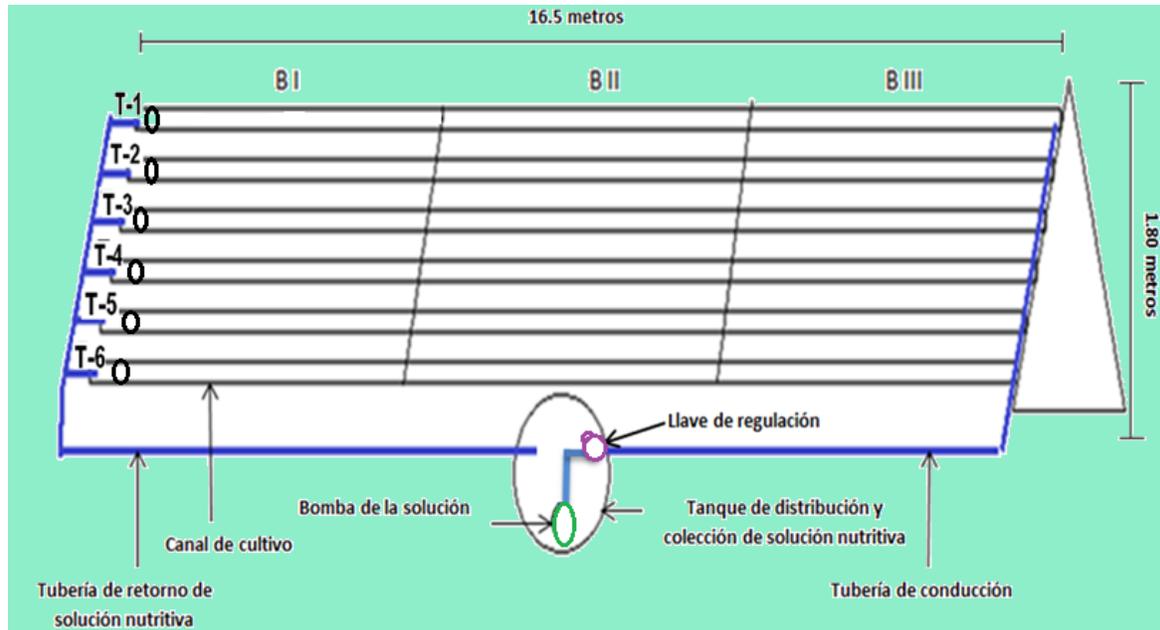
Se realizó el desmalezado y nivelado del terreno donde se construyó la estructura del sistema de flujo laminar (NFT), donde se utilizó un herbicida (Glifomax 20 ml/20 litros de agua) para un mejor trabajo durante el experimento.

b) Pirámide de madera

Se armó una pirámide de madera (figura 2), con medidas: 1,80 metros de largo, 5 cm de espesor y 8 cm de ancho, el cual sirvió como la base de la pirámide. Las maderas con pendiente midieron 2,0 metros de largo, 5 cm de espesor y 8 de

ancho. Las maderas fueron sujetadas por clavos en forma de "A" y cada triángulo estaba separado cada 1,20 metros.

Figura 2



c) Canales de cultivo

Los canales de cultivo fueron constituidos con 18 tubos de PVC de diámetro de 3 pulgadas y con un largo de 4 metros. Estos tubos se cortaron a la mitad longitudinalmente utilizando una amoladora. Posteriormente fueron tapados con plastoformo de 1 cm de espesor, también se abrieron orificios de 1 pulgada para la planta, separados a 20cm entre planta y planta. Los canales de cultivo en los dos extremos se taparon para evitar el calentamiento. Todos los canales de cultivo reposaron en las pirámides de madera, de medidas: de ancho 0,85 m y una altura de 2,0 m, los canales tendrán una pendiente de 2%, separados una de otra por 0.30 m.

d) Tanque colector

Se utilizó un recipiente de plástico con una capacidad de 300 litros. El tamaño en función del volumen según los requerimientos del cultivo por día, en el caso de la rúcula requiere 1/16 litros por cada planta de solución nutritiva (Carrasco, 1996).

e) Red o tubería de distribución

Se utilizó Polytubo el cual fue instalado a la bomba y recorría toda la pirámide hasta llegar a los canales de cultivo (donde inicia la pendiente), la solución se distribuyó en una relación de 2 litros por minuto, utilizando emisores (micro tubo de 6 mm), conectores plásticos y glomet.

f) Bomba de agua

La bomba tiene una potencia de 1 HP, el tubo de la entrada de la solución fue instalado con un succionador inoxidable para evitar la entrada de impurezas que pueden afectar al buen funcionamiento de la bomba. También tiene dos llaves una para retorno directo al tanque y otra para regular la distribución de la solución nutritiva.

g) Tubería colectora

Al final de cada canal de cultivo se conectó los tubos flexibles (utilizados en el cableado de electricidad) para que el agua vaya del tubo superior al tubo inferior y así sucesivamente hasta completar tres tubos y posteriormente llegar al tubo de desagüe que tiene un diámetro de 2 pulgadas y luego pasar al tanque colector.

4.2.1.3. Agua para la Solución Nutritiva

Se utilizó el agua potable del Centro Experimental de Cota Cota, fue desclorada de dos maneras. La primera fue utilizando el desclorador Aqua Safe, que es un producto comercial que está compuesto de Organic Chelating Compounds, Sodium Hydroxymethane, Sulfinate, polyvinylpyrrolidones y Organic Coloids. La segunda manera fue dejando reposar al sol durante 12 horas.

Se realizó el análisis de laboratorio del agua a utilizar en la solución nutritiva para la presente investigación.

4.2.1.4. Trasplante al sistema hidropónico NFT

Se realizó el trasplante después de 15 días de haber sembrado la semilla y que los plantines tengan alrededor de 2 a 3 hojas verdaderas, se utilizó una cuchara para extraer los plantines y toda su raíz y luego lavarlas en agua desclorada para que no tenga ningún resto de sustrato inerte y posteriormente ponerlo a las esponjas y llevarlas a las pirámides, esto en el caso del almacigo en sustrato inerte.

4.2.1.5. Preparación de la solución nutritiva para el trasplante

Tomando en cuenta la cantidad de dicha solución para cada trasplante. En la presente investigación se preparó 100 litros de solución nutritiva para cada 15 días que estaban en el área de crecimiento final, en total fueron 2 cambios de la solución, en todo el ciclo productivo del cultivo de la rúcula se tiene un total de 200 litros de solución nutritiva. Tomando en cuenta que cada planta absorbe 1/16 de litro de solución nutritiva por planta.

4.2.1.6. Medición de la temperatura

Se utilizó un termómetro de máximas y mínimas el cual se encontraba instalado en la parte intermedia de la pirámide del área de estudio logrando obtener datos diarios. Las temperaturas que se registraron fueron de 36,2 °C como máximo en el día y la mínima fue registrado con 4.03 °C.

4.2.1.7. pH de la solución nutritiva

Estos datos se tomaron todos los días, utilizando un Peachimetro, desde el trasplante hasta la finalización del experimento. Teniendo como promedio de pH de la solución nutritiva de 6.45, este dato se obtuvo a las 14:00 pm de todos los días, hasta la cosecha.

Se realizó el ajuste del pH, en el último estado fenológico del cultivo de rúcula, cuando este valor llegaba a un estado básico de 7.5, añadiendo ácido sulfúrico al 85% de pureza, en una cantidad de 5 ml en 100 litros de solución nutritiva.

4.2.1.8. Conductividad eléctrica

Estos datos se tomaron todos los días, utilizando un Conductímetro desde el trasplante hasta la finalización del experimento. Se obtuvo un promedio de 1.743mmhos/cm, dato medido a las 14:00 pm.

4.2.1.9. Cosecha

Cuando la rúcula alcanzó su mayor tamaño de 0.15 m a 0.18 m, esto a los 30 días, se procedió a la cosecha y retiro de los restos de esponja que sujetaba la parte radicular, para posteriormente ser lavada la parte radicular, embolsada y llevada al mercado de Achumani para su venta.

A la vez se hizo una medición de las hojas por planta y después se realizó el pesado del total de las plantas cosechadas por unidad experimental.

4.2.2. Diseño experimental

En la presente investigación, se utilizó un diseño de bloques al azar (DBA) con arreglo bifactorial o de dos factores, y tres repeticiones de acuerdo al modelo estadístico (Ochoa, 2009).

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j$$

Dónde: Y_{ijk} = Una observación cualquiera.

μ = Media poblacional.

α_i = Efecto del i -ésimo nivel del factor A (Variedades de rúcula).

β_j = Efecto de la j -ésima nivel del factor B (Densidad de plantación).

E_{ij} = Error experimental asociado a la ij -ésima unidad experimental (Interacción factor A* factor B).

Factor A = Variedades de rúcula Astro I y Astro II.

Factor B = Tres diferentes densidades de plantación(0,08 m; 0,12 m y 0,15 m).

La interacción de los dos factores, “dos variedades de rúcula” y “tres densidades de plantación”, forma 6 tratamientos, cada tratamiento consta de 3 repeticiones, por lo

tanto se contabiliza 18 unidades experimentales, como se puede apreciar en el cuadro 9.

Cuadro 9: Interacción de los factores A y B.

| Factor "A" | Factor "B" | Interacción de los Factores | Tratamientos |
|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------|
| Variedad de rúcula | Densidades de plantación | Factor A * Factor B | |
| Variedad de rúcula Astro I | Densidad de 0,08 m | Variedad de rúcula astro 1 con Densidad de 0,08 m | T-1 |
| | Densidad de 0,12 m | Variedad de rúcula astro 1 con Densidad de 0,12 m | T-2 |
| | Densidad de 0,15 m | Variedad de rúcula astro 1 con Densidad de 0,15 m | T-3 |
| Variedad de rúcula Astro II | Densidad de 0,08 m | Variedad de rúcula astro 2 con Densidad de 0,08 m | T-4 |
| | Densidad de 0,12 m | Variedad de rúcula astro 2 con Densidad de 0,12 m | T-5 |
| | Densidad de 0,15 m | Variedad de rúcula astro 2 con Densidad de 0,15 m | T-6 |

4.2.3. Croquis del experimento

El croquis de la presente investigación se encuentra en la carpa de Horticultura de la Estación Experimental de Cota Cota, el área experimental es de 80 m², la pirámide de la estructura NFT, tiene una altura de 1,80 metros y los canales de cultivo un largo de 16,5 metros. Las plantas de rúcula están separadas a una distancia de 0,08; 0,12 y 0,15 metros, teniendo por cada canal de cultivo 206; 137 y 110 plantas, haciendo un total de 906 plantas. La elección de las unidades observadas se la hicieron al azar, tomando 5 muestras por cada tratamiento, haciendo un total de 90 muestras de los cuales se toman los datos de las diferentes variables en estudio. La distribución de los tratamientos y los bloques se detallan en la figura 2.

4.2.4. Variables de respuesta

4.2.4.1. Porcentaje de emergencia

Este dato se obtuvo cada día, desde la siembra, hasta los 7 días después de la misma, datos tomados de la almaciguera preparada, la cual contaba con 600 semillas. Se utilizó dos almacigueras para separar las dos variedades en estudio.

4.2.4.2. Numero de hojas

La determinación del número de hojas por planta se realizó mediante el conteo desde la primera hoja con desarrollo completo, los datos se tomaron con una frecuencia de 3 días en 24 muestras por variedad, después de 9 días de la siembra, hasta la cosecha.

4.2.4.3. Área foliar

Este dato se obtuvo al final de la cosecha, utilizando un papel milimetrado en el cual se dibujan las hojas de la planta con representación, el conteo se realizó en cm^2 .

4.2.4.4. Altura de planta

Para el registro de esta variable se midió desde la parte basal del cuello hasta el ápice de la planta cada tres días hasta el momento de la cosecha.

4.2.4.5. Rendimiento en peso fresco

Los valores obtenidos de cada planta se expresaron en kilogramos después de la cosecha, se procedió al pesado correspondiente de las muestras de cada variedad y por tratamiento utilizando la balanza, posteriormente estos datos se tabularon para sacar el promedio de peso fresco por cada tratamiento.

4.2.4.6. Análisis Económico Preliminar

La evaluación Económica preliminar se realizó según la metodología propuesta por CIMMYT (1988), que recomienda el análisis de beneficios netos y el cálculo de la tasa de retorno marginal de los tratamientos alternativos, para obtener los beneficios y costos marginales. Los rendimientos se ajustaron al menos 10% por efecto del nivel de manejo, puesto que el experimento estuvo sujeto a cuidados y seguimientos que normalmente no se dan en condiciones de producción comercial.

a) Beneficio Bruto (BB)

Es llamado también ingreso bruto, es el rendimiento ajustado, multiplicado por el precio del producto (CIMMYT, 1988).

(Ecuación 1)

$$BB = R \times PP$$

Dónde:

BB = Beneficio Bruto (Bs)

R = Rendimiento Ajustado (Bs)

PP = Precio del producto (Bs)

b) Costos Variables (CV)

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

c) Costos Fijos

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

d) Costos Totales

Es la suma del costo total variable más el costo total fijo. Se suman estos dos costos para conocer cuánto de dinero se utilizó en total en un ciclo de producción de lechuga hidropónica.

e) Beneficio Neto (BN)

Es el valor de todos los beneficios brutos de la producción (BB), menos los costos de producción (CP).

(Ecuación 2)

$$BN = BB - CP$$

Dónde:

BN = Beneficios Netos (Bs)

BB = Beneficios Brutos (Bs)

CP = Costos de producción (Bs)

f) Relación Beneficio / costo (B/C)

Es la relación que existe entre los beneficios brutos (BB), sobre los costos de producción (CP).

(Ecuación 3)

$$B/C = BB/CP$$

Dónde:

B/C = Beneficio Costo (Bs)

BB = Beneficios Brutos (Bs)

CP = Costos de Producción (Bs)

Cuando:

(B/C) > 1 Aceptable

(B/C) = 1 Dudoso

(B/C) < 1 Rechazado

4.2.5. Análisis estadístico

Todos los datos fueron procesados por el programa estadístico InfoStat (Software Estadístico). InfoStat es un software estadístico desarrollado por el Grupo InfoStat, un equipo de trabajo conformado por profesionales de la Estadística Aplicada con sede en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba (Di Rienzo, 2008).

5. RESULTADOS Y DISCUSION

Para tener una mejor comprensión de las variables de respuesta esto se lo dividió en base a las dos áreas: área de germinación (almacigueras de sustrato inerte) y área de crecimiento final (sistema de flujo laminar de nutrientes NFT) con respecto al ciclo de producción de la rúcula hidropónica de la presente investigación, esto se detalla en la siguiente figura.

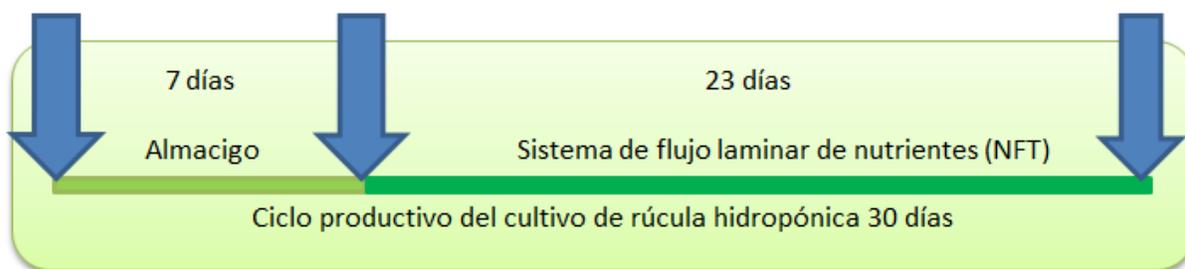


Figura 3: Ciclo productivo de la rúcula en sistemas hidropónicos.

5.1. Porcentaje de emergencia en almaciguera

El porcentaje de emergencia se determinó contando el total de plantas emergidas a los 5 días después de la siembra del cultivo de rúcula en el almacigo de sustrato inerte y las dos variedades, estos datos se muestran en el siguiente (cuadro 10).

Cuadro 10: Porcentaje de emergencia de las dos variedades de rúcula.

| Almacigo | Variedades de rúcula (%) | |
|-----------------|--------------------------|----------|
| | Astro I | Astro II |
| Sustrato Inerte | 86,11 | 92,34 |

De acuerdo al porcentaje de emergencia, se encontró que la variedad Astro II, obtuvo 92,34% de emergencia, a su vez se diferencia con menor promedio la variedad Astro I con un valor de 86,11% en promedio.

Tomando en cuenta los tipos de sustratos inertes que se utilizaron fueron a base de 40% de arena fina de río, 40% de turba y 20% de aserrín no descompuesto.

En conclusión (cuadro 11) se puede afirmar que la variedad con mayor porcentaje de emergencia es la variedad Astro II, por lo que se puede afirmar que esta variedad tiene mejor comportamiento en estos sustratos mencionados.

La diferencia en el porcentaje de emergencia se puede atribuir al potencial genético de las variedades en estudio de la presente investigación.

También se puede afirmar que el sustrato inerte beneficio a la mejor emergencia de las dos variedades de rúcula con una mínima diferenciación del 6,23% y un porcentaje en promedio de emergencia de las dos variedades de 89,22%, este dato nos demuestra que las dos variedades tienen un alto porcentaje germinativo.

5.2. Altura de planta

La altura de la planta del cultivo de rúcula, nos indica el momento de cosecha, esta es una variable que podría ocasionar que la planta se desplome de la pirámide o inclinarse en el canal de cultivo dejando expuestas las raíces a la luz solar, esto se muestra en el siguiente (cuadro 12).

Cuadro 11: Altura de planta con respecto a los dos factores en cm.

| Variedades | Densidades de plantación | | | Promedio (cm) |
|-----------------|--------------------------|-------|-------|---------------|
| | D-1 | D-2 | D-3 | |
| Astro I | 24,64 | 22,48 | 22,67 | 23,26 |
| Astro II | 25,64 | 24,02 | 23,93 | 24,53 |
| Promedio | 25,14 | 23,25 | 23,30 | |

De acuerdo al cálculo en promedio, con respecto al factor variedades, para la variable altura de planta, se encontró que la variedad Astro II con un valor de 24.53 cm obtuvo un mayor promedio y con menor altura la variedad Astro I con 23.26 cm.

Para el factor densidades de plantación se comprobó que la mayor altura en planta se presenta con la densidad 0.08 m con un valor en promedio de 25.14 cm y los valores de las dos últimas densidades no tienen diferencias significativas.

Para una mejor evaluación de la variable altura de planta del cultivo de rúcula por efecto de dos variedades y tres densidades de plantación, se realizó el análisis de varianza (Cuadro 12).

Cuadro 12: ANVA para la altura de planta en el cultivo de la rúcula.

| FV | SC | GL | CM | F | p - valor |
|---------------------------------|-------|----|------|-------|-------------|
| Bloques | 21,38 | 5 | 4,28 | 6,23 | 0,0045** |
| Factor variedades | 7,22 | 1 | 7,22 | 10,52 | 0,0070** |
| Factor densidades de plantación | 13,93 | 2 | 6,97 | 10,15 | 0,0026** |
| Variedades*Densidades | 0,22 | 2 | 0,11 | 0,16 | 0,8511 N.S. |
| Error | 8,23 | 12 | 0,69 | | |
| Total | 29,61 | 17 | | | |

* Significativo al 5% ** Altamente significativo al 1% N.S.: No significativo

$$C.V. = 3,47\%$$

En el cuadro 13, se observa que existe diferencias estadísticas altamente significativas, entre bloques, estadísticamente esto nos muestra que se tuvo buena precisión en el diseño.

Se han encontrado diferencias altamente significativas para el factor variedades lo que significa que la altura de planta difiere en las dos variedades de rúcula, reportando que la variedad Astro II tuvo mayor crecimiento en comparación con la variedad Astro I.

También se tubo diferencias altamente significativas para el factor densidades esto se atribuye a que las densidades se distinguen en los promedios obtenidos.

Para la interacción de tipos de almacigo por variedades no es significativo, esto nos determina que ambos factores actúan independientemente uno del otro.

El coeficiente de variación es de 3,47% indicando, que los datos del análisis estadístico son confiables, (Ochoa, 2009) por encontrarse dentro de los rangos

permisibles de variabilidad; además indica un buen planteamiento y manejo experimental.

5.2.1. Comparación de medias para la altura de planta

En la figura 4, se comparan las medias de los tratamientos de las dos variedades con el factor densidades.

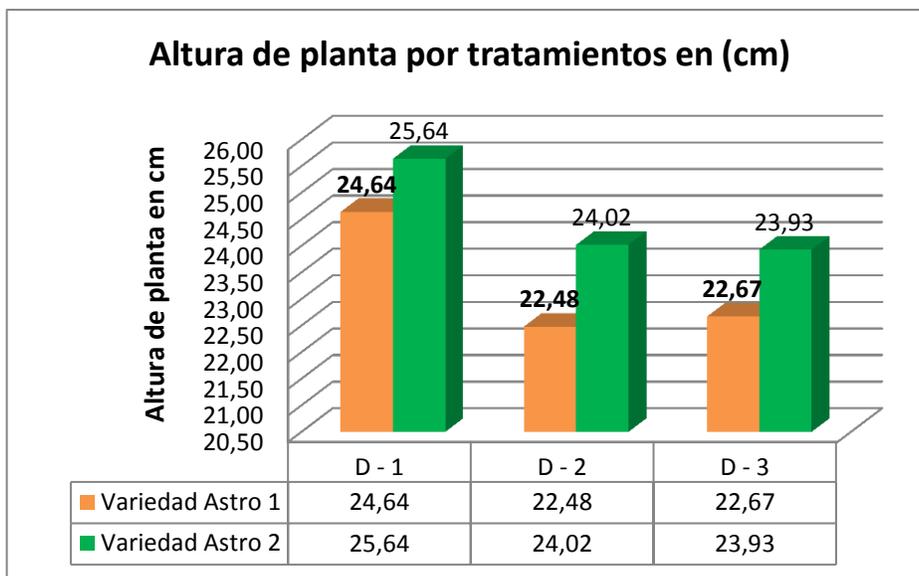


Figura 4: Altura de planta del cultivo de rúcula por tratamiento

De la figura 4, se deduce que la variedad Astro II; tuvo una mayor altura de planta con 25,64 cm y con menor altura de planta la variedad Astro I; con 24,64 cm.

El mejor tratamiento que obtuvo mayor altura de planta fue el tratamiento 4 (Variedad Astro II en una densidad de plantación de 0,08 m); seguido por el tratamiento 1 (Variedad Astro I, en una densidad de plantación de 0,08 m). Por lo cual se afirma que se debe de utilizar la variedad Astro II; en una densidad de plantación de 0,08m.

Se estima que la diferencia en altura de planta se puede atribuir a la genética de las variedades, ya que la variedad Astro II, tiene una diferencia de 1 cm en promedio con respecto a la variedad Astro I, según los datos obtenidos en la presente investigación.

Se atribuye a la intensidad lumínica a las esponjas en el área de los canales de cultivo, porque la esponja utilizada es de color claro y esto facilito a que la luz llegue al área radicular de las plantas.

Según Pozo, JC. (2016) al tener la raíz un fototropismo negativo, si la presencia de luz es continua crea condiciones no favorables lo cual implican la acumulación diferencial de flavonoles afectando el crecimiento de la planta

5.3. Área foliar del cultivo de rúcula

Para la obtención de este dato se utilizó un papel milimetrado donde se colocaron las hojas más representativas de la planta y posteriormente se dibujó las hojas obteniendo los datos en cm^2 , estos datos se muestran en el siguiente (cuadro 13).

Cuadro 13: Área foliar del cultivo de rúcula en cm^2 .

| Variedades | Densidades de plantación | | | Promedio (cm^2) |
|-----------------|--------------------------|-------|-------|----------------------------|
| | D - 1 | D - 2 | D - 3 | |
| Astro I | 37,34 | 43,34 | 43,43 | 41,37 |
| Astro II | 42,80 | 45,65 | 46,03 | 44,83 |
| Promedio | 40,07 | 44,49 | 44,73 | |

De acuerdo al promedio de área foliar, se encontró que la variedad Astro II; tuvo una mayor área foliar con $44,83 \text{ cm}^2$ y con menor promedio de área foliar la variedad Astro I con $41,37 \text{ cm}^2$.

Para el factor densidades de plantación, se obtuvo un promedio mayor con la densidad 1,15 m con un valor de $44,73 \text{ cm}^2$ y con menor promedio la densidad de 0,12 m con $44,49 \text{ cm}^2$.

En conclusión (cuadro 14) se puede afirmar que la variedad Astro II; es la que obtuvo mejores promedios en cuanto se refiere al área foliar, la mejor densidad de plantación fue 0,15m seguido por la densidad 0,12 m.

Para una mejor evaluación del área foliar del cultivo de rúcula por efecto de variedades y densidades de plantación, se realizó el análisis de varianza esto se detalla en el siguiente (Cuadro 14)

Cuadro 14: ANVA para el área foliar del cultivo de rucula.

| FV | SC | GL | CM | F | p – valor |
|---------------------------------|--------|----|-------|------|-----------|
| Bloques | 145,69 | 5 | 29,14 | 4,44 | 0,0160* |
| Factor variedades | 53,77 | 1 | 53,77 | 8,20 | 0,0143* |
| Factor densidades de plantación | 82,82 | 2 | 41,41 | 6,32 | 0,0134* |
| Variedades*densidades | 9,09 | 2 | 4,55 | 0,69 | 0,5188 |
| Error | 78,67 | 12 | 6,56 | | |
| Total | 224,35 | 17 | | | |

* Significativo al 5% ** Altamente significativo al 1% N.S.: No significativo

C.V. = 5,94%

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de varianza, donde se observa diferencias significativas en los bloques, esto se atribuye a que los bloques fueron aplicados adecuadamente y se afirma que hubo una diferencia significativa en cuanto a la solución nutritiva en cada bloque evaluado, esto por la absorción de los nutrientes en cada distancia que circulaba por los canales de cultivo.

Con respecto al factor variedades fue significativo por lo cual el área foliar depende, de las dos variedades utilizadas en la presente investigación.

Al respecto del factor densidades igualmente tuvo un resultado de significancia, en conclusión nos quiere decir que en las tres densidades de plantación hubo diferentes crecimientos de área foliar por lo cual son dependientes de la densidad de plantación.

La interacción no presentó diferencias significativas, donde se manifiesta similares áreas foliares con mínimas diferencias, esto nos determina que ambos factores actúan independientemente uno del otro.

El coeficiente de variación es de 5,94% este valor nos indica la confianza de nuestra información por lo tanto existió un buen manejo de nuestras unidades experimentales.

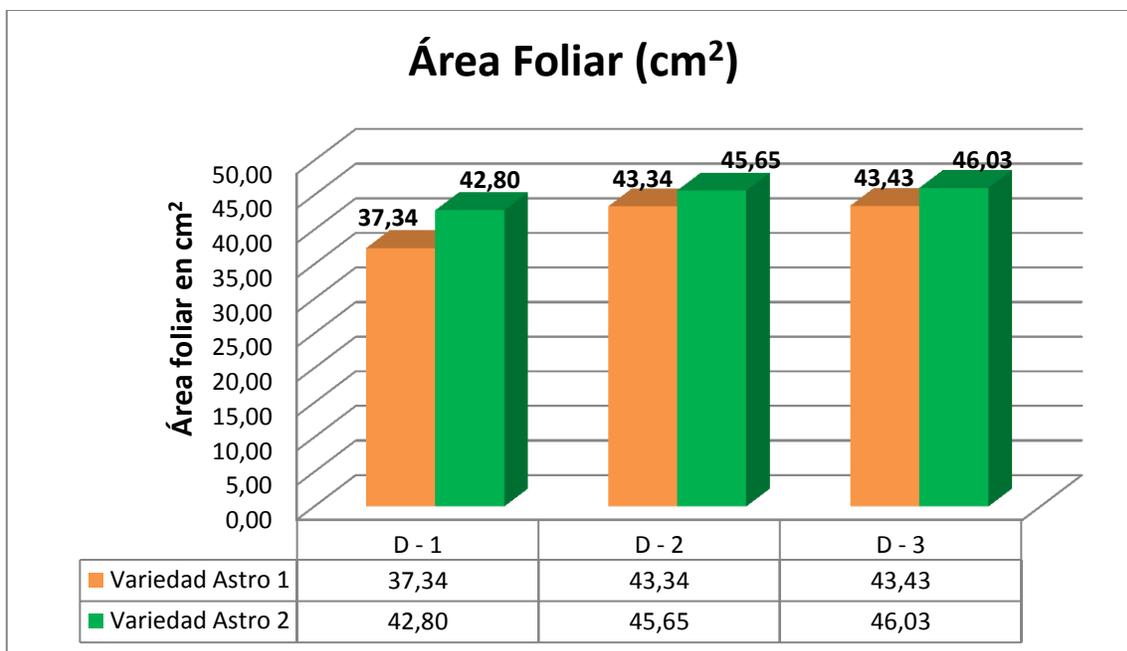


Figura 5: Área foliar de dos variedades de rucula con tres diferentes densidades.

Como se observa en la figura 5, se concluye que la variedad Astro II; plantado a una densidad de 0,15 m; tuvo mayor área foliar con 46,03 cm², seguido por Astro II; a una densidad de plantación de 0,12 m con un promedio de 45,65 cm² y por último la variedad Astro I; con una densidad de plantación 0,08 m con un valor de 37,34 cm² con menor promedio en área foliar a diferencia de los demás.

El tratamiento que obtuvo mayor área foliar fue el tratamiento 6 (Variedad Astro II con densidad de plantación 0,15 m), seguido por el tratamiento 5 (Variedad Astro II con densidad de plantación de 0,12 m).

Se asevera que la variedad Astro II; plantado a densidades de 0,15 y 0,12 m adquiere mayor área foliar por el espacio que tuvo para desarrollarse, el distanciamiento entre plantas facilita el paso de luz como también la obtención de nutrientes para las plantas.

Según Ismael Aranda (2004) los cambios en la anatomía fisiológica foliar pueden ser básicos a la hora de interpretar la maximización de la fijación del carbono al condicionar los procesos de difusión y los gradientes tanto de CO₂ como de luz

Según Rodríguez, (1982), al respecto indica que la cantidad suficiente de nitrógeno en la planta provoca mayor vigor vegetativo, aumenta el volumen y peso, debido al alargamiento celular y a la multiplicación celular

Para la otra variedad Astro I, que consiguió menor área foliar, esto se atribuye al menor espacio que tuvo con referencia al distanciamiento entre plantas, como también a la disponibilidad de nutrientes asimilables, porque existió competencia entre las plantas por la absorción de nutrientes.

Se sospecha que la variedad genética influencio en el crecimiento del área foliar, porque los datos obtenidos con la variedad Astro II, son mayores que la variedad Astro I, por lo es mejor utilizar la variedad Astro II producida con la técnica hidropónica recirculante NFT en pirámides.

Si realizamos una relación entre número de plantas por distancia de canal de cultivo se obtendría mayor área foliar con la variedad Astro II, a una densidad de plantación del 0,08 m, por lo cual se concluye que la mejor variedad es Astro II y la densidad que mayor número de plantas produciría es 0,08 m.

5.4. Numero de hojas en el sistema NFT para el cultivo de rúcula.

El número de hojas del cultivo de rúcula por efecto de dos variedades y tres diferentes densidades de plantación, se observa en el (cuadro 16).

Cuadro 15: Numero de hojas entre variedades y densidades de plantación.

| Variedades | Densidades de plantación | | | Promedio |
|-----------------|--------------------------|-------|-------|----------|
| | D - 1 | D - 2 | D -3 | |
| Astro I | 10,36 | 9,97 | 8,15 | 9,49 |
| Astro II | 10,73 | 10,44 | 10,24 | 10,47 |
| Promedio | 10,55 | 10,21 | 9,20 | |

El número de hojas entre variedades de la rúcula bajo el efecto de tres densidades de plantación (Cuadro 15), donde la variedadAstro II;obtuvo un mayor promedio en número de hojas con 10,47 hojas/planta y con menor promedio la variedad Astro I; con 9,49 hojas/planta.

Para el factor densidades de plantación, se obtuvo un promedio mayor con la densidad 0,08 m x 0,30 m con 10,55 hojas/planta; para la densidad 0,12 m se obtuvo como promedio 10,21 hojas/planta y para la mayor densidad de 0,15 m x 0,30 m; obtuvo un valor de 9,20 hojas/planta.

Para una mejor evaluación del número de hojas del cultivo de rúcula por efecto de variedades y densidades de plantación, se realizó el análisis de varianza en el siguiente cuadro.

Cuadro 16: ANVA para el numero de hojas del cultivo de rucula.

| FV | SC | GL | CM | F | p-valor |
|---------------------------------|-------|----|------|------|-------------|
| Bloques | 12,96 | 5 | 2,59 | 5,77 | 0,0061 ** |
| Factor variedades | 4,28 | 1 | 4,28 | 9,53 | 0,0094 ** |
| Factor densidades de plantación | 5,91 | 2 | 2,96 | 6,58 | 0,0118 * |
| Variedades * densidades | 2,77 | 2 | 1,38 | 3,08 | 0,0833 N.S. |
| Error | 5,39 | 12 | 0,45 | | |
| Total | 18,35 | 17 | | | |

*: Significativo al 5% **: Altamente significativo al 1% N.S.: No significativo

$$C.V. = 6.72\%$$

El cuadro 16, muestra efecto altamente significativo para los bloques. El grado de significancia entre bloques nos muestra que existe la variación a favor de la solución nutritiva, lo que nos demuestra que el diseño fue bien aplicado.

Se han encontrado diferencias altamente significativas para el factor variedades lo que significa que el número de hojas para las dos variedades son distintas en las tres diferentes densidades, esto se atribuye a las características genotípicas de los mismos.

También se obtuvo diferencias significativas para el factor densidades de plantación, esto se asevera que fue favorecido al espacio entre planta y planta, porque las plantas con menor densidad absorbieron mayor cantidad de nutrientes disponibles en la solución nutritiva que las de mayor densidad esto por la velocidad de la solución. Las de menor densidad se favorecieron por haber frenado la velocidad de circulación de los nutrientes.

Para la interacción de variedades y densidades de plantación del cultivo de rúcula, no es significativo, esto nos determina que ambos factores actúan independientemente uno del otro.

El coeficiente de variación fue de 6,72% lo cual indica que está dentro del rango aceptable, por lo cual los datos fueron tomados cuidadosamente y son confiables para el análisis estadístico de la presente investigación.

5.4.1. Comparación de medias para el número de hojas del cultivo rúcula

En la figura 6, se comparan las medias de los tratamientos de las dos variedades con el factor densidades de plantación.

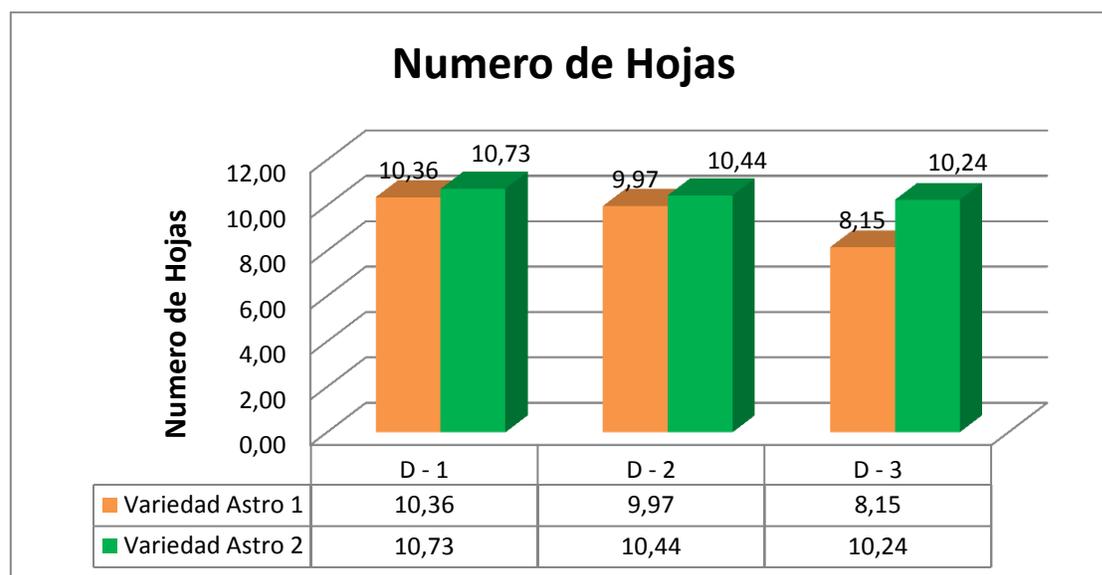


Figura 6: Numero de hojas del cultivo de rúcula por tratamientos.

De la figura anterior, se concluye que la variedad Astro II obtuvo un mayor número de hojas con 10,73 hojas/planta y con una mínima diferencia la variedad Astro I, que obtuvo 10,36 hojas/planta.

El mejor tratamiento que obtuvo mayor número de hojas fue el tratamiento 4 (Variedad Astro II con una densidad de plantación de 0,08 m x 0,30 m); seguido por el tratamiento 5 (Variedad Astro II con una densidad de plantación de 0,12 m x 0,30 m). Esto se sospecha a que la variedad Astro II, adquirió un valor en porcentaje de

emergencia mayor a la variedad Astro I, por lo cual se acorto el ciclo del crecimiento vegetativo donde la variedad Astro II, alcanzo un mayor número de hojas.

Se asevera que la orientación tanto de la carpa como de la pirámide del sistema hidropónico NFT, afecto de cierta manera en el crecimiento de hojas, el fotoperiodo influye en la obtención de un número mayor de hojas por planta.

Se pudo evidenciar que las plantas que crecieron con menor densidad (0,08 m x 0,30 m) de plantación adquirieron mayor número de hojas en comparación con las dos de mayores densidades de plantación (0,12 m x 0,30 m y 0,15 m x 0,30 m); la menor densidad de plantación incidió en la velocidad de circulación de la solución ya que los tratamientos con menor densidad absorbieron mejor los nutrientes en comparación con los de mayor densidad.

Se estima que pudo haber influenciado las variedades utilizadas en la presente investigación (Astro I y Astro II), porque las características morfológicas son similares pero muy distintas a la hora de la germinación y emergencia.

5.5. Rendimiento en peso fresco de rúcula en el sistema NFT

El rendimiento por planta del cultivo de la rúcula por efecto de variedades y densidades de plantación, se observa en el (cuadro 18).

Cuadro 17: Peso fresco por planta entre variedades bajo efecto de tipos de almacigo.

| Variedades | Densidades de plantación | | | Promedio (kg/m ²) |
|-----------------|--------------------------|-------|------|-------------------------------|
| | D - 1 | D - 2 | D -3 | |
| Astro I | 3,96 | 3,64 | 3,29 | 3,63 |
| Astro II | 4,11 | 3,73 | 3,40 | 3,75 |
| Promedio | 4,04 | 3,69 | 3,35 | |

En el peso fresco (cuadro 18) se observan variaciones de promedio, donde la variedad Astro II, obtuvo mayor promedio en comparación a la variedad Astro I, obtuvieron 3,75 kg/m² y 3,63 kg/m².

Para los promedios de tres densidades de plantación, se obtuvo un mayor promedio con la densidad 0,08 m x 0,30 m con 4,04 kg/m² en peso fresco; seguido por la

densidad de plantación 0,12 m x 0,30 m con un valor de 3,69 kg/m²y por último la densidad 0,15 m x 0,30 m que obtuvo 3,35 kg/m².

En conclusión (cuadro 18) se puede afirmar que la variedad con mayor rendimiento en peso fresco es la variedad Astro II y la densidad 0,08 m x 0,30 m; que presento elevado rendimiento en peso fresco en relación a los promedios de las dos variedades de rúcula.

Para una mejor evaluación del peso de materia verde por planta entre variedades por efecto de densidades de plantación, se realizó el análisis de varianza.

Cuadro 18: ANVA para el peso fresco por planta del cultivo de rúcula.

| FV | SC | GL | CM | F | p-valor |
|---------------------------------|------|----|------|-------|-------------|
| Bloques | 1,50 | 5 | 0,30 | 23,16 | 0,0001 ** |
| Factor variedades | 0,06 | 1 | 0,06 | 5,02 | 0,0448 * |
| Factor densidades de plantación | 1,43 | 2 | 0,71 | 55,29 | 0,0001 ** |
| Variedades * densidades | 0,03 | 2 | 0,03 | 0,11 | 0,8981 N.S. |
| Error | 0,16 | 12 | 0,01 | | |
| Total | 1,65 | 17 | | | |

*: Significativo al 0.5%

**: Altamente significativo al 1%

N.S.: No significativo

C.V. = 3,08%

El análisis de varianza al 5% de probabilidad, nos muestra que existe diferencias estadísticas altamente significativas entre bloques, esto indica que la solución nutritiva tubo efecto directo en la variable peso fresco (rendimiento), estadísticamente esto demuestra que se tuvo buena precisión en el diseño experimental.

Por otra parte se llegó a determinar que existen diferencias significativas para el factor variedades de rúcula (Astro I y Astro II), lo que significa que el rendimiento en peso fresco es diferente en las dos variedades de cultivo de rúcula.

El parámetro de peso fresco determina que el comportamiento de las densidades de plantación mostro diferencias altamente significativas, lo que demuestra que las densidades se comportaron a distinta forma, esto se atribuye a los diferentes

distanciamientos de las plantas de rúcula en los canales de cultivo del sistema hidropónico recirculante NFT.

Para la interacción de tipos de almacigo por variedades no es significativo, esto nos determina que ambos factores actúan independientemente uno del otro.

El coeficiente de variación es de 3,08% indicando, que los datos del análisis estadístico son confiables por encontrarse dentro de los rangos permisibles de variabilidad; además indica un buen planteamiento y manejo experimental.

5.5.1. Comparación de medias para el rendimiento peso fresco de rúcula

En la figura 7, se comparan las medias de los tratamientos de las dos variedades con el factor tres densidades de plantación.

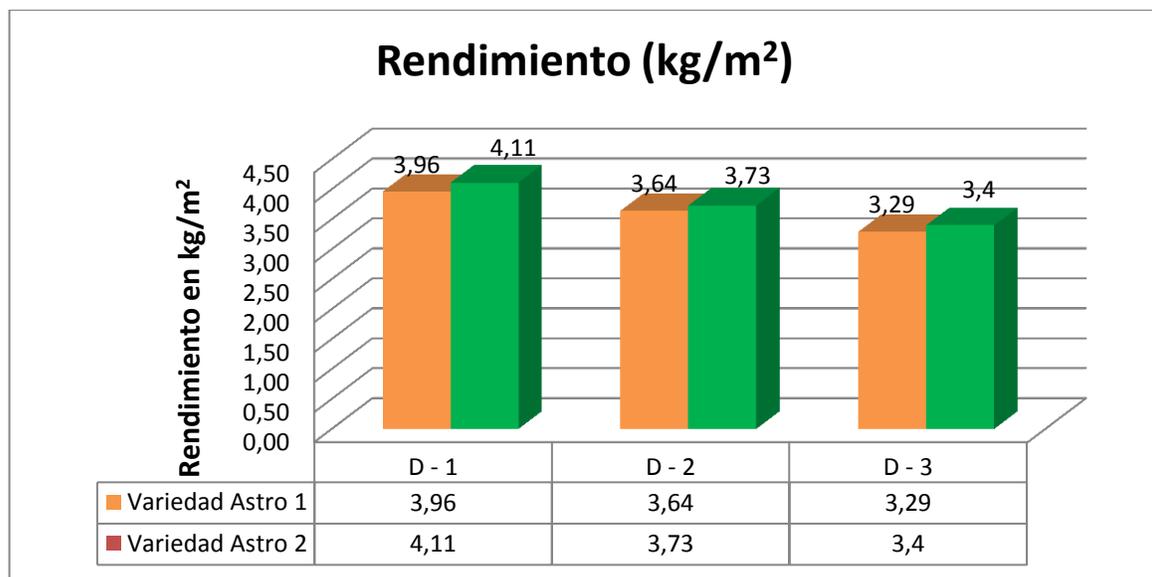


Figura 7: Peso fresco por planta de rúcula por tratamientos.

En la figura 7, se observa, la comparación de medias de los tratamientos de la presente investigación donde el tratamiento con mayor rendimiento de peso fresco fue el tratamiento 4 (Variedad Astro II con densidad de 0,08 m x 0,30 m) con 4,11 kg/m²; seguido por el tratamiento 1 (Variedad Astro I con densidad de 0,08 m x 0,30 m) y el tratamiento con menor rendimiento de peso fresco es el tratamiento 3

(Variedad Astro I) con 3,29 kg/m².

Se atribuye a que se obtuvo mayor rendimiento en peso fresco a los tratamientos que obtuvieron un mayor número de hojas, esto se especula a las dos variedades utilizadas, por las diferencias morfológicas.

También se pudo evidenciar que las plantas de rúcula hidropónicas alcanzaron un mayor peso adquirido a lo largo de su desarrollo. Se sospecha que el área foliar tuvo diferencias entre las densidades de plantación puesto que las mayores densidades obtuvieron mayor valor con referencia al área foliar.

Se asevera que hubo mejor comportamiento de rendimiento a una menor densidad de plantación ya que se obtuvo mejores rendimientos con la densidad 0,08 m x 0,30 m y la variedad que mejor comportamiento tuvo es Astro II con una pequeña diferencia con la variedad Astro I.

Según Willams (2010), las plantas producidas en un sistema hidropónico tiene un promedio de 1.888 kg/m² a una densidad de 0.20 m. Lo cual nos demuestra que el experimento salio exitosamente

5.6. Análisis económico preliminar

A partir de los resultados obtenidos en el proceso de la experimentación y el respectivo análisis estadístico, es esencial, la realización del análisis económico de los resultados, para realizar recomendaciones más adecuadas, combinados los aspectos agronómicos y económicos más favorables de la investigación.

La evaluación económica nos permite proporcionar parámetros claros para determinar la rentabilidad o no de un tratamiento, para realizar un cambio tecnológico en nuestro sistema de producción, en este caso del cultivo de rúcula producido.

5.6.1. Rendimiento ajustado

El rendimiento ajustado de cada variedad en almácigos diferentes es el beneficio medio reducido en un cierto porcentaje, con el fin de reflejar la diferencia entre la ventaja experimental con variedades de rúcula y densidades de plantación, en una producción comercial a pequeña escala que se podría lograr con ese tratamiento. Estos datos se reflejan en el cuadro 19.

Cuadro 19: Rendimiento ajustado por corte.

| RENDIMIENTOS | TRATAMIENTOS | | | | | |
|-------------------------------------------|------------------|-------|-------|-------------------|-------|-------|
| | Variedad Astro I | | | Variedad Astro II | | |
| | D - 1 | D - 2 | D - 3 | D - 1 | D - 2 | D - 3 |
| Rendimiento promedio (kg/m ²) | 3,960 | 3,640 | 3,290 | 4,110 | 3,730 | 3,400 |
| Rendimiento ajustado (-10%) | 3,564 | 3,276 | 2,961 | 3,699 | 3,357 | 3,060 |

En este caso se tomó la recomendación del manual de Evaluación Económica del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), donde se establece una diferencia de 10% del rendimiento entre condiciones experimentales y de producción comercial normal, Este descuento se justifica desde el punto de vista que durante la realización del experimento se tuvo una especial atención y cuidado con las parcelas experimentales, lo que no ocurre normalmente en una producción a gran escala o nivel comercial.

5.6.2. Número de campañas por año de las variedades

Un factor determinante es el tiempo de desarrollo del cultivo de rúcula, hasta la cosecha, en la presente investigación la planta no tuvo cortes como se realiza en un sistema de producción convencional (producción de rúcula en suelo). Esto por la presencia de algas en la solución nutritiva como también por enfermedades fúngicas radiculares. El cultivo se comercializó como planta entera (raíz y vástago), porque la rúcula no tiene un consumo diario y al comercializarlo de esta forma este producto puede conservarse durante mayor tiempo.

El presente estudio tuvo un ciclo productivo de 31 días para la variedad Astro I, y con una pequeña diferencia la variedad Astro II con 29 días desde la siembra hasta la cosecha. Tomando en cuenta que la diferencia de producción de rúcula en invierno es de 7 a 10 días, esto nos lleva a calcular 10 campañas por año.

5.6.3. Beneficio bruto

El beneficio bruto se calcula multiplicando el rendimiento ajustado por el precio promedio de kilogramo de rúcula hidropónica. Para el cálculo de beneficio bruto anual se multiplicó el beneficio bruto de una campaña, por el número de campañas al año y por el área del experimento.

Cuadro 20: Beneficio bruto anual.

| ITEMS | VARIEDADES | | | | | |
|-----------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Astro I | | | Astro II | | |
| | D - 1 | D - 2 | D - 3 | D - 1 | D - 2 | D - 3 |
| Precio (Bs/kg) | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| BENEFICIO BRUTO (Bs/ m²) | 57,024 | 52,416 | 47,376 | 59,184 | 53,712 | 48,960 |
| NUMERO DE CAMPAÑAS AÑO | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| BENEFICIO BRUTO AÑO Bs/m² | 627,264 | 576,576 | 521,136 | 651,024 | 590,832 | 538,560 |
| BENEFICIO BRUTO AÑO (80 m²) | 50 181,1 | 46 126,0 | 41 690,8 | 52 081,9 | 47 266,5 | 43 084,8 |

Según el cuadro 20, los tratamientos que presentaron mejores ingresos brutos por año con los factores diferentes variedades y densidades de plantación, son el tratamiento 4 (variedad Astro II con densidad de 0,08 m) con un ingreso bruto de Bs 52 081,9/año, seguido de por el tratamiento 1 (variedad Astro I con densidad de 0,08 m) que tiene un ingreso bruto de Bs 50 181,1/año y finalmente y con menor rendimiento el tratamiento 3 (variedad Astro I con densidad de 0,15 m) con Bs 41 690,8/año.

A estos resultados se atribuyen, que a menor distancia de plantación se puede obtener mayores rendimientos, como también a las variedades utilizadas en la presente investigación.

5.6.4. Costos variables

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

Cuadro 21: Costos variables por variedades (Bs/año).

| ITEMS | VARIEDADES | | | | | |
|-----------------------------------|--------------|--------------|--------------|----------------|----------------|----------------|
| | Astro I | | | Astro II | | |
| | D - 1 | D - 2 | D - 3 | D - 1 | D - 2 | D - 3 |
| Insumo | 322 | 322 | 322 | 328,5 | 328,5 | 328,5 |
| Mano de obra | 303 | 278 | 253 | 303 | 278 | 253 |
| Total costos campaña | 625 | 600 | 575 | 631,5 | 606,5 | 581,5 |
| Numero de campañas año | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| TOTAL COSTOS VARIABLES/AÑO | 6 875 | 6 600 | 6 325 | 6 946,5 | 6 671,5 | 6 396,5 |

Según los costos variables, los tratamientos que corresponden a las menores densidades de plantación son los que tienen mayor costo en mano de obra.

5.6.5. Costos fijos

Los costos fijos son aquellos costos que se mantienen para cada campaña de producción y que no están relacionados con la producción final. Para este trabajo se han tomado en cuenta los costos de la infraestructura, instalación de sistema hidropónico recirculante, bomba eléctrica, herramientas, temporizadores y otros gastos. Los costos fijos de la infraestructura del ambiente atemperado, instalación de sistema hidropónico NFT y bomba eléctrica, se han calculado por año.

Cuadro 22: Costos fijos por variedades (Bs/año).

| ITEMS | VARIEDAD | | | | | |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Astro I | | | Astro II | | |
| | D - 1 | D - 2 | D - 3 | D - 1 | D - 2 | D - 3 |
| Costo carpa solar año | 1635 | 1635 | 1635 | 1635 | 1635 | 1635 |
| Costo del sistema hidropónico. | 3157 | 3157 | 3157 | 3157 | 3157 | 3157 |
| Mochila fumigadora. | 420 | 420 | 420 | 420 | 420 | 420 |
| Herramientas | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 |
| Otros gastos (E:E) | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| Costos Fijos Mensuales | 779 | 779 | 779 | 779 | 779 | 779 |
| TOTAL COSTOS FIJOS ANUAL | 9 348 |

En el análisis económico de costos fijos se consideró el cálculo de la depreciación de los diferentes recursos utilizados en la presente investigación.

5.6.6. Costos totales

Son las sumas de los costos de producción o variables y los costos fijos. A continuación presentamos el (cuadro 23) de los costos totales.

Cuadro 23: Costos totales por variedades.

| ITEMS | VARIEDAD | | | | | |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Astro I | | | Astro II | | |
| | D - 1 | D - 2 | D - 3 | D - 1 | D - 2 | D - 3 |
| Total costos variables | 6 875 | 6 600 | 6 325 | 6 946,5 | 6 671,5 | 6 396,5 |
| Total costos fijos | 9 348 | 9 348 | 9 348 | 9 348 | 9 348 | 9 348 |
| TOTAL COSTOS | 16 223 | 15 948 | 15 673 | 16 294,5 | 16 019,5 | 15 744,5 |

En el (cuadro 23) se observa claramente que los costos de los tratamientos con densidades de plantación menores son más elevados que los tratamientos de mayor densidad.

5.6.7. Beneficio neto

Los beneficios netos nos reflejan ingresos obtenidos luego de restar los costos totales. A continuación en el cuadro 24, se detallan los beneficios netos anuales.

Cuadro 24: Beneficios netos anuales.

| ITEMS | VARIEDAD | | | | | |
|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Astro I | | | Astro II | | |
| | D - 1 | D - 2 | D - 3 | D - 1 | D - 2 | D - 3 |
| Beneficio bruto | 50 181,1 | 46 126,0 | 41 690,8 | 52 081,9 | 47 266,5 | 43 084,8 |
| Total costos | 16 223 | 15 948 | 15 673 | 16 294,5 | 16 019,5 | 15 744,5 |
| BENEFICIOS NETOS | 33 958,1 | 30 178,0 | 26 017,8 | 35 787,4 | 31 247,0 | 27 340,3 |

Realizando un análisis entre los tratamientos en estudio podemos indicar los siguientes resultados. El tratamiento 4 es el que tiene un mayor beneficio neto con Bs 35 787,4/año; seguido por el tratamiento 1 con Bs 33 958,1/año y por último y con menor beneficio neto está el tratamiento 3 que obtuvo Bs 26 017,8/año.

Esto quiere decir es mejor utilizar la variedad Astro II a una densidad de plantación de 0,08 m; porque obtendríamos mayores ingresos netos anuales.

5.6.8. Relación beneficio costo (Bs/año)

Es la relación que existe entre los beneficios brutos sobre los costos de producción, en el (cuadro 25) se detallan la relación beneficio costo anuales.

Cuadro 25: Beneficio costo anual.

| ITEMS | TRATAMIENTOS | | | | | |
|------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | Astro I | | | Astro II | | |
| | D - 1 | D - 2 | D - 3 | D - 1 | D - 2 | D - 3 |
| Beneficio neto | 33 958,1 | 30 178,0 | 26 017,8 | 35 787,4 | 31 247,0 | 27 340,3 |
| Total costos | 16 223 | 15 948 | 15 673 | 16 294,5 | 16 019,5 | 15 744,5 |
| BENEFICIO COSTO | 2,09 | 1,89 | 1,66 | 2,20 | 1,95 | 1,74 |

Realizado el análisis de relación de beneficio/costo, en base al beneficio neto y los costos totales de producción por año y por los 6 tratamientos en estudio.

Dicho análisis demuestra que; la relación Beneficio/costo es mayor que uno para todos los tratamientos ($B/C > 1$), en consecuencia estos son económicamente rentables; sin embargo se pudo evidenciar que los mejores resultados obtenidos, con relación al factor densidades de plantación, utilizando la densidad 0,08 m x 0,30 m; con un valor de 2,20 y 2,09 esto nos determina que por cada boliviano invertido se ganara Bs 1,20 y Bs 1,09 respectivamente.

Con relación al factor variedades, la variedad Astro II obtuvo un mejor comportamiento con valores de 2,20; 1,95 y 1,74 respectivamente, y ganancias de Bs 1,20; 0,95 y 0,74.

Según Murillo (2010), menciona que el cultivo de rúcula producido en un sistema hidropónico NFT, resulta ser rentable pues la relación B/C es mayor a 1, pero se hace notar que para efectivizar el sistema en toda su capacidad se debe ampliar e implementar en un área más grande.

En conclusión los valores obtenidos son mayor a 1, por lo que hace al sistema hidropónico recirculante NFT, uno de los más rentables con relación a otros sistemas de producción, esto porque se aprovecha un mayor espacio aéreo del invernadero.

6. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos específicos, los resultados obtenidos de las variables de respuesta en la presente investigación, se llegó a las siguientes conclusiones.

- ❖ Para la variable porcentaje de emergencia, se tiene un mayor porcentaje utilizando la variedad Astro II, que obtuvo un valor de 92,34% y con diferencia de 6,23% la variedad Astro I, con 86,11% en porcentaje de emergencia. Por lo cual se concluye utilizar la variedad del cultivo de rúcula Astro II.
- ❖ El efecto de las variedades y las densidades de plantación con relación a la altura de planta, se encontró la mayor altura promedio en el tratamiento 4 (0,08 m x 0,30 m, variedad Astro II) con un valor de 25,64 cm seguido por en tratamiento 1 (0,08 m x 0,30 m, variedad Astro I) con 24,64 cm

respectivamente, podemos concluir que es mejor utilizar la variedad Astro II a una densidad de plantación 0,08 m x 0,30 m por los datos obtenidos.

- ❖ Con relación al área foliar, se obtuvo un promedio mayor en el tratamiento T6 (0,15 m x 0,30 m variedad Astro II) con un valor de 46,03 cm², seguido del tratamiento T5 que obtuvo 45,65 cm², esto debido a que tenían espacio adecuado para poder desarrollarse con mayor facilidad, como también la variedad que mejor se comportó Astro II en la presente investigación.
- ❖ En cuanto al número de hojas por efecto de variedades y densidades de plantación, el mejor tratamiento fue 4, con 10,73 hojas/planta por otro lado el tratamiento 5 obtuvo un valor de 10,44 hojas/planta, determinando que se puede obtener mayor número de hojas con menor densidad de plantación con la variedad Astro II.
- ❖ Respecto al rendimiento en peso fresco, se obtuvo un mayor promedio con el tratamiento 4 (0,08 m x 0,30 m, variedad Astro II) con un valor de 4,11 kg/m², seguido por el tratamiento 1 (0,08 m x 0,30 m, variedad Astro I) con 3.96 kg/m².
- ❖ El tratamiento 4, tiene un beneficio costo de 2,20 seguido por el tratamiento 1, con 2,09. Lo que nos quiere decir que por cada boliviano invertido se ganara Bs 1,20 y Bs 1,09 respectivamente, y por último el de menor valor el tratamiento 3, con beneficio costo de 1,66.
- ❖ Se puede concluir que es mejor utilizar la variedad Astro II, que obtuvo mejores rendimientos plantados a una densidad del 0,08 m entre plantas y 0,30 m entre canales de cultivo.
- ❖ La cosecha fue realizada como planta entera esto por la presencia de algas en el sistema hidropónico y la altura de la planta que afecta, a que las plantas se volteen, dejando así la raíces expuestas a la luz y la posterior muerte.

7. RECOMENDACIONES

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

- Los resultados del presente trabajo nos permiten sugerir la realización de otros estudios, relacionados con las variedades de rúcula, porque cada variedad se comporta de distinta manera en diferentes estaciones del año se recomienda acceder al catálogo Johnny's Selected Seeds 2015.
- Es necesario realizar la producción de este cultivo en otros sistemas hidropónicos como raíz flotante y aeroponía recirculante para poder determinar en cuál de estos sistemas se comporta mejor el cultivo de rúcula.
- Se sugiere hacer la siembra directa en los alveolos de esponja corriente para aminorar los costos de mano de obra y así tener un mayor ingreso neto, cabe recalcar que en el presente experimento, se realizó el trasplante de las plantas de rúcula de un almácigo de sustrato inerte a los alveolos.
- El manejo de las densidades, en la pirámide del sistema hidropónico NFT, tanto entre plantas como entre canales de cultivo, son muy importantes, por tal razón, es necesario aminorar la distancia entre canales de cultivo de 0,30 m a 0,20 m, para que el espacio aéreo tenga un mejor aprovechamiento y obtener mejores rendimientos de rúcula.
- Se podría utilizar la parte superficial de la pirámide de este sistema hidropónico, para almacigueros o también para un ciclo completo de plantas de sombra como flores, hortalizas, etc.
- Con el avance de la ciencia se ha visto en mercados exteriores, alguicidas hidropónicos, que pueden ser utilizados, para disminuir las pérdidas de nutrientes en la solución, porque se observó una mayor cantidad de estos en la fase final de la producción.

8. BIBLIOGRAFIA

Albright L., 2004. Handbook. Controlled Environment Agriculture. <http://www.cornellcea.com/Lettuce_Handbook/introduction.htm>. (10 de marzo de 2016).

Alcaraz F., 2002. Flora Básica de la región de Murcia. Consultado el 13 de febrero de 2016. Disponible en: www.uib.es/catedra_iberamericana/publicaciones/seae/mesa1/silvestres(Accedido 12 de agosto de 2016).

Almodovar, 1998. Enfermedades de los hidropónicos. Clínica de plantas, servicio de extensión agrícola. Consultado 12 de Septiembre del 2013. Disponible en: <http://www.clinicaaldia.net>

Alpizar L., 2004. Hidroponía cultivo sin tierra. Cartago, CR. Editorial Tecnológica de Costa Rica. 108 p.

Álvarez G., 1999. Hidroponía. Alta Vista. Disponible en Alvarezg@hotmail.com

Baixauli C.; Aguilar, J., 2002. Cultivo sin suelo de hortalizas. Aspectos prácticos y experiencias. Generalitat Valenciana, Consejería de agricultura pesca y alimentación. Valencia, España: pp. 110.

Barry C., 1997. Hidroponía, Soluciones Nutritivas. Artículo Científico. Gromang. Vol. 1 numero 2.

Bautista M., 2000. Evaluación del rendimiento de hortalizas en cultivo hidropónico, utilizando como sustrato arena y cascara de arroz. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala: pp 71.

Casaca A., 2005. Hortalizas. Guías Tecnológicas de Frutas y Vegetales. Proyecto Modernización de los Servicios de Tecnología Agrícola PROMOSTA. Costa Rica: pp. 22.

Chilon E., 1997. "Cálculo de la dosis de fertilización y abonamiento para cultivar" Guía N° 3, en manual de fertilidad de suelos y nutrición de plantas Facultad de agronomía (UMSA). La Paz – Bolivia. pp. 10

Domínguez A., 1984. "Tratado de fertilizantes" Ed. Mundi Prensa. Madrid. España. pp. 37-49, 185-201.

Fossati C., 1986. Como practicar el hidrocultivo. Editorial Edaf. Madrid - España.).

Gilsanz J., 2007. Hidroponía. Montevideo, Uruguay. INIA Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. 31 p.

Horturba, 2011, Cultivo de Rúcula. Disponible en: <http://www.horturba.com/castellano/cultivar/fichacultivo>. (Accedido 8 de agosto de 2012).

Huerres P. C. y Carballo LL. N., 1991. "Horticultura" 1ra impresión editorial pueblo y educación. Habana – Cuba pp. 165.

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

Ibérica, 2000. El cultivo de la rúcula. (En línea). Consultado 7 de agosto 2016 Disponible en: <http://www.iberica2000.org/es/Articulo.asp?Id=4386>.

Ismael Aranda., 2004. Efectos de la luz sobre la anatomía foliar de plantas

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

Johnston R., 2016. Johnny's Selected Seeds, Catalog. National Award Winners, United State. pp. 506.

Leskova B., 2011. Cultivo de la rúcula. Buenos Aires Argentina 48 p. Lot, E.

Chiang, F., 1986. Manual de Herbario. Consejo Nacional de la Flora de México. México. 42 p.

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

Maroto V., 2002. Horticultura Herbácea Especial. 5ta. Edición revisada y ampliada Mundi-Prensa, Madrid –España.

Murillo O., 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 – Bolivia

Pozo JC., 2016. Flavonols mediate root phototropism and growth through regulation of proliferation to differentiation transition

Orellana L., 2002. Conoce el sistema de cultivo Nutrient Film Technique. Agricultura. Año 5. No 48. p. 18 – 20.

Pennigfeld F. y Kurzmann P., 1983. Cultivos hidropónicos y en turba. Editorial Mundi-Prensa. Madrid- España. pp.15 – 57

Pino M., 2012. Curso de Horticultura y Floricultura. Argentina-Plata. 1-2 pp.

Porco F.; Terrazas J., 2009. Horticultura, Aplicaciones prácticas. La Paz – Bolivia. pp. 172.

Resh H., 1987. Cultivos hidropónicos. Editorial Mundi – Prensa. Madrid – España. pp. 509

Rodríguez A.; Hoyos M.; Chang., 2002. Manual práctico de hidroponía. Tercera edición. Centro de Investigación de Hidroponía Universidad Agraria La Molina. Lima, Perú.

Rollins R., 1993. The Cruciferae of Continental North America. Stanford University Press. Stanford. California. pp. 203.

Rzedowski C., 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. 2da Edición. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Pátzcuaro, Michoacán, México. (En línea) consultado el 1 de mayo de 2011. Disponible en: www.conabio.gob.mx/.../brassicaceae/.../ficha.htm.

Sánchez C., 2004. Cultivo y Comercialización de Hortalizas, Colecciones Granja y Negocios 2da. Edición, Editorial Ripalme. Lima – Perú. pp. 128 – 130.

Sánchez F.; Escalante, E., 1988. Un sistema de producción de plantas; hidroponía, principios y métodos de cultivo. Tercera edición. México, Universidad Autónoma de Chapingo. pp. 193.

Sepulveda P., 2004. Fitosanidad en hortalizas para la Zona Sur. Universidad Católica de Chile. pp. 46.

Terranova, 1995. Enciclopedia Agropecuaria Terranova. Bogotá, Colombia. Terranova tomo 2. Pp: 213-215.

Urey G., 2007. Evaluación de tres variedades de hortalizas, en el sistema hidropónico recirculante “NFT”. Universidad Mayor de San Simón, Facultad Ciencias Agrícolas y Pecuarias “Dr. Martín Cárdenas”. Cochabamba, Bolivia: pp. 75.

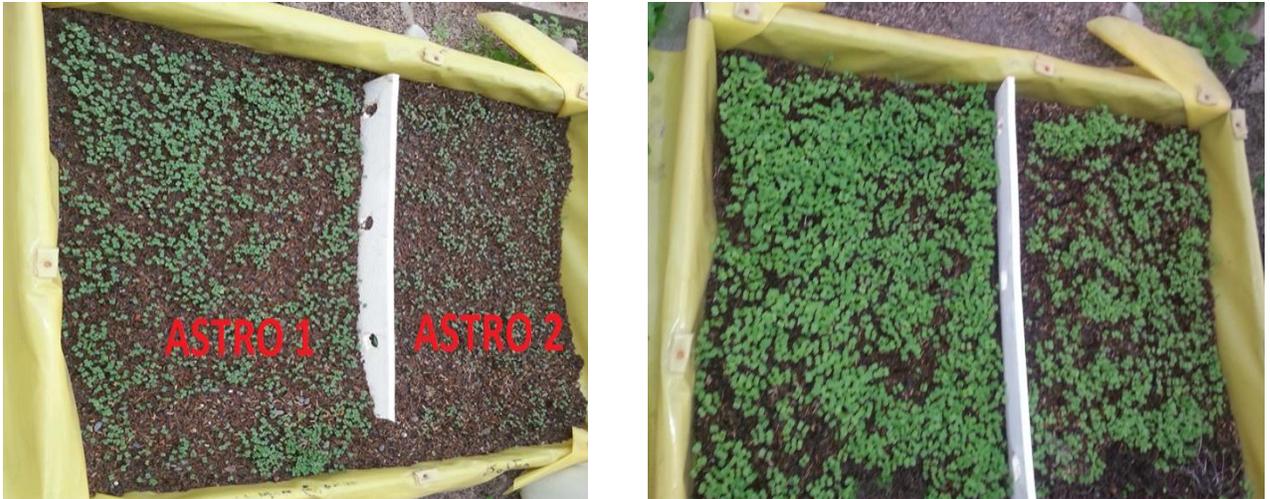
Vigliola M., 1992. Manual de horticultura. Hemisferio Sur S. A. 2da Edición. Buenos Aires, Argentina. pp. 133-134.

Villaseñor R.; Espinosa, G., 2000. Catálogo de Malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica. México. pp. 130

Willams A. M. 2010. Optimización de la producción de hortalizas bajo producción hidropónica en el sistema NFT en los invernaderos “ la huerta” en la localidad de Chicani (La Paz)

ANEXOS

Anexo 1. Almacigo de las dos variedades de rucula



Anexo 2. Trasplante al sistema NFT del cultivo de rucula.



Anexo 3. Crecimiento de hojas.



Anexo 4. Elección de los tratamientos.



Anexo 5. Medición del área foliar.



Anexo 6: Embolsado de la rúcula con y sin raíz.

