

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA: INGENIERÍA AGRÓNOMICA



EVALUACIÓN DE DOS SOLUCIONES NUTRITIVAS, EN RÚCULA (*Eruca sativa*),
BAJO TRES DENSIDADES CON LA TÉCNICA HIDROPÓNICA DE RAÍZ
FLOTANTE EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE PATACAMAYA

JOSÉ MANUEL HUANCA

2023

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

EVALUACIÓN DE DOS SOLUCIONES NUTRITIVAS, EN RÚCULA (*Eruca sativa*),
BAJO TRES DENSIDADES CON LA TÉCNICA HIDROPÓNICA DE RAÍZ
FLOTANTE EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE PATACAMAYA

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

JOSÉ MANUEL HUANCA

Asesores:

Ing. M. Sc. Medardo Wilfredo Blanco Villacorta.....

Revisores:

Ing. Freddy Carlos Mena Herrera

Ing. Rolando Céspedes Paredes

Ing. William Alex Murillo Oporto

APROBADA

Presidente tribunal Examinador

2023

DEDICATORIA

Quiero dedicar el presente trabajo a mi madre Celia Huanca Bernal por ser el pilar de mi formación gracias por su amor, comprensión, sacrificio y apoyo incondicional que han hecho posible la culminación de esta etapa de mi vida.

También dedicar el trabajo a mi hermano Álvaro Emanuel Huanca, por ayudarme a seguir adelante también por haberme acompañado en este camino llamado vida.

Hoy retribuyo parte de su esfuerzo con este logro que no es mío sino de ellos, por lo cual viviré eternamente agradecido.

AGRADECIMIENTOS

A mi hermosa Universidad, la cual llevo en el corazón siempre por darme todo y abrirme sus puertas del conocimiento. A mi maravillosa Facultad de Agronomía nido de muchos que, como yo, eligieron esta carrera y que con mucho orgullo, amor, pasión y respeto representaré.

A la Estación Experimental de Patacamaya, por permitirme hacer uso de sus instalaciones, por brindarme cobijo, además a todo su plantel administrativo por el apoyo en el desarrollo practico de este trabajo.

A mi asesor: Por la ayuda prestada, su aporte, criticas, comentarios sugerencias, sin duda permitieron mejorar la calidad y rigurosidad de esta investigación.

A mis amigos: por su amistad, por su apoyo, no solo en la carrera sino en el la realización de este trabajo.

Finalmente agradecer a Dios por haberme acompañado y cuidado todos los días de mi vida

INDICE

1.INTRODUCCIÓN -----	1
2. OBJETIVOS -----	2
2.1. Objetivo general-----	2
2.2. Objetivos específicos-----	2
2.3. Hipótesis-----	2
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA -----	3
3.1. Descripción de la especie-----	3
3.1.1. Taxonomía-----	3
3.1.2. Variedades-----	4
3.1.3 Descripción Botánica-----	4
3.1.4. Enfermedades y plagas-----	6
3.1.5. Valor nutricional de la rúcula-----	7
3.1.5. Requerimiento del cultivo-----	8
3.2. Cultivo Hidropónico-----	9
3.2.1. Historia de la hidroponía-----	10
3.3. Nutrición de las Plantas.-----	14
3.3.1. Composición de las plantas-----	14
3.3.2. Nutrientes-----	15
3.3.3. Solución nutritiva-----	19
3.3.4. pH de la solución-----	24
3.3.5. Conductividad eléctrica-----	24
3.3.6. Oxigenación radicular-----	25
3.3.7. Agua-----	26
3.3.9. Contenedor-----	28
3.3.10. Temperatura-----	28
4.LOCALIZACIÓN -----	29
4.1. Temperatura-----	30
4.2. Precipitación-----	30
5.MATERIALES Y MÉTODOS -----	31
5.1. Materiales-----	31
5.1.1. Material genético-----	31
5.1.2. Material de campo-----	31
5.1.3. Insumos-----	31

5.1.4. Material de escritorio-----	31
5.1.5. Material químico-----	32
5.2. Métodos -----	32
5.2.1. Acondicionamiento de área de trabajo -----	32
5.2.2. Preparación de soluciones nutritivas -----	34
5.2.3. Análisis estadístico -----	35
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN-----	41
6.1 Altura de planta-----	41
6.2 Número de hojas-----	43
6.3 Peso Fresco-----	46
6.4 Volumen de planta -----	49
6.5 Longitud de raíz -----	52
6.6 Porcentaje de germinación-----	55
6.7 Días al trasplante -----	55
6.8 Análisis económico-----	55
7. CONCLUSIONES -----	58
8. RECOMENDACIONES -----	60
9. BIBLIOGRAFIA -----	61

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Descripción taxonómica de la rúcula.....	3
Cuadro 2: Valor nutricional de la rúcula en una muestra de 100 gr.	7
Cuadro 3: Análisis comparativo de sistemas de cultivo tradicional y los hidropónicos o sin suelo	11
Cuadro 4: Funciones de los macro elementos en la nutrición de plantas.....	16
Cuadro 5: Requerimientos nutricionales para el cultivo de la rúcula	22
Cuadro 6: Requerimientos ajustados por software	22
Cuadro 7: Los requerimientos nutricionales para el cultivo de la rúcula	23
Cuadro 8: Requerimientos ajustados por software	23
Cuadro 9: Dosificaciones recomendadas.....	35
Cuadro 10: Distribución del diseño experimental.....	36
Cuadro 11: Operativización de variables.....	38
Cuadro 12: Análisis de la Varianza (SC tipo III)	41
Cuadro 13: Prueba de Duncan.	42
Cuadro 14: Prueba de Duncan.	42
Cuadro 15: Análisis de la Varianza (SC tipo III)	43
Cuadro 16: Prueba de Duncan.	44
Cuadro 17: Prueba de Duncan.	44
Cuadro 18: Prueba de Duncan.	45
Cuadro 19: Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)	46
Cuadro 20: Prueba de Duncan.	47
Cuadro 21: Prueba de Duncan.	47
Cuadro 22: Prueba de Duncan.	48
Cuadro 23: Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)	49
Cuadro 24: Prueba de Duncan.....	50
Cuadro 25: Prueba de Duncan.....	51
Cuadro 26: Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)	52
Cuadro 27: Prueba de Duncan.	53
Cuadro 28: Prueba de Duncan.	53
Cuadro 29: Análisis de presupuesto parciales para la producción de rúcula	56
Cuadro 30: Cálculo del Beneficio neto y la relación Beneficio/Costo la producción de rúcula.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de la Estación Experimental Patacamaya	29
Figura 2: Distribución de los tratamientos en la piscina con solución FAO.....	36
Figura 3: Distribución de los tratamientos en la piscina con solución CABEZAS.....	36

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: ANALISIS ECONOMICO TRATAMIENTO 1 (SOLUCION FAO – DENSIDAD ALTA 5cm.).....	65
ANEXO 2: ANALISIS ECONOMICO TRATAMIENTO 2 (SOLUCION FAO – DENSIDAD MEDIA 7.5 cm.).....	66
ANEXO 3: ANALISIS ECONOMICO TRATAMIENTO 3 (SOLUCION FAO – DENSIDAD BAJA 10 cm.)	67
ANEXO 4: ANALISIS ECONOMICO TRATAMIENTO 4 (SOLUCION CABEZAS – DENSIDAD ALTA 5 cm.).....	68
ANEXO 5: ANALISIS ECONOMICO TRATAMIENTO 5 (SOLUCION CABEZAS – DENSIDAD MEDIA 7.5 cm.).....	69
ANEXO 6: ANALISIS ECONOMICO TRATAMIENTO 6 (SOLUCION CABEZAS – DENSIDAD BAJA 10 cm.).....	70
ANEXO 7: ACONDICIONAMIENTO DE ALMACIGUERAS	71
ANEXO 8: IMPLEMENTACION DE LA PISCINA HIDROPONICA.....	72
ANEXO 9: CRECIMIENTO DEL CULTIVO DE RUCULA.....	73
ANEXO 10: EVALUACION DE VARIABLES	74

RESUMEN

La rúcula, es una hortaliza de hoja variedad de consumo no muy frecuente, caracterizadas por tener alto contenido de potasio, magnesio, hierro, vitamina C y provitamina 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 de raíz flotante, 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 soluciones nutritivas en el cultivo de rúcula (*Eruca sativa*), bajo tres densidades de siembra con la técnica de raíz flotante, en el centro experimental de Patacamaya.

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar (DBA), con un arreglo bifactorial de dos factores y con cuatro repeticiones de acuerdo al modelo estadístico. Los factores estudiados fueron soluciones nutritivas (FAO Y Cabezal) y densidades de plantación alta(5 cm), media(7.5) y baja(10cm.). Realizando la interacción de los dos factores se obtuvo 6 tratamientos y se utilizó las soluciones nutritivas, las cuales fueron formuladas a partir de los requerimientos nutricionales de la rúcula.

Los resultados indican que la interacción entre la solución FAO y la densidad alta (5cm.) presentó un rendimiento de 4,11 kg/m². Este rendimiento supero a la interacción de solución Cabezal y densidad alta de 3,73 kg/m² respectivamente.

SUMMARY

Arugula is a leafy vegetable variety that is not very frequently consumed, characterized by having a high content of potassium, magnesium, iron, vitamin C and provitamin A. It is a leaf highly appreciated for its particular spicy and aromatic flavor of basal leaves in the form rosette

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

The floating root system is one of the hydroponics techniques with which a high density of plants can be achieved, capable of being mechanized, automated and adapted to limited regions of precipitation, soils not suitable for agriculture and adverse climates, Therefore, it is an important productive strategy for the rural and urban areas of the Altiplano of our country.

The objective of this work was to evaluate two nutrient solutions in the cultivation of arugula (*Eruca sativa*), under three sowing densities with the floating root technique, in the Patacamaya experimental center.

A randomized block experimental design (DBA) was used, with a bifactor arrangement of two factors and with four repetitions according to the statistical model. The factors studied were nutrient solutions (FAO and Cabezas) and high (5 cm), medium (7.5) and low (10 cm) planting densities. Performing the interaction of the two factors, 6 treatments were obtained and the nutrient solutions were used, which were formulated from the nutritional requirements of arugula.

The results indicate that the interaction between the FAO solution and the high density (5cm.) presented a performance of 4.11 kg/m². This performance exceeded the interaction of Heads solution and high density of 3.73 kg/m² respectively.

1.INTRODUCCIÓN

El cultivo de plantas en agua o en solución nutritiva es llamada hidroponía, que hoy en día es la técnica más usada en la producción de hortalizas en regiones no aptas para el cultivo.

Cultivos hidropónicos, es un término aplicado al cultivo de plantas en soluciones de nutrientes sin hacer uso de la tierra como sustrato es una técnica muy importante en el desarrollo de la agricultura. La técnica hidropónica de raíz flotante consiste en establecer una piscina la cual contendrá agua, a manera sustrato, y solución nutritiva, la misma proveerá de nutrientes y oxígenos de forma directa a las raíces de la planta, puede ser una alternativa viable para superar estas limitaciones y obtener una producción de rúcula de alta calidad y rendimiento.

Sin embargo, ante de profundizar en los detalles de la hidroponía, es importante entender porque esta técnica es tan importante en la actualidad. La creciente demanda de alimentos frescos combinado con el cambio climático, ha llevado a la búsqueda de alternativas más eficiente y sostenibles para la producción de alimentos. En este contexto, el cultivo de rúcula en zonas altiplánicas se presenta como un desafío interesante, ya que estas regiones presentan condiciones climáticas extremas y limitaciones en el acceso al agua y los nutrientes

En este documento, se presentarán los resultados de un estudio experimental sobre el cultivo de rúcula en sistema de raíz flotante en zonas altiplánicas, con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes soluciones nutritivas y densidades de siembra en la longitud de planta, número de hojas y peso fresco de la rúcula. Los resultados obtenidos pueden ser útiles para los agricultores y productores interesados en implementar la técnica de hidroponía en sus cultivos, así como para los investigadores y estudiantes que buscan ampliar su conocimiento sobre esta técnica y sus aplicaciones.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar dos soluciones nutritivas a diferentes densidades, en rúcula (*Eruca sativa*), bajo la técnica hidropónica de raíz flotante.

2.2. Objetivos específicos

- Evaluar las variables agronómicas y de rendimiento por el efecto de las soluciones nutritivas.
- Determinar la densidad de siembra óptima para el sistema de producción.
- Realizar el análisis económico de los tratamientos.

2.3. Hipótesis

- H.O.: La interacción, solución-densidad, no tendrá ningún efecto en el cultivo de rúcula

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. Descripción de la especie

Alonso (2012) señala, la rúcula es una hortaliza cuyas hojas y tallos jóvenes son comestibles. Su sabor picante es bastante pronunciado, por ello, se recomienda usarla con moderación.

Se puede consumir cruda o cocida, en ensaladas, pastas y bocaditos; se la considera un buen digestivo. Las hojas grandes y maduras tienen un sabor muy fuerte y pierden la exquisitez. Para el consumo crudo se eligen plantas muy frescas, las hojas tiernas de color verde claro y no las oscuras.

Purquerio (2012) afirma, la rúcula es de rápido crecimiento y es fácil de cultivar, la rúcula es una óptima opción para pequeños productores. No exige mucha agua y se adapta a diferentes regiones.

Bedri (2010) argumenta, la rúcula (*Eruca sativa* Mill.) es una planta anual; nuestros mayores la recogían en los bordes de los caminos, pero su recolección ya se daba en la época romana, otorgándole propiedades afrodisíacas. No fue hasta 1990 aproximadamente cuando se empezó a valorar el cultivo de rúcula.

3.1.1. Taxonomía

Según Rzedowski (2001), la rúcula tiene la siguiente descripción taxonómica:

Cuadro 1: Descripción taxonómica de la rúcula

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta (plantas con flor)
Clase:	Magnoliopsida (dicotiledóneas)
Orden:	Capparale
Familia:	Brassicaceas
Género:	Eruca (tallos cortos)
Especie:	sativa
Nombre científico:	<i>Eruca sativa</i> Mill

Fuente: Rzedowski (2001)

3.1.2. Variedades

Aneto (2011) indica, no existen variedades de rúcula, ya que solo se distingue entre la rúcula cultivada y la rúcula silvestre; esta última se encuentra incluso al lado de senderos y caminos

3.1.3 Descripción Botánica

La descripción botánica de la rúcula (*Eruca sativa* Mill.) es como sigue:

a) Raíz

Presenta una raíz pivotante, gruesa y ramificada; napiforme, tiene una coloración blanquecina que alcanzan hasta los 20 cm (Rzedowski, 2001).

b) Hojas

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. Para Turchi (1997), las hojas basales en roseta, de 0,20 m de largo, caracterizada por una nervadura central larga. Las superiores son sésiles. La lámina presenta lóbulos irregularmente dentados y de color verde intenso.

Por su parte Marzoca (1985), haciendo una descripción de las brassicáceas a la cual pertenece este cultivo, señala, la morfología del margen del limbo puede ser de tipo pinatipartidas, es decir, presentan recortes que pasan de la mitad del limbo, existen también las denominadas las del tipo liradas que son lobuladas con el lóbulo terminal grande y los restantes sucesivamente más pequeños hacia la base parecidos a las hojas del nabo.

c) Tallo

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

d) Tallo Floral

Rzedowski (2001) advierte, el tallo floral puede alcanzar hasta los 2 m de altura, cilíndrico y veloso, aunque también hay variedades con tallo lizo de color verde y posee muchas ramificaciones. No requiere de vernalización para formarse.

e) Flor

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

e) Inflorescencia

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

f) Fruto y semilla.

Rzedowski (2001) señala, los frutos de la rúcula son 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, en ocasiones tan largo como el resto del fruto. La semilla de alrededor de 1.5 mm

de largo, ovoide de color café amarillentas. Así mismo Maroto (2002), sostiene que las semillas son de color marrón y de forma más o menos redonda.

h) Plántulas

Hipocótilo cilíndrico hasta 2.5 mm, sin pelos; cotiledones cuadrados a oblongos, de 2.5 a 5.5 mm de largo y 3.5 a 8 mm de ancho, sin pelos; epicotilo nulo o rara vez cilíndrico, hasta 4 mm, sin pelos; hojas alternas con apariencia de opuestas (Rzedowski, 2001).

3.1.4. Enfermedades y plagas

3.1.4.1. Enfermedades

a) Mildiú (*Peronospora destructor*)

Galeon (2011) indica, la enfermedad se ubica principalmente en las hojas del cultivo. En la cara inferior se observan micelios blanco grisáceo, que se manifiestan en la superficie foliar, primero como manchas cloróticas y después en estado más avanzado de color oscuro. El control debe ser preventivo con algunos productos como metalaxil y mancozeb entre otros.

b) Mancha foliar (*Alternaria sp.*)

Sobre la hoja se depositan manchas cafés, es una enfermedad de fácil control. Se controla con productos como mancozeb (Manzate) y captan (Galeon, 2011).

3.1.4.2. Plagas

a) Pulgón (*Brevicoryne brassicae*)

Los insectos viven concentrados en colonias, las hojas pierden su color y se

deforman. Su ataque de esta plaga es agresivo en los estados iniciales del cultivo (Galeon, 2011).

3.1.5. Valor nutricional de la rúcula

La cantidad de proteína que posee la rúcula es de 5gr, superior a la cantidad de 1,16 gr de la lechuga (MSB, 2005); también Pamplona (2003) da a conocer un valor proteico de 1,62 gr por cada 100 gr de parte comestible cruda de lechuga. El contenido de Hierro (Fe) es de 1,5 mg, mayor 1,2 mg que posee la lechuga (MSB, 2005). Así mismo la cantidad de vitamina C es de 15,3 mg contenido similar al de la lechuga que reporta 17 mg (MSB, 2005).

Cuadro 2: Valor nutricional de la rúcula en una muestra de 100 gr.

DESCRIPCION	COMPOSICION (100 g)
Grasas totales	Inapreciables
Proteína	5 gr.
Carbohidratos	4 gr.
Agua	91.7 gr.
Fibra	2 gr.
Valor Energético	25 kcal
Folatos (Vitamina B9)	97 mcg / 24% CDR
Vitamina E	15 mg.
Vitamina A	2373 UI / 47% CDR
Vitamina C	15.3 mg.
Calcio	160 mg.
Vitamina K	109 mg./ 136% CDR
Potasio	369 mg.
Hierro	1.5 mg./ 8% CDR
Magnesio	47 mg./ 12% CDR
Zinc	0.5 mg./ 3% CDR
Manganeso	0.3 mg./ 16% CDR
Betacaroteno	1426.65 mcg
Zeaxantina/Luteína	3553.33 mcg

Fuente: CSANO NUTRICIONAL – RUCULA

Leme (2005) afirma, las funciones de la vitamina C son: contribuir a la cicatrización de la piel, aumenta la resistencia contra las infecciones, combate el envejecimiento

precoz; ayuda la absorción del hierro y aumenta la velocidad de degradación del colesterol, previniendo la arterioesclerosis.

El hierro propicia la formación de glóbulos rojos de la sangre, encargados de transportar el oxígeno (Leme, 2005). El mismo autor afirma, las proteínas son fundamentales para el crecimiento y desarrollo de los músculos, huesos, sangre, piel, cabello, uñas y órganos internos, y para la formación de las enzimas, las hormonas y los anticuerpos.

3.1.5. Requerimiento del cultivo

3.1.5.1. Temperatura

Se desarrolla mejor en clima templado-fresco, teóricamente las temperaturas del suelo para la germinación son:

- Mínima 1.6 °C
- Óptima 24 °C
- Máxima 29.4 °C

Las condiciones de temperatura para obtener un buen crecimiento y calidad con:

- Media mensual mínima 7 °C
- Media mensual óptima 15 a 18 °C
- Media mensual máxima 21 a 24 °C

Temperaturas elevadas producen sabor amargo Oviedo (2001). Corridoni (1989), indica que la temperatura es importante para la vida de las plantas, desde la germinación de las semillas hasta la maduración de la planta debe estar en los límites bien definidos: un mínimo y un máximo.

DIN (1976), sugiere que las condiciones de temperatura óptima para el cultivo bajo cubierta de *E. 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%.

Horturba (2011), menciona las temperaturas altas del verano provocan que el ciclo sea mucho más rápido que en otoño o invierno, por lo que, si nos gusta, conviene ir sembrando cada mes o mes y medio en verano y cada tres meses aproximadamente en invierno.

Vigliola (1992), menciona la rúcula soporta mejor las temperaturas bajas que las altas, los intervalos de temperaturas apropiadas estarían entre 6 a 30 °C, aunque puede soportar hasta -6 °C

3.2. Cultivo Hidropónico

El cultivo hidropónico o hidroponía es la técnica del cultivo de las plantas sin utilizar el suelo, usando un medio inerte, al cual se añade una solución de nutrientes que contiene todos los elementos esenciales vitales para la planta en su normal desarrollo. Puesto que muchos de estos métodos hidropónicos emplean algún tipo de medio de cultivo se les denomina a menudo “cultivo sin suelo”, mientras que el cultivo solamente en agua sería el verdadero hidropónico. (Rodríguez, 2002)

El vocablo hidroponía proviene de dos palabras griegas “HYDRO” que significa agua y “PONOS” que significa trabajo. Se entiende 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.

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

3.2.1. 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 16 jeroglíficos egipcios fechados cientos de años antes de Cristo que describen el cultivo de plantas en agua (Resh, 1997).

De acuerdo 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).

3.2.1.1. 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:

Para Rodríguez, (2002), las Ventajas del cultivo hidropónico son las siguientes:

- Menor número de horas de trabajo y más livianas
- No es necesaria la rotación de cultivos.
- No existe la competencia por nutrientes.
- Las raíces se desarrollan en mejores condiciones de crecimiento.
- Mínima pérdida de agua.
- El sistema se ajusta en áreas de producción no tradicionales.

Según Gilsanz, (2007), las Desventajas de los cultivos hidropónicos son:

- Costo inicial alto.
- Se requieren conocimientos de fisiología y nutrición vegetal.
- Desbalances nutricionales causan inmediato efecto en el cultivo
- Se requiere agua de buena calidad.
- Se requieren variedades de semilla para hidroponía lo cual es difícil encontrar en el mercado local.

Cuadro 3: Análisis comparativo de sistemas de cultivo tradicional y los hidropónicos o sin suelo

	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, PATÓGENOS DEL SUELO Y NEMATODOS	Enfermedades del suelo	No existe estrés hídrico, perdida casi nula
AGUA	Plantas sufre de estrés ineficiente uso del agua	

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

3.2.1.2. 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.

3.2.1.3. Cultivo hidropónico en medio líquido

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

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)

3.2.1.3.1. Raíz Flotante

(SOMMANTICO, 2017), El sistema de raíz flotante es una técnica de cultivo en agua, en el cual las plantas crecen y desarrollan su parte aérea flotando en una placa de plataforma, que se mantiene a flote dentro de un recipiente contenedor, teniendo siempre sus raíces dentro de la solución nutritiva.

La solución nutritiva, es ideal para esta técnica y debe estar contenida en un recipiente oscuro, una bomba de aire inyecta este al agua para oxigenar la solución durante todo el ciclo de vida de la planta, creando un ambiente donde se pueda

desarrollar en óptimas condiciones suplantado el uso del suelo. (COSECHANDONATURAL, 2017).

El objetivo de este sistema es aportar los requerimientos esenciales del cultivo (temperatura, humedad, agua y nutrientes) para su crecimiento y desarrollo. Este sistema en particular, en comparación con una producción a campo, permite controlar las condiciones ambientales, y las posibles adversidades como plagas, enfermedades que el cultivo puede enfrentar. Es importante mencionar que con este método de cultivo hidropónico no se necesita utilizar ningún tipo de sustrato, solo se requiere agua y solución nutritiva. (AGROMEAT, 2017).

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

- Reduciendo la posibilidad de problemas causados por plagas enfermedades disminuye, permitiendo un mejor control de estos.
- La incidencia de malezas es nula o casi nula
- La incidencia de problemas radicales causados por plagas y enfermedades disminuye. - Permite producir cosechas fuera de estación.
- Al ser un sistema cerrado, en donde el drenaje es reutilizado, se puede conseguir un ahorro de agua de hasta un 90%.
- Se ahorra en fertilizantes e insecticidas. Se evita el manejo de maquina agrícola (tractores, rastras, etc.).
- Existe una mayor precocidad de los cultivos y mayor potencial productivo, debido a que la planta cuando toca la solución nutritiva, consume menos energía para su desarrollo
- Se corrige fácil y rápidamente la deficiencia nutricional.

(Sánchez, 2004), La hidroponía es una tecnología atractiva, frecuentemente sobre simplificada, la cual es más fácil de promover que de sostener. Desafortunadamente, los fracasos exceden grandemente a los éxitos, debido a la

inexperiencia o a la falta de apoyo técnico y científico". Entre las desventajas podemos considerar:

- El costo inicial de implementación es elevado.
- Es necesario un conocimiento técnico de las plantas como también del sistema hidropónico para poder operarlo correctamente.
- La materia orgánica y los animales benéficos del suelo están ausentes.
- Las variedades de plantas disponibles no son siempre las mejores.
- Se debe tener mucho cuidado cuando se trata del control de factores ambientales como el pH, la temperatura, la humedad, etc. Puesto que el mal manejo de alguna puede ocasionar la pérdida del cultivo

3.3. Nutrición de las Plantas.

3.3.1. Composición de las plantas

Mengel (2000) señala que un detalle sobresaliente de la vida es la capacidad de las células vivas para tomar sustancias del ambiente y usarlas ya sea para la síntesis de sus componentes celulares o como fuente de energía. La nutrición puede definirse como el suministro y la absorción de compuestos químicos necesarios para el crecimiento y el metabolismo; y los nutrientes como los compuestos químicos requeridos por un organismo. Los mecanismos por el cual los nutrientes se convierten en material celular o suministran energía son llamados procesos metabólicos. El término metabolismo comprende una serie de variadas reacciones que ocurren en una célula viva para mantener la vida y el crecimiento. Así, la nutrición y el metabolismo están cercanamente relacionados entre sí.

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

Según Resh (2005), la composición de la materia fresca de las plantas incluye cerca de un 80 a 90% de agua. El exacto porcentaje de esta dependerá de su especie, así como de la turgencia de la planta en el momento de la toma de muestra, la cual será el resultado de la hora del día, de la cantidad de humedad existente en el suelo, de la temperatura, de la velocidad del viento y de otros factores, a causa de la variabilidad del peso en fresco de las plantas.

Aproximadamente el 90% del peso en seco de la mayoría de las plantas está formado por 3 elementos: carbono, oxígeno e hidrógeno. El agua proporciona hidrógeno y oxígeno, el cual también proviene del dióxido de carbono de la atmósfera, al igual que el carbono, si solamente el 15% del peso en fresco de una planta es la materia seca, y el 90% de ésta estará representado por carbono, oxígeno e hidrógeno, por lo tanto, los otros elementos que existen en la planta serán aproximadamente por 1,5% del peso fresco de ella (Resh, 2005).

3.3.2. Nutrientes

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

Paye (2005), menciona que se requiere ciertos nutrientes minerales esenciales para el crecimiento y desarrollo del cultivo, los cuales son esenciales para la floración, fructificación y calidad del fruto, un elemento mineral es esencial, si la planta, ante la falta, no puede completar su ciclo de vida, porque el elemento faltante es parte del metabolismo de la planta. También menciona que son 16 elementos esenciales, de los cuales 14 son minerales, los elementos esenciales se clasifica macronutrientes y micronutrientes. El carbono (C) es obtenido del dióxido de

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

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

Cuadro 4: Funciones de los macro elementos en la nutrición de plantas.

MACROELEMENTOS	
ELEMENTO	FUNCION
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.
Oxigeno	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).

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

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

MICROELEMENTOS	
ELEMENTO	FUNCION
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 ²⁸ , 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)

3.3.2.1. 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 (Almodóvar, 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.
- Fósforo: 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 púrpureo.
- 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 des balanceadas 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.

3.3.3. Solución nutritiva

Izquierdo (2000) y Marulanda (2003), mencionan que la solución nutritiva como el producto que contiene todos los elementos que necesitan las plantas para crecer y desarrollarse como: nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre, molibdeno y zinc. Estos elementos vienen en forma de sales minerales. El nutriente hidropónico contiene y aporta en forma balanceada todos los elementos que una planta necesita para crecer sana, vigorosa y dar buenos frutos o cosecha.

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).

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

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).

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).

3.3.3.1. Manejo y control de la solución nutritiva

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

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

3.3.3.2. Duración y renovación de la solución nutritiva

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

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

3.3.3.3 Reacción ácida o alcalina en el suelo o agua

La acidez, alcalinidad o neutralidad de los fertilizantes, se refiere a la reacción final de ellos en el suelo incluyendo su influencia en los cambios de pH de la solución del suelo. Si aumenta el pH será de reacción alcalina, si disminuye los valores de pH será de reacción ácida y si no tiene un efecto sobre este parámetro del suelo, será de reacción neutra (Soil Improvement Committee California Fertilizer Association, 2004).

3.3.3.3.1. Solución hidropónica Cabezas

Cuadro 5: Requerimientos nutricionales para el cultivo de la rúcula

Elemento	Símbolo	Requerimiento
		ppm = mg/L
Nitrógeno	N-NO ₃ N-NH ₄ ⁺ (7-15%)	190
Fosforo	P	40
Potasio	K	220
Calcio	Ca	150
Magnesio	Mg	50
Azufre	S	70
Hierro	Fe	2
Manganeso	Mn	1
Boro	Bo	0.5
Zinc	Zn	0.15
Cobre	Cu	0.1
Molibdeno	Mo	0.05

Fuente: René Cabezas.

Una vez obtenidos los datos de requerimientos nutricionales, debemos llevarlos al software hydrobuddy.

Cuadro 6: Requerimientos ajustados por software

CABEZAS		
ELEMENTO	PORCENTAJE DE RIQUEZA	CANTIDAD(gr.)
Solución concentrada A		
Nitrato de potasio	13% (N-NO ₃);46% K ₂ O	1046.81
Fosfato mono amónico	12%(N-NH ₄) 61% P ₂ O ₅	69.54
Solución concentrada B		
Sulfato de magnesio	16% MgO; 13%S	457.89
Hierro EDTA	13% Fe	62.69
Sulfato de manganeso	Mn 32,0%;46,0% SO ₃	3.15
Solución concentrada C		
Nitrato de calcio	15,5(N-NO ₃);26%CaO	837.12

Fuente: software Hydrobuddy

3.3.3.3.2. Solución hidropónica F.A.O.

Cuadro 7: Los requerimientos nutricionales para el cultivo de la rúcula

Elemento	Símbolo	Requerimiento
		ppm = mg/L
Nitrógeno	N-NO ₃ N-NH ₄ ⁺ (7-15%)	200
Fosforo	P	40
Potasio	K	400
Calcio	Ca	200
Magnesio	Mg	45
Azufre	S	70
Hierro	Fe	4
Manganeso	Mn	1
Boro	Bo	0.4
Zinc	Zn	0.15
Cobre	Cu	0.1
Molibdeno	Mo	0.05

Fuente: FAO

Una vez se obtuvo los datos de requerimientos nutricionales, debemos llevarlos al software hydrobuddy.

Cuadro 8: Requerimientos ajustados por software

FAO		
ELEMENTO	PORCENTAJE DE RIQUEZA	CANTIDAD(gr.)
Solución concentrada A		
Nitrato de potasio	13% (N-NO ₃);46% K ₂ O	591.48
Fosfato mono amónico	12%(N-NH ₄) 61% P ₂ O ₅	69.71
Solución concentrada B		
Sulfato de magnesio	16% MgO; 13%S	512..71
Hierro EDTA	13% Fe	30.95
Sulfato de manganeso	Mn 32,0%;46,0% SO ₃	3.15
Solución concentrada C		
Nitrato de calcio	15,5(N-NO ₃);26%CaO	785.09

Fuente: software Hydrobuddy

3.3.4. pH de la solución

La mayor parte de las plantas trabajan bien en soluciones nutritivas con pH comprendidos entre 5 y 7, en los cultivos hidropónicos generalmente se trabaja con pH de 5,5 a 5,8, puesto que en dicho rango de pH se encuentran mejor disueltos los iones, especialmente el fósforo y los micro elementos (Baixauli, 2002).

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).

Según Baixauli (2002), el nivel óptimo aconsejado para el manejo sin suelo de hortalizas en la disolución del sustrato se sitúa en valores comprendidos entre 5,5 y 6,8, que es el rango en el que se encuentran de forma asimilable la mayor parte de los nutrientes.

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.

3.3.5. Conductividad eléctrica

Según Álvarez (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 corriente, sin embargo, el agua con sales disueltas conduce la corriente eléctrica.

Según Resh (2005), la conductividad eléctrica es el indicador del contenido de sales totales que hay en la solución; a mayor contenido de sales mayor CE y viceversa. 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 de sales necesaria para el crecimiento de las plantas, por lo tanto, será necesario el cambio o el aumento de nutrientes (Resh, 2005).

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).

3.3.6. Oxigenación radicular

Para el crecimiento y funcionamiento apropiado de las plantas, los niveles adecuados de oxígeno en la raíz son necesarios para su buen desarrollo (Chérif 1997), su deficiencia tiene efecto en la absorción de agua y de nutrientes, y el rendimiento de los cultivos son afectados (Drew, 1983 Urrestarazu y Mazuela, 2005).

Frecuentemente, el primer signo de una inadecuada oxigenación es el marchitamiento de la planta durante el mediodía, cuando los niveles de temperatura y luminosidad son altos (Zheng , 2007).

En sistemas hidropónicos, no se le ha dado la importancia suficiente a la oxigenación radicular, debido a que rara vez produce síntomas que son fácilmente identificables en el cultivo, pero que al término de la producción hay una disminución en el crecimiento y rendimiento vegetal (Morgan, 2001)

Para el crecimiento y funcionamiento apropiado de las plantas, los niveles adecuados de oxígeno en la raíz son necesarios para su buen desarrollo (Chérif 1997), su deficiencia tiene efecto en la absorción de agua y de nutrientes, y el rendimiento de los cultivos son afectados (Urrestarazu 1983 y Mazuela, 2005).

3.3.6.1. Métodos de oxigenación hidropónica

Existen varios métodos que permiten una mayor aireación de la solución nutritiva (SN) con el ingreso de oxígeno a la solución, el más usado es el burbujeo de aire continuo mediante un compresor (Resh, 2006)

Otra forma es provocar una caída de la SN en el tanque de retorno del sistema de al menos de 50 cm (Carrasco e Izquierdo, 1996)

También está la oxigenación manual muy común en pequeños sistemas familiares (Carrasco e Izquierdo, 1996)

Sin embargo, en la práctica la falta de oxígeno es común en estos sistemas, en ellas la mayor parte de la raíz está sumergida y es la mayor barrera para el movimiento gaseoso entre las raíces y el aire.

3.3.7. Agua

Para determinar las cantidades y tipos de fertilizantes que se deben utilizar en la preparación de la solución nutritiva ya que, según sus propiedades químicas, se realizan los ajustes necesarios para que la solución nutritiva tenga un adecuado pH, contenido de sales y balance entre los iones. Las principales propiedades del agua que se deben tomar en cuenta para la preparación de la solución nutritiva, son las siguientes: el pH, las sales disueltas, (aniones, cationes, micro nutrimentos y los elementos tóxicos), (Favela 2006).

Según Huterwal (1991), el tipo ideal de agua, será el agua destilada, ninguna más pura, sin embargo, su empleo no es económico. Además, está totalmente despojada de los llamados oligoelementos. Por otro lado, el agua de lluvia es, sin duda, la más

apropiada a nuestros fines, si algún elemento tiene agregado ello no perjudicaría, al contrario, resulta útil.

Según Barros (1999), en cuanto a la calidad del agua, como regla general, si el agua que se utilizará es apta para el consumo humano, servirá para el cultivo hidropónico, también se podrán utilizar aguas con alto contenido de sales, pero habrá que tener en cuenta el tipo de cultivo que se hará, ya que solo algunos de ellos (el tomate, el pepino, la lechuga o los claveles) son más tolerantes.

3.3.8. Luz

La energía solar es el factor ambiental más influyente sobre el crecimiento de las plantas, pues de ella depende la mayoría de los procesos biológicos, incluyendo la fotosíntesis, que es proceso de conversión de la materia inorgánica en orgánica, constituyendo la base de todas las cadenas alimenticias de la tierra (Barbado, 2005).

Alvarado (2001), agrega que, para muchas semillas, la luz no es necesaria para la germinación, sin embargo, cuando aparecen los primeros cotiledones, ésta debe estar disponible, de lo contrario produciría un crecimiento débil de las plantas y un ahilamiento de éstas. Contrario a esto, una excesiva luz natural, podría provocar quemaduras, por lo que una luz natural indirecta sería recomendada.

Según Jensen, (2001), mencionado por Gallardo, la luz es un elemento vital para el crecimiento de las plantas, pero también para las algas que se desarrollan rápidamente sobre la solución de nutrientes lo cual interferirá con el crecimiento de las plantas, puesto que dará lugar a una competencia en la toma de nutrientes.

La presencia de algas reduce la acidez de la solución, crea colores extraños, compite por el oxígeno durante la noche e introduce productos tóxicos a través de su descomposición, los cuales interferirán normalmente en el crecimiento del cultivo. Para evitar el crecimiento de las algas no se debe permitir que la solución de nutrientes este expuesto a la luz (Resh, 2005).

3.3.9. Contenedor

Según Uribe (2000), el recipiente es el lugar en el que la raíz de la planta debe recibir protección de los agentes externos, el contenedor debe tener características como el tamaño suficiente para albergar las raíces del cultivo, asegurar el desarrollo normal de las raíces con un adecuado drenaje, oxigenación, protección a la radiación solar, contaminación y al acceso de plagas y enfermedades.

Así mismo el recipiente debe ser económico, durable, in olor, químicamente inerte é impermeable y opaco (INIA, 2000).

3.3.10. Temperatura

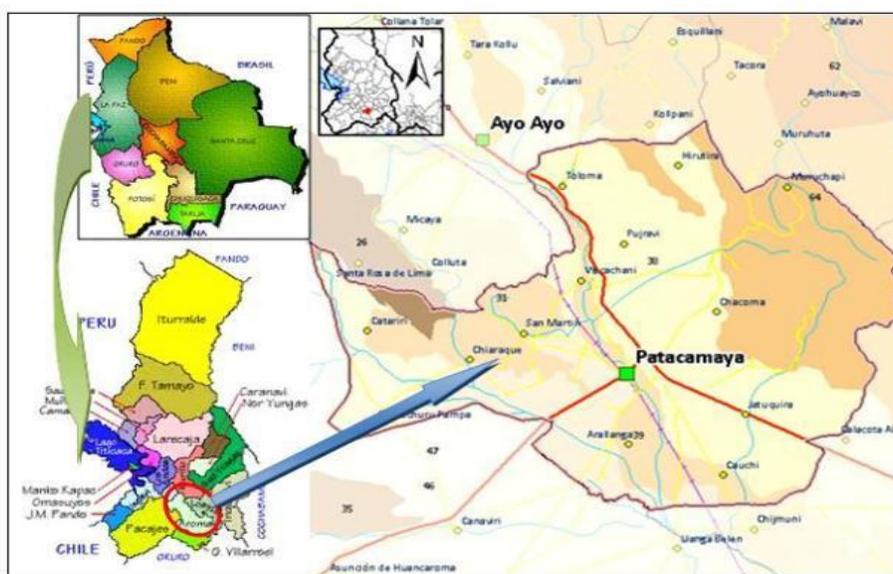
La temperatura afecta directamente las funciones de la fotosíntesis, respiración, permeabilidad de la membrana celular, absorción de agua y nutrientes, transpiración, y actividades enzimáticas. Las reacciones biológicas de importancia no pueden desarrollarse si la temperatura está por debajo de 0 °C, o por encima de 50 °C (Barbado, 2005).

Según Barbado (2005), la temperatura óptima varía según las especies, pero casi siempre está comprendida entre 10 °C y 25 °C. Las plantas pueden tolerar temperaturas más bajas durante periodos cortos de tiempo, pero debe evitarse acercarse a este valor letal.

4. LOCALIZACIÓN

El presente trabajo de investigación se realizará en la Estación Experimental de Patacamaya, perteneciente a la Facultad de Agronomía de la UMSA, está ubicada en la carretera interdepartamental La Paz – Oruro al sud este de la capital del Departamento de La Paz a una altura promedio de 3796 msnm, en las coordenadas 67°56'38,20" Longitud Oeste y 17°15'41,15" Latitud Sur, a una distancia de 101 km desde la ciudad de La Paz. Presenta una temperatura anual de 11,2 °C con una mínima media de 0,8 °C en los meses de abril a junio y una media máxima de 17,9 °C registrada en los meses de octubre a noviembre y una precipitación de 102,2 mm promedio. (Alanoca, 2017).

Figura 1: Ubicación de la Estación Experimental Patacamaya



4.1. Clima

El clima de esta región altiplánica es semiárido, se caracteriza por presentar una estación seca que comprende desde el mes de abril a septiembre, generalmente en estos meses el productor se dedica a la actividad pecuaria, y en la estación húmeda de octubre a marzo, meses en los cuales existe mayor actividad agrícola.

4.1. Temperatura

Las fluctuaciones de temperaturas promedio por mes, registra una mayor temperatura entre los meses de octubre a diciembre, llegando a alcanzar promedios de 13,96 °C. En los meses de mayo, junio y Julio se presentan las temperaturas más bajas del año obteniéndose registros inferiores al 0 °C.

4.2. Precipitación

La precipitación pluvial varía entre 350 mm a 480 mm, el promedio para el municipio de Patacamaya es de 389,19 mm. La época húmeda de acuerdo a los datos registrados se encuentra entre los meses de octubre a marzo y la época seca de abril a septiembre. El valor de la evapotranspiración (ETo) fluctúa entre 73 mm y 148 mm, para los meses de junio y noviembre respectivamente (ZONISIG 1998).

5.MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Materiales

5.1.1. Material genético

- 1 onza de semillas de rúcula variedad ASTRO I

5.1.2. Material de campo

- Nylon negro
- Plastoformo de 2cm de alto
- Botellas pet
- 1m² de esponja
- 1 scotch
- 1 cautín

5.1.3. Insumos

- Kit hidropónico para 1000 l.
- Reactivos químicos
- 1 pH-metro
- Cables y tomacorrientes
- 1 conductímetro
- 4 bombas de oxígeno
- Agua

5.1.4. Material de escritorio

- Planilla de apuntes
- Software Hydrobuddy.exe
- Software Infostat.exe
- Calculadoras
- Regla

5.1.5. Material químico

- Nitrato de potasio
- Fosfato mono amónico
- Sulfato de magnesio
- Hierro EDTA
- Sulfato de manganeso
- Nitrato de calcio

5.2. Métodos

5.2.1. Acondicionamiento de área de trabajo

- Primeramente, se inició con el cortado de las botellas para adaptarlas como macetas, a continuación, se hizo el llenado de las botellas con arena fina y previamente desinfectada. Seguidamente se procedió con el sembrado de las semillas de rúcula, con esto se dio inicio a la germinación. El regado fue de dos veces por semana.
- De forma paralela se realizó el acondicionamiento de las piscinas. En primer lugar, se efectuará la verificación de que la superficie este totalmente lisa, de haber espacios rugosos se procederá a su refacción. Concluido el paso anterior se colocó papel periódico, seguidamente se forró la piscina, con el nylon negro, el mismo fue pegado a la estructura con la ayuda del scotch.
- Luego se procedió a la instalación de energía eléctrica, la cual se encontraba circundante a las piscinas, en seguida se instaló las bombas de oxígeno, las cuales estarán en extremos opuestos de ambas piscinas.
- Posteriormente se realizó la perforación de los plastoformas, con ayuda del cautín, en relación a las densidades de siembra planteados en el diseño. De la misma forma también se efectuó el cuadriculado de las esponjas las cuales

tenían un tamaño de 2cm X 2cm para posteriormente cortarlos de forma individual.

- Más tarde se realizó el preparado de soluciones, las cuales serán de dos autorías. Una estará en base a la autoría del Ingeniero Rene Cabezas y la otra será obtenida del sitio oficial de la FAO
- El periodo de germinación duro cuatro semanas, además se procuró que en las dos últimas semanas de germinación el regado ya fuera con las soluciones, tanto la de la FAO como la del ingeniero Cabezas.
- Para el preparado de la piscina se procedió al llenado de las piscinas, para esto se trabajó con un volumen inicial de 300 l.
- Una vez llenadas ambas piscinas, se procedió al calibrado del pH, el cual debió encontrarse entre los valores de 5.5 y 6.0.
- Seguidamente se incorporó las soluciones nutritivas, inmediatamente se midió la conductividad eléctrica, el cual estuvo entre 1152 y 1536 ppm.
- También se hizo la instalación de energía eléctrica, concluido la tarea se procedió a colocar las bombas de aire, las mismas proporcionaron oxígeno al sistema de raíz flotante.
- Concluido los pasos anteriores se dio inicio al trasplante, se insertaron los plantines, de manera conjunta con las esponjas, en los orificios realizados en los plastofomos. Prontamente se encendieron las bombas de oxígeno para obtener oxigenación constante.
- Cosecha: la cosecha se la realizó 50 después del trasplante.

5.2.2. Preparación de soluciones nutritivas

5.2.2.1. Solución Cabezas y solución FAO

- El procedimiento de elaboración de soluciones fue el mismo para ambos casos, las únicas variantes serían las cantidades de cada material.
- Una vez obtenidos los requerimientos nutricionales, se los llevó al programa de Hydrobuddy, el cual nos proporcionó las cantidades exactas de los fertilizantes con los cuales se preparó las soluciones nutritivas.
- Para el experimento se trabajó con los siguientes componentes:

Sulfato de manganeso

Fosfato mono amónico

Nitrato de potasio

Nitrato de calcio

Sulfato de magnesio

Hierro EDTA

- Preparación solución A:

En un recipiente se echó 3 litros de agua y se vació el nitrato de potasio, el cual se agitó hasta que quede disuelto. En un recipiente de 1 litro se vació el fosfato mono amónico, se lo mezcló hasta que se disuelva. Una vez disueltos los fertilizantes se los juntó en un recipiente hasta que la mezcla fuera homogénea y se agregó agua hasta que se llegó al volumen final de 5 litros.

Preparación solución B:

En un recipiente se echó 1.5 litros de agua y se vació el sulfato de magnesio, se vació hasta que se encuentre totalmente disuelto. En un segundo recipiente se usó 2.5 litros de agua y se vertió el hierro EDTA, se lo mezcló hasta que se disuelva totalmente. En un tercer recipiente se echó 0.5 litros de agua y se vació el sulfato de manganeso. Una vez disueltos los

fertilizantes, se lo junto y se completó con agua, hasta que se llegó al volumen de 5 litros.

- Preparación solución C:

En un recipiente se echó 3 litros de agua y vació el nitrato de calcio, se lo agito hasta que quedo totalmente disuelto; una vez disuelto completó con agua hasta los 5 litros.

Cuadro 9: Dosificaciones recomendadas.

Solución concentrada	Para 1000 litros	Para 500 litros	Para 100 litros
A	5 L	2.5 L	0.5 L
B	5 L	2.5 L	0.5 L
C	5 L	2.5 L	0.5 L

Fuente: Rene Cabezas

5.2.3. Análisis estadístico

Todos los datos fueron procesados por el programa estadístico InfoStat (Software Estadístico). InfoStat es un software estadístico desarrollado por el Grupo InfoStat (Di Rienzo, 2008)

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

Modelo lineal aditivo

$$X_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha, \beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

μ = Media general

α_i = Efecto fijo del i – esimo nivel del factor A (soluciones nutritivas)

β_j = Efecto fijo del j- esimo nivel del factor B (densidades de siembra)

$\alpha\beta_{ij}$ = Efecto fijo del i – esimo nivel del factor A, con el efecto fijo del j- esimo nivel del factor B (interacción A x B; soluciones * densidades de siembra)

ϵ_{ijk} = Efecto del error experimental

Cuadro 10: Distribución del diseño experimental.

FACTOR A	FACTOR B	INTERACCIONES	TRATAMIENTOS
SOLUCION FAO	Densidad alta 5 cm	Sol. FAO x D.A. 5 cm	T-1
	Densidad media 7.5 cm	Sol. FAO x D.M. 7.5 cm	T-2
	Densidad baja 10 cm	Sol. FAO x D.B. 10 cm	T-3
SOLUCION RENE CABEZAS	Densidad alta 5 cm	Sol. R.C. x D.A. 5 cm	T-4
	Densidad media 7.5 cm	Sol. R.C. x D.M. 7.5 cm	T-5
	Densidad baja 10 cm	Sol. R.C. x D.B. 10 cm	T-6

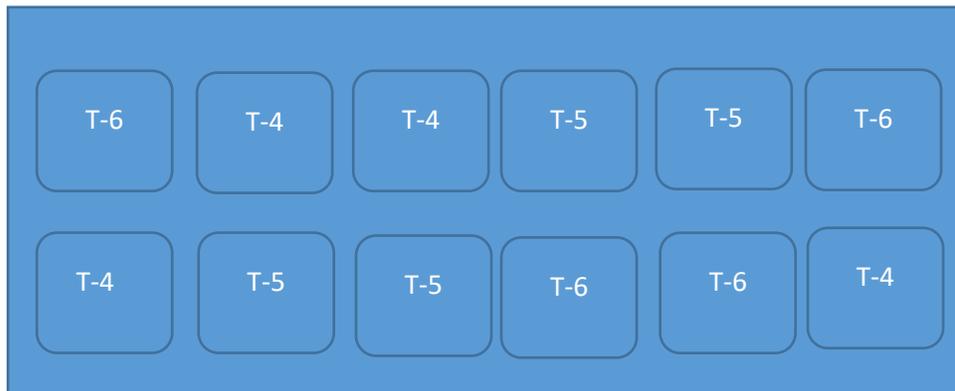
Fuente: Elaboración propia

5.2.3.1. Croquis experimental

Figura 2: Distribución de los tratamientos en la piscina con solución FAO.



Figura 3: Distribución de los tratamientos en la piscina con solución CABEZAS



5.2.3.2. Variables de respuesta

Las variables de respuesta serán:

- Altura de planta:
- Numero de hojas
- Peso fresco
- Volumen de planta
- Longitud de raíz
- Porcentaje de germinación
- Días al trasplante

5.2.3.2.1. Operativización de variables

Cuadro 11: Operativización de variables.

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTOS	TOMA DE DATOS
Altura de planta	La altura de una planta es la distancia más corta entre el límite más alto de los tejidos fotosintéticos principales de esa planta (excluyendo las inflorescencias) y el nivel del suelo,	metros	Se utilizo materiales como. Regla y/o cinta métrica	Se lo realizo momentos previos a la cosecha
Numero de hojas	Es la cantidad de hojas que posee la planta a partir del trasplante	unidades	Se lo realizo por simple conteo	Se lo realizo previo a la cosecha
Peso fresco	Es el peso que tiene la planta al momento de su cosecha	Kg.	Se hizo un pesaje utilizando una balanza de precisión	Se lo hizo después de la cosecha
Volumen de planta	Es el espacio que ocupa la planta	ml.	Se utilizo una probeta	Se lo hizo después de la cosecha
Longitud de raíz	Es la longitud que tiene la raíz, medida desde el cuello de la planta hasta la cofia	cm.	Se utilizo una cinta métrica	Se lo hizo después de la cosecha
Porcentaje de germinación	Es el análisis de la semilla, cual es porcentaje de germinación total	porcentaje	Se realizo una siembra de 100 semillas en una caja Petri	Se lo hizo antes de colocar las semillas en las almacigueras
Días al trasplante	Son los días que transcurren desde la siembra hasta el trasplante	numeral	Solo se efectuó un conteo de días	Se lo hizo momentos antes del trasplante, hacia la piscina

Fuente: Elaboración propia

5.2.3.2.2. 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).

$$BB = R * PP$$

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).

$$BN = BB - CP$$

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).

$$B/C = BB / CP$$

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

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Altura de planta

Para una mejor evaluación de la variable altura de planta del cultivo de rúcula por efecto de dos soluciones nutritivas y tres densidades de plantación, se realizó el análisis de varianza

Cuadro 12: Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
MODELO	62	8	7,75	4,06	0,0094
BLOQUES	1,48	3	0,49	0,26	0,8538 NS
SOLUCIONES	44,01	1	44,01	23,07	0,0002 **
DENSIDADES	16,36	2	8,18	4,29	0,0336 *
SOLUCIONES*DENSIDADES	0,15	2	0,07	0,04	0,9618 NS
ERROR	28,61	15	1,91		
TOTAL	90,61	23			

Fuente: Elaboración propia

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

C.V.:7,20

Se encontró que las diferencias estadísticas son altamente significativas para el factor de soluciones, lo cual nos indica que las soluciones tienen fuerte influencia en la altura de planta.

Se obtuvo diferencias significativas para el factor densidades esto se atribuye a que las densidades se distinguen en los promedios obtenidos.

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

El coeficiente de variación es de 7,20% 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.

Prueba de medias Duncan para Soluciones

Cuadro 13: Prueba de Duncan.

SOLUCIONES	MEDIAS cm.	AGLOMERAMIENTO DUNCAN
FAO	20,53	A
CABEZAS	17,82	B

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro se realizó la prueba comparaciones de medias de Duncan, a un nivel de 5%, existe diferencias altamente significativas entre las soluciones Cabezas y FAO. Con 20,53 y 17,82 cm respectivamente, donde se muestra que la solución de la FAO es la más indicada para obtener mayor altura de planta.

Prueba de medias Duncan para Densidades

Cuadro 14: Prueba de Duncan.

DENSIDADES	MEDIAS cm.	AGLOMERAMIENTO DUNCAN
ALTA 5 cm.	20,33	A
MEDIA 7.5 cm.	18,71	B
BAJA 10 cm.	18,48	B

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro se realizó la prueba comparaciones de medias de Duncan, a un nivel de 5%, existe diferencias altamente significativas entre las densidades de 5 cm, 7,5 cm y 10 cm. con 20.33 cm, 18.71 cm y 18.48cm respectivamente, donde se muestra que la densidad alta tiene mayor influencia en la altura de planta.

La altura de la planta es una variable importante en la evaluación del crecimiento y desarrollo de las plantas. En nuestro estudio, encontramos que la mejor interacción para la altura de la planta fue entre la solución FAO y la densidad alta.

Esto sugiere que la solución FAO y una alta densidad de plantas pueden ser beneficiosas para el crecimiento de la planta en la técnica de raíz flotante. Además, observamos que la altura de la planta fue significativamente mayor en la solución FAO en comparación con la solución Cabezas. Esto puede deberse a la composición nutricional de la solución FAO, que puede proporcionar los nutrientes

necesarios para un crecimiento óptimo de la planta. En general, nuestros resultados sugieren que la selección adecuada de la solución nutricional y la densidad de plantas pueden mejorar significativamente la altura de la planta en la técnica de raíz flotante.

6.2 Número de hojas

El número de hojas se midió antes de la cosecha después de la siembra y los resultados se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 15: Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
MODELO	34,34	8	4,29	4,99	0,0037
BLOQUES	5,26	3	1,75	2,04	0,1517 NS
SOLUCIONES	5,67	1	5,67	6,6	0,0214 *
DENSIDADES	23,2	2	11,6	13,5	0,0004 **
SOLUCIONES*DENSIDADES	0,21	2	0,1	0,12	0,8881 NS
ERROR	12,89	15	0,86		
TOTAL	47,23	23			

Fuente: Elaboración propia

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

C.V. : 9,35

Para el factor de los bloques se encontró que existe no significancia, lo cual indica que el efecto de los bloques no tiene efecto en el experimento.

En cuanto al factor de soluciones, el cual tiene fuerte influencia en el experimento y encontramos que existe una diferencia estadística significativa entre los datos.

Para el factor de densidades se obtuvo una diferencia altamente significativa, la misma tiene fuerte influencia en el experimento.

En cuanto a la interacción de factores, podemos señalar que no tiene influencia en el experimento ya que se obtuvo no significancia entre los datos.

El coeficiente de variabilidad nos dio como resultado 9,35, el cual se encuentra dentro del rango permitido, lo cual nos señala que hubo buen manejo de datos.

Prueba de medias Duncan para Soluciones

Cuadro 16: Prueba de Duncan.

SOLUCIONES	MEDIAS	AGLOMERAMIENTO DUNCAN
FAO	10,4	A
CABEZAS	9,43	B

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro se realizó la prueba comparaciones de medias de Duncan, a un nivel de 5%, existe diferencias altamente significativas entre las soluciones Cabezas y FAO. Con 10.40 y 9.43 hojas respectivamente, donde se muestra que la solución de la FAO es la más indicada para obtener mayor número de hojas.

Prueba de medias Duncan para Densidades

Cuadro 17: Prueba de Duncan.

DENSIDADES	MEDIAS	AGLOMERAMIENTO DUNCAN
ALTA 5 cm.	11,09	A
MEDIA 7.5 cm.	9,97	B
BAJA 10 cm.	8,68	C

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro se realizó la prueba comparaciones de medias de Duncan, a un nivel de 5%, existe diferencias altamente significativas entre las densidades de 5 cm, 7,5 cm y 10 cm. con 11,09 cm, 9,97 cm y 8,68 cm hojas respectivamente, donde se muestra que la densidad de 5 cm tiene mayor influencia en el número de hojas.

Prueba de medias Duncan para Interacción de Soluciones y Densidades

Cuadro 18: Prueba de Duncan.

SOLUCIONES X DENSIDADES		MEDIAS	AGLOMERAMIENTO DUNCAN	
FAO	BAJA 10 cm.	11,7	A	
CABEZAS	BAJA 10 cm.	10,48	A	B
FAO	MEDIA 7.5 cm.	10,36	A	B
CABEZAS	MEDIA 7.5 cm.	9,58	B C	
FAO	ALTA 5 cm.	9,14	B C	
CABEZAS	ALTA 5 cm.	8,22	C	

Fuente: Elaboración propia

Se realizó la prueba Duncan para la interacción entre soluciones y densidades en la cual se puede apreciar una diferencia estadística significativa, donde podemos señalar que la mejor interacción es la de solución FAO con la densidad baja.

En la tabla se presentan los resultados de la variable número de hojas en el contexto de un experimento de hidroponía para el cultivo de rúcula en zonas altiplánicas. Según los resultados, el tratamiento 3, que utiliza la combinación de Fao y una densidad baja de 10 cm, obtuvo un promedio mayor de 11,7 hojas por planta en comparación con los demás tratamientos.

Sin embargo, el tratamiento 6, que emplea la solución Cabezas y una densidad baja de 10 cm, también presenta un promedio similar al del tratamiento 1. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de otros estudios que han demostrado que la densidad de siembra y la composición de la solución nutritiva son factores clave que influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas en sistemas hidropónicos.

Además, la hidroponía ofrece varias ventajas sobre los métodos de cultivo tradicionales, como la reducción del uso de agua y la eliminación de la necesidad de suelo, lo que reduce el riesgo de enfermedades y plagas. También permite un mayor control sobre las condiciones de crecimiento, lo que puede mejorar la calidad y el rendimiento de los cultivos

6.3 Peso Fresco

Para la evaluación de la variable peso fresco del cultivo de rúcula por efecto de dos soluciones nutritivas y tres densidades de plantación, se hizo el análisis de varianza.

Cuadro 19: Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
MODELO	16,03	8	2,00	3,51	0,0174
BLOQUES	2,55	3	0,85	1,49	0,2587 NS
SOLUCIONES	4,91	1	4,91	8,60	0,0103 *
DENSIDADES	6,99	2	3,50	6,12	0,0114 *
SOLUCIONES*DENSIDADES	1,57	2	0,79	1,38	0,2827 NS
ERROR	8,57	15	0,57		
TOTAL	24,60	23			

Fuente: Elaboración propia

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

C.V.: 9,09

Se observa que las diferencias estadísticas son no significantes entre bloques, las condiciones de trabajo son similares por lo tanto el efecto de los bloques no afecto al experimento. Se encontró que las diferencias estadísticas son significativas para el factor de soluciones, lo cual nos indica que las soluciones tienen influencia en el experimento.

Se obtuvo diferencias estadísticas significativas para el factor densidades lo cual nos indica que el factor tiene influencia en el experimento.

En cuanto a la interacción de factores, podemos señalar que no tiene influencia en el experimento ya que se obtuvo no significancia entre los datos.

El coeficiente de variabilidad no dio como resultado 9,09 el cual se encuentra dentro del rango permitido, lo cual nos señala que hubo buen manejo de datos.

Prueba de medias Duncan para Soluciones

Cuadro 20: Prueba de Duncan.

SOLUCIONES	MEDIAS gr.	AGLOMERAMIENTO DUNCAN
FAO	8,77	A
CABEZAS	7,87	B

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro se realizó la prueba comparaciones de medias de Duncan, a un nivel de 5%, existe diferencias altamente significativas entre las soluciones Cabezas y FAO. Con 8,77 y 7,87 gramos respectivamente, donde se muestra que la solución de la FAO es la más indicada para obtener mayor peso fresco.

Prueba de medias Duncan para Densidades

Cuadro 21: Prueba de Duncan.

DENSIDADES	MEDIAS gr.	AGLOMERAMIENTO DUNCAN
ALTA 5 cm.	9	A
MEDIA 7.5 cm.	8,28	A B
BAJA 10 cm.	7,68	B

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro se realizó la prueba comparaciones de medias de Duncan, a un nivel de 5%, existe diferencias altamente significativas entre las densidades de 5 cm, 7,5 cm y 10 cm. con 9, 8,28 y 7,68 gramos respectivamente, donde se aprecia que la densidad alta tiene mayor influencia en el número de hojas.

Prueba de medias Duncan para Interacción de Soluciones y Densidades

Cuadro 22: Prueba de Duncan.

SOLUCIONES X DENSIDADES		MEDIAS gr.	AGLOMERAMIENTO DUNCAN
FAO	ALTA 5	9,53	A
FAO	MEDIA 7.5	9	A
CABEZAS	ALTA 5	8,47	A B
FAO	BAJA 10	7,79	B
CABEZAS	BAJA 10	7,58	B
CABEZAS	MEDIA 7.5	7,56	B

Fuente: Elaboración propia

El peso fresco es una variable importante en la evaluación del rendimiento de las plantas. En nuestro estudio, encontramos que la solución FAO y una densidad alta de plantación (5cm x 5cm) fueron las más indicadas para obtener un mayor peso fresco en la rúcula cultivada en la técnica de raíz flotante. Además, observamos que tanto la solución FAO como la densidad alta de plantación tuvieron efectos significativos en el peso fresco.

Nuestros resultados son consistentes con estudios previos que han demostrado que la composición nutricional de la solución nutritiva y la densidad de plantación pueden tener un efecto significativo en el rendimiento de las plantas. La solución FAO puede proporcionar los nutrientes necesarios para un crecimiento óptimo de la planta y, por lo tanto, resultar en un mayor peso fresco.

En cuanto a la densidad de plantación, nuestros resultados sugieren que una mayor densidad de plantas puede ser beneficiosa para el peso fresco en la técnica de raíz flotante. Esto puede deberse a una mayor competencia por los nutrientes y la luz, lo que puede estimular el crecimiento y desarrollo de las plantas. En resumen, nuestros resultados sugieren que la selección adecuada de la solución nutritiva y la densidad de plantación pueden mejorar significativamente el peso fresco en la rúcula cultivada en la técnica de raíz flotante. La solución FAO y una densidad alta de plantación pueden ser beneficiosas para el rendimiento de la planta en esta técnica.

6.4 Volumen de planta

Para una mejor evaluación de la variable volumen de planta del cultivo de rúcula por efecto de dos soluciones nutritivas y tres densidades de plantación, se realizó el análisis de varianza.

Cuadro 23: Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
MODELO	17,33	8	2,17	52	<0,0001
BLOQUES	0,13	3	0,04	1	0,4199 NS
SOLUCIONES	15,04	1	15,04	361	<0,0001 **
DENSIDADES	1,08	2	0,54	13	0,0005 **
SOLUCIONES*DENSIDADES	1,08	2	0,54	13	0,0005 **
ERROR	0,63	15	0,04		
TOTAL	17,96	23			

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

C.V.: 9,24

Se observa que las diferencias estadísticas son no significantes entre bloques, las condiciones de trabajo son similares por lo tanto el efecto de los bloques no afecto al experimento, se encontró que las diferencias estadísticas son altamente significativas para el factor de soluciones, lo cual nos indica que las soluciones tienen una alta influencia en el experimento.

Se obtuvo diferencias estadísticas altamente significativas para el factor densidades lo cual nos indica que el factor tiene mucha influencia en el experimento.

En cuanto a la interacción de factores, podemos señalar que tiene alta influencia en el experimento ya que la diferencia es altamente significativa.

El coeficiente de variabilidad no dio como resultado 9,24 el cual se encuentra dentro del rango permitido, lo cual nos señala que hubo buen manejo de datos.

Prueba de medias Duncan para Soluciones.

Cuadro 21: Prueba de Duncan.

SOLUCIONES	MEDIAS gr.	AGLOMERAMIENTO DUNCAN
FAO	3	A
CABEZAS	1,42	B

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro se realizó la prueba comparaciones de medias de Duncan, a un nivel de 5%, existe diferencias altamente significativas entre las soluciones FAO y Cabezas. Con 3 y 1,42 mililitros respectivamente, donde se muestra que la solución de la FAO es la más indicada para obtener mayor volumen de planta.

Prueba de medias Duncan para Densidades.

Cuadro 24: Prueba de Duncan.

DENSIDADES	MEDIAS gr.	AGLOMERAMIENTO DUNCAN
ALTA 5 cm.	2,5	A
BAJA 10 cm.	2,13	B
MEDIA 7.5 cm.	2	B

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro se realizó la prueba comparaciones de medias de Duncan, a un nivel de 5%, existe diferencias altamente significativas entre las densidades de 5 cm, 7,5 cm y 10 cm. con 2,5, 2,13 y 2 mililitros respectivamente, donde se muestra que la densidad alta tiene mayor influencia en el volumen de plantas.

Prueba de medias Duncan para Interacción de Soluciones y Densidades

Cuadro 25: Prueba de Duncan

SOLUCIONES X DENSIDADES	MEDIAS gr.	AGLOMERAMIENTO DUNCAN
FAO BAJA 10 cm.	3	A
FAO ALTA 5 cm.	3	A
FAO MEDIA 7.5 cm.	3	A
CABEZAS ALTA 5 cm.	2	B
CABEZAS BAJA 10 cm.	1,25	C
CABEZAS MEDIA 7.5 cm.	1	C

Fuente: Elaboración propia

Se realizó la prueba Duncan para la interacción entre soluciones y densidades en la cual se puede apreciar una diferencia estadística significativa, donde podemos señalar que la mejor interacción es la de solución FAO con la densidad baja

El volumen de planta es una variable importante en la evaluación del crecimiento y desarrollo de las plantas. En nuestro estudio, encontramos que la solución FAO y una densidad alta de plantación (5cm x 5cm) fueron las más indicadas para obtener un mayor volumen de planta en la rúcula cultivada en la técnica de raíz flotante.

Además, observamos que tanto la solución FAO como la densidad alta de plantación tuvieron efectos significativos en el volumen de planta. Nuestros resultados son consistentes con estudios previos que han demostrado que la composición nutricional de la solución nutritiva y la densidad de plantación pueden tener un efecto significativo en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Puntualmente, la solución FAO puede proporcionar los nutrientes necesarios para un crecimiento óptimo de la planta y, por lo tanto, resultar en un mayor volumen de planta. En cuanto a la densidad de plantación, nuestros resultados sugieren que una mayor densidad de plantas puede ser beneficiosa para el volumen de planta en la técnica de raíz flotante. Esto puede deberse a una mayor competencia por los nutrientes y la luz, lo que puede estimular el crecimiento y desarrollo de las plantas.

6.5 Longitud de raíz

Para la evaluación de la variable peso fresco del cultivo de rúcula por efecto de dos soluciones nutritivas y tres densidades de plantación, se hizo el análisis de varianza.

Cuadro 26: Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
MODELO	1344,91	8	168,11	11,28	<0,0001
BLOQUES	122,94	3	40,98	2,75	0,0794 NS
SOLUCIONES	512,36	1	512,36	34,37	<0,0001 **
DENSIDADES	613,26	2	306,63	20,57	0,0001 **
SOLUCIONES*DENSIDADES	96,36	2	48,18	3,23	0,0681 NS
ERROR	223,63	15	14,91		
TOTAL	1568,55	23			

Fuente: Elaboración propia

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

C.V.: 10,09

Se observa que las diferencias estadísticas son no significantes entre bloques, las condiciones de trabajo son similares por lo tanto el efecto de los bloques no afecto al experimento. Las diferencias estadísticas son altamente significativas para el factor de soluciones, lo cual nos indica que las soluciones tienen una alta influencia en el experimento.

Se obtuvo diferencias estadísticas altamente significativas para el factor densidades lo cual nos indica que el factor tiene alta influencia en el experimento. En cuanto a la interacción de factores, podemos señalar que no tiene influencia en el experimento ya que se obtuvo no significancia entre los datos.

El coeficiente de variabilidad no dio como resultado 10,09 el cual se encuentra dentro del rango permitido, lo cual nos señala que hubo buen manejo de datos.

Prueba de medias Duncan para Soluciones

Cuadro 27: Prueba de Duncan.

SOLUCIONES	MEDIAS cm.	AGLOMERAMIENTO DUNCAN
CABEZAS	42,88	A
FAO	33,64	B

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro se realizó la prueba comparaciones de medias de Duncan, a un nivel de 5%, existe diferencias altamente significativas entre las soluciones FAO y Cabezas. Con 42,88 y 33,64 centímetros respectivamente, donde se muestra que la solución de Cabezas es la más indicada para obtener mayor longitud de raíz.

Prueba de medias Duncan para Densidades

Cuadro 28: Prueba de Duncan.

DENSIDADES	MEDIAS cm.	AGLOMERAMIENTO DUNCAN
ALTA 5 cm.	44,94	A
MEDIA 7.5 cm.	37,13	B
BAJA 10 cm.	32,72	C

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro se realizó la prueba comparaciones de medias de Duncan, a un nivel de 5%, existe diferencias altamente significativas entre las densidades de 5 cm, 7,5 cm y 10 cm. Con 44,94, 37,13 y 32,72 centímetros respectivamente, donde se muestra que la densidad alta es la más indicada para obtener mayor longitud de raíz.

Prueba de medias Duncan para Interacción de Soluciones y Densidades

Cuadro 29: Prueba de Duncan.

SOLUCIONES X DENSIDADES		MEDIAS cm.	AGLOMERAMIENTO DUNCAN	
CABEZAS	ALTA 5 cm.	52,36	A	
CABEZAS	MEDIA 7.5 cm.	40,77	B	
FAO	ALTA 5 cm.	37,53	B	C
CABEZAS	BAJA 10 cm.	35,53	B	C D
FAO	MEDIA 7.5 cm.	33,49	C D	
FAO	BAJA 10 cm.	29,91	D	

Fuente: Elaboración propia

Se realizó la prueba Duncan para la interacción entre soluciones y densidades en la cual se puede apreciar una diferencia estadística significativa, donde podemos señalar que la mejor interacción es la de solución Cabezas con la densidad alta. En el siguiente cuadro se puede ver como la interacción Cabezas con la densidad alta tienen efecto en el volumen de planta.

La longitud de la raíz es un indicador morfológico que refleja la capacidad de las plantas para explorar el suelo o el sustrato y absorber agua y nutrientes. Una mayor longitud de raíz implica una mayor eficiencia en el uso de los recursos y una mayor tolerancia al estrés hídrico o salino. La longitud de la raíz también influye en la biomasa aérea, el rendimiento y la composición química de las hojas.

Existen pocos estudios que comparen la longitud de raíz en rúcula entre el cultivo tradicional y el hidropónico. Algunos autores han reportado que el cultivo hidropónico favorece una mayor longitud de raíz que el cultivo tradicional, debido a que el sustrato ofrece menos resistencia mecánica y permite una mejor aireación y distribución de la solución nutritiva. Otros autores han encontrado que el cultivo tradicional estimula una mayor longitud de raíz que el cultivo hidropónico, debido a que el suelo presenta una mayor heterogeneidad y complejidad que el sustrato, lo que induce a las plantas a desarrollar un sistema radicular más extenso y ramificado.

La comparación de la longitud de raíz en rúcula tanto en cultivo tradicional como hidropónico depende de varios factores, como el tipo y la calidad del suelo o del

sustrato, la concentración y la composición de la solución nutritiva, el manejo del riego, las condiciones climáticas, la variedad o el cultivar de rúcula, entre otros. Por lo tanto, se requieren más investigaciones para determinar las condiciones óptimas para cada sistema de cultivo y para cada genotipo de rúcula, con el fin de optimizar el crecimiento y la calidad de esta hortaliza.

La longitud de raíz es una variable importante en la evaluación del crecimiento y desarrollo de las plantas. En nuestro estudio, encontramos que la solución FAO y una densidad alta de plantación (5cm x 5cm) fueron las más indicadas para obtener una mayor longitud de raíz en la rúcula cultivada en la técnica de raíz flotante. En particular, la solución FAO puede proporcionar los nutrientes necesarios para un crecimiento óptimo de la raíz y, por lo tanto, resultar en una mayor longitud de raíz.

6.6 Porcentaje de germinación

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 almácigo de sustrato inerte, el cual constaba de arena fina desinfectada. El porcentaje de emergencia que se obtuvo fue 92,34%

6.7 Días al trasplante

El trasplante se lo realizó a los 30 días después de la siembra esto, porque se esperó hasta la emergencia de las hojas verdaderas, las cuales ya nos garantizaban que la planta podía cumplir su ciclo completo en la piscina hidropónica.

6.8 Análisis económico

En el presente análisis económico describimos a los parámetros relevantes para determinar la rentabilidad o no rentabilidad de la producción del cultivo de rúcula bajo la aplicación de dos soluciones nutritivas y tres densidades.

6.8.1 Presupuesto parcial

El siguiente cuadro presenta el presupuesto parcial sobre la aplicación de la técnica de raíz hidropónica en rúcula bajo tres densidades expresado en bolivianos (Bs).

Cuadro 29: Análisis de presupuesto parciales para la producción de rúcula

Tratamiento	Rendimiento kg/m ²	Rendimiento Ajustado	Rendimiento Bruto	Rendimiento Bruto Ajustado	Costos Variables	Beneficio Neto
1	16,00	15,84	316,8	3484,8	1004	2480,8
2	6,72	6,65	133,1	1463,6	1004	459,6
3	3,27	3,24	64,7	712,2	1004	-291,8
4	14,19	14,05	281,0	3090,6	1283	1807,6
5	5,64	5,58	111,7	1228,4	1283	-54,6
6	3,18	3,15	63,0	692,6	1203	-510,4

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 28, en la segunda columna se observa el rendimiento medio de rúcula producidos para cada tratamiento donde se puede indicar que, existe un mayor rendimiento medio del tratamiento T1 con un rendimiento de 16 kg/m², seguido por los demás rendimientos medios de los otros tratamientos: T4 con 14,19 kg/m², T2 con 6,72kg/m², T5 con 5,64 kg/m², T3 con 3,27 kg/m² y por último el T6 que produjo 3,18 kg/m², además se multiplicó por el área del experimento.

En la tercera columna se observa el rendimiento ajustado para todos los tratamientos, es así que se ajustó el rendimiento obtenido con un 10% de decremento, con el fin de eliminar la sobre estimación del ensayo y reflejar la diferencia entre el rendimiento experimental y del productor, los cuales siempre van a ser superiores a los de este.

La cuarta columna, presenta los beneficios brutos de campo que se obtuvo de los rendimientos ajustados por el precio de venta de rúcula, una vez descontados los gastos de producción, es así que, obtuvo un mayor beneficio bruto el tratamiento que presentó mayor rendimiento (T1), siendo el precio de venta del producto para todos los tratamientos 250 gramos a 5 bolivianos.

En la quinta columna se realizó un ajuste del ingreso bruto, 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 las cuales serían 11.

En la sexta columna se observa el total de los costos variables para cada tratamiento

6.8.2 Cálculo del beneficio costo.

El beneficio neto está dado por el ingreso bruto menos los costos de producción.

Cuadro 30: Cálculo del Beneficio neto y la relación Beneficio/Costo la producción de rúcula

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Ingreso Bruto	3484,8	1463,6	712,2	3090,6	1228,4	692,6
Costos de producción	1004	1004	1004	1283	1283	1203
Ingreso neto	2480,8	459,6	-291,8	1807,6	-54,6	-510,4
Relación B/C	3,47	1,46	0,71	2,41	0,96	0,58

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al cuadro 29, muestra que los tratamientos 1 y el tratamiento 2 presentan rentabilidad, siendo el primer tratamiento el más rentable de los dos. Ya que por cada boliviano invertido existirá un retorno de 3,47 Bs.

7. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados para el presente trabajo y considerando los resultados obtenidos del análisis estadístico, además de las observaciones hechas en campo se llegaron a las siguientes conclusiones:

- Para la variable altura de planta podemos señalar que la mejor interacción fue entre la solución FAO y densidad alta(5cm.), tratamiento 1, con la cual se obtuvo un promedio de 21,6 cm, el cual es un buen tamaño para la comercialización. Por otro lado, también se debe tener en cuenta a los otros tratamientos ya que no existe diferencias amplias entre tratamientos.
- En cuanto a la variable de numero de hojas tenemos que la combinación de FAO y la densidad baja(10cm.), el tratamiento 3, fue la que obtuvo un promedio mayor respecto de los otros tratamientos con 11,7 hojas por planta, pero, también tenemos que el tratamiento 6, solución Cabezas y densidad baja(10cm.) tiene un promedio cercano al tratamiento 1
- Con respecto a la variable de peso fresco tenemos que la mejor interacción fue la de solución FAO y densidad alta (10cm.), el cual tiene un promedio de 9.53 gr. seguido del tratamiento 2, solución FAO y densidad media (7,5cm.)
- En el caso de la variable de volumen de planta, se obtuvo que el tratamiento 3, solución FAO y densidad baja (10cm.) tiene el mejor promedio frente a los demás datos
- Para la variable de longitud de raíz, podemos señalar que el mejor promedio lo obtuvo el tratamiento 4, solución Cabezas y densidad alta, el cual tiene como media de longitud de raíz 52,36 cm.
- Para poder generalizar todas estas variables tenemos que señalar que el tratamiento 1 es el que mejor promedio ha obtenido tanto en longitud de planta y peso fresco, indicado que existe una relación entre el peso y la longitud de planta, las cuales son características buscadas en la producción y comercialización de la rúcula, ya que la misma podría ayudarnos a comercializarla a un costo un poco más alto de lo normal.

- Desde el punto de vista comercial podemos señalar que el tratamiento 1 genera más ganancias, también podemos señalar que, en cuestión de costos, la solución FAO nos resulta más rentable en comparación a la solución Cabezas

8. RECOMENDACIONES

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

- Para evitar la formación de algas en ciclo productivo, en el sistema de raíz flotante, se recomienda hacer uso de un oxigenador de mayor potencia, por otro lado, esto también ayudará a que los valores de conductividad eléctrica sean menores, lo cual repercutirá en el uso de agua.
- Respecto del materia para el forrado de la piscina se recomienda hacer uso de lonas impermeables, material que tiene mayor vida útil frente al plástico además de que una vez concluido el ciclo productivo este se puede limpiar para así evitar la aparición de algas.
- Se debe tener mucho cuidado al momento de hacer el trasplante, es decir, el paso de la almaciguera a la piscina hidropónica, ya que los plantines son frágiles
- Tomando en cuenta el aspecto económico tenemos que señalar que los costos solo fueron realizados para el experimento. Por lo tanto, el hacer más de una campaña al año puede representar una disminución en los costos y un aumento de en las ganancias, todo esto el largo plazo, no así en el corto plazo.
- Al momento de desarrollar el trabajo se ha evidenciado la existencia de alguicidas hidropónicos, que pueden ser utilizados, para disminuir las pérdidas de nutrientes en la solución, ya que se observó una mayor cantidad de estos en la fase final de la producción.

9. BIBLIOGRAFIA

- ALMODÓVAR, 1998. Enfermedades de los hidropónicos. Clínica de plantas, servicio de extensión agrícola. Consultado 18 de febrero del 2022. Disponible en: <http://www.clinicaaldia.net>
- ALONSO, M., 2012. Rúcula – ABC Digital. (En línea). España. Consultado el 17 de febrero de 2022. Disponible en: [www.Archivo.abc.com.py/suplementos/rural/77rticulos.php? pid=158726](http://www.Archivo.abc.com.py/suplementos/rural/77rticulos.php?pid=158726)
- AGROMEAT, 2017. Raíz flotante. Consultado 6 de julio de 2019. Disponible en: www.agromeat.com/228813/hidroponia-guia-practica-para-crear-tu-propio-sistema-de-raiz-flotante-en-tu-hogar
- ALVARADO, D.; CHAVEZ, F.; ANNA, K. 2001. Seminario de Agro negocios: Lechugas Hidropónicas. Universidad del Pacífico. Consultado 18 de febrero 2019 Disponible en: <http://www.upbusiness.net/upbusiness/docs/mercados/11.pdf>.
- ALVAREZ, G. J. 1999. Hidroponía, principios y métodos de cultivo., Alta Vista. Consultado 17 de febrero del 2022. 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.
- BARBADO., 2005. Producción hidropónica de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en sistema re circulante. Atlántica de Costa Rica. Universidad EARTH. pp. 39.
- 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.
- BEDRI, E., 2010. Libreta de apunte de hortalizas. (En línea). México. Consultado el 18 de febrero 2022. Disponible en [www: bedri.es/Libreta_de_apuentes/R/RA/Hortalizas.htm](http://www.bedri.es/Libreta_de_apuentes/R/RA/Hortalizas.htm).

- COSECHANDO NATURAL, 2017. Raíz flotante. Consultado 18 de febrero de 2022. Disponible en: www.cosechandonatural.com.mx/guias-cultivo-en-raiz-flotante-html
- CATAFORA, E.P., 1996 Curso Internacional de Hidroponía. Centro de investigación de Hidroponía. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima-Perú. Pp. 396
- CABEZAS, R, S/A, Libro de hidroponía- Un libro sintético. La Paz- Bolivia. Pp. 18- 22
- ESTRADA LIGORRÍA, L., 2001. Fertilizantes líquidos STOLLER. In Curso Taller: La hidroponía, una alternativa de cultivo ecológico y rentable, Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 1 CD.
- GILSANZ J., 2007. Hidroponía. Montevideo, Uruguay. INIA Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. 31 p.
- HUTERWAL G., 1991. Hidroponía, Cultivo de Plantas Sin Tierra. Buenos Aires, Argentina. pp. 234.
- INIA, Instituto Nacional de Investigación Agraria., 2000. Guía del huerto hidropónico. Primera edición. Lima Perú. Pp. 106.
- IZQUIERDO. J., 2005. Hidroponía Popular, Oficina Regional de la FAO, Santiago – Chile. PP. 50
- MORGAN, L., 2001. La importancia del oxígeno en hidroponía. El oxígeno disuelto es algunas veces el ingrediente que olvidamos en la solución nutritiva (en línea). Lima,
- PURQUERIO, F., 2012. Rúcula – Globo Rural. (En línea). Brasil. Consultado el 18 de febrero de 2022. Disponible en: www.Revistagloborural.globo.com.
- 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 17 de febrero de 2022. Disponible en: www.conabio.gob.mx/.../brassicaceae/.../ficha.htm.

- RODRÍGUEZ A.; Hoyos M.; Chang., 2002. Manual práctico de hidroponía. Tercera edición. Centro de Investigación de Hidroponía Universidad Agraria La Molina. Lima, Perú
- SANCHEZ, C., 2004. Cultivo y Comercialización de Hortalizas. Ripalma. Lima – Perú. 57 p.
- SOIL IMPROVEMENT COMMITTEE CALIFORNIA FERTILIZER ASSOCIATION, US. 2004. Manual de fertilizantes para horticultura. Trad. Manuel Guzmán. México, Limusa. 297 p.
- SOMANTICO, S.,2017. Raizflotante. Consultado 16 de febrero de 2022. Disponible en: www.infocampo.com.ar/hidroponia-guia-practica-para-crear-tu-propio-sistema-de-raiz-flotante-en-tu-hogar
- URIBE P. 2001. Guía de huerto hidropónico. Serie Manual técnico. Instituto de investigación agraria (INIA). Argentina.

Anexos

**ANEXO 1: ANALISIS ECONOMICO TRATAMIENTO 1 (SOLUCION FAO –
DENSIDAD ALTA 5cm.)**

	UNIDAD	CANTIDAD	P/UNITARIO	COSTO
NYLON NEGRO	metros	20	4	80
PLASTOFORMO	paquete	1	80	80
ESPONJA	metro	1	5	5
HIPOCLORITO DE SODIO	litro	1	10	10
SCOTCH	unidad	2	2,5	5
BOMBAS DE OXIGENO	unidad	4	100	400
CAUTIN	unidad	1	40	40
CABLES Y CONEXIONES	metro	30	1,5	45
				0
SEMILLA	onza	1	25	25
ARENA	pala	1	5	5
				0
PREPARACION DEL ALMACIGO Y SUSTRATO	jornal	1	10	10
PREPARACION DE LA SOLUCION NUTRIVA	jornal	1	10	10
TRASPLANTE ALMACIGO Y COSECHA	jornal	1	10	10
NITRATO DE POTASIO	kilo	0,5	48	24
FOSTATO MONOAMONICO	kilo	0,5	155	77,5
SULFATO DE MAGNESIO	kilo	0,5	51	25,5
HIERRO EDTA	kilo	0,5	140	70
SULFATO DE MANGANESO	kilo	0,5	79	39,5
NITRATO DE CALCIO	kilo	0,5	85	42,5
TOTAL				1004

**ANEXO 2: ANALISIS ECONOMICO TRATAMIENTO 2 (SOLUCION FAO –
DENSIDAD MEDIA 7.5 cm.)**

	UNIDAD	CANTIDAD	P/UNITARIO	COSTO
NYLON NEGRO	metros	20	4	80
PLASTOFORMO	paquete	1	80	80
ESPONJA	metro	1	5	5
HIPOCLORITO DE SODIO	litro	1	10	10
SCOTCH	unidad	2	2,5	5
BOMBAS DE OXIGENO	unidad	4	100	400
CAUTIN	unidad	1	40	40
CABLES Y CONEXIONES	metro	30	1,5	45
				0
SEMILLA	onza	1	25	25
ARENA	pala	1	5	5
				0
PREPARACION DEL ALMACIGO Y SUSTRATO	jornal	1	10	10
PREPARACION DE LA SOLUCION NUTRIVA	jornal	1	10	10
TRASPLANTE ALMACIGO Y COSECHA	jornal	1	10	10
NITRATO DE POTASIO	kilo	0,5	48	24
FOSTATO MONOAMONICO	kilo	0,5	155	77,5
SULFATO DE MAGNESIO	kilo	0,5	51	25,5
HIERRO EDTA	kilo	0,5	140	70
SULFATO DE MANGANESO	kilo	0,5	79	39,5
NITRATO DE CALCIO	kilo	0,5	85	42,5
TOTAL				1004

**ANEXO 3: ANALISIS ECONOMICO TRATAMIENTO 3 (SOLUCION FAO –
DENSIDAD BAJA 10 cm.)**

	UNIDAD	CANTIDAD	P/UNITARIO	COSTO
NYLON NEGRO	metros	20	4	80
PLASTOFORMO	paquete	1	80	80
ESPONJA	metro	1	5	5
HIPOCLORITO DE SODIO	litro	1	10	10
SCOTCH	unidad	2	2,5	5
BOMBAS DE OXIGENO	unidad	4	100	400
CAUTIN	unidad	1	40	40
CABLES Y CONEXIONES	metro	30	1,5	45
				0
SEMILLA	onza	1	25	25
ARENA	pala	1	5	5
				0
PREPARACION DEL ALMACIGO Y SUSTRATO	jornal	1	10	10
PREPARACION DE LA SOLUCION NUTRIVA	jornal	1	10	10
TRASPLANTE ALMACIGO Y COSECHA	jornal	1	10	10
NITRATO DE POTASIO	kilo	0,5	48	24
FOSTATO MONOAMONICO	kilo	0,5	155	77,5
SULFATO DE MAGNESIO	kilo	0,5	51	25,5
HIERRO EDTA	kilo	0,5	140	70
SULFATO DE MANGANESO	kilo	0,5	79	39,5
NITRATO DE CALCIO	kilo	0,5	85	42,5
TOTAL				1004

**ANEXO 4: ANALISIS ECONOMICO TRATAMIENTO 4 (SOLUCION CABEZAS –
DENSIDAD ALTA 5 cm.)**

	UNIDAD	CANTIDAD	P/UNITARIO	COSTO
NYLON NEGRO	metros	20	4	80
PLASTOFORMO	paquete	1	80	80
ESPONJA	metro	1	5	5
HIPOCLORITO DE SODIO	litro	1	10	10
SCOTCH	unidad	2	2,5	5
BOMBAS DE OXIGENO	unidad	4	100	400
CAUTIN	unidad	1	40	40
CABLES Y CONEXIONES	metro	30	1,5	45
				0
SEMILLA	onza	1	25	25
ARENA	pala	1	5	5
				0
PREPARACION DEL ALMACIGO Y SUSTRATO	jornal	1	10	10
PREPARACION DE LA SOLUCION NUTRIVA	jornal	1	10	10
TRASPLANTE ALMACIGO Y COSECHA	jornal	1	10	10
				0
NITRATO DE POTASIO	kilo	1	48	48
FOSTATO MONOAMONICO	kilo	1	155	155
SULFATO DE MAGNESIO	kilo	1	51	51
HIERRO EDTA	kilo	1	140	140
SULFATO DE MANGANESO	kilo	1	79	79
NITRATO DE CALCIO	kilo	1	85	85
TOTAL				1283

**ANEXO 5: ANALISIS ECONOMICO TRATAMIENTO 5 (SOLUCION CABEZAS –
DENSIDAD MEDIA 7.5 cm.)**

	UNIDAD	CANTIDAD	P/UNITARIO	COSTO
NYLON NEGRO	metros	20	4	80
PLASTOFORMO	paquete	1	80	80
ESPONJA	metro	1	5	5
HIPOCLORITO DE SODIO	litro	1	10	10
SCOTCH	unidad	2	2,5	5
BOMBAS DE OXIGENO	unidad	4	100	400
CAUTIN	unidad	1	40	40
CABLES Y CONEXIONES	metro	30	1,5	45
				0
SEMILLA	onza	1	25	25
ARENA	pala	1	5	5
				0
PREPARACION DEL ALMACIGO Y SUSTRATO	jornal	1	10	10
PREPARACION DE LA SOLUCION NUTRIVA	jornal	1	10	10
TRASPLANTE ALMACIGO Y COSECHA	jornal	1	10	10
				0
NITRATO DE POTASIO	kilo	1	48	48
FOSTATO MONOAMONICO	kilo	1	155	155
SULFATO DE MAGNESIO	kilo	1	51	51
HIERRO EDTA	kilo	1	140	140
SULFATO DE MANGANESO	kilo	1	79	79
NITRATO DE CALCIO	kilo	1	85	85
TOTAL				1283

**ANEXO 6: ANALISIS ECONOMICO TRATAMIENTO 6 (SOLUCION CABEZAS –
DENSIDAD BAJA 10 cm.)**

	UNIDAD	CANTIDAD	P/UNITARIO	COSTO
NYLON NEGRO	metros	20	4	80
PLASTOFORMO	paquete	1	80	80
ESPONJA	metro	1	5	5
HIPOCLORITO DE SODIO	litro	1	10	10
SCOTCH	unidad	2	2,5	5
BOMBAS DE OXIGENO	unidad	4	100	400
CAUTIN	unidad	1	40	40
CABLES Y CONEXIONES	metro	30	1,5	45
				0
SEMILLA	onza	1	25	25
ARENA	pala	1	5	5
				0
PREPARACION DEL ALMACIGO Y SUSTRATO	jornal	1	10	10
PREPARACION DE LA SOLUCION NUTRIVA	jornal	1	10	10
TRASPLANTE ALMACIGO Y COSECHA	jornal	1	10	10
				0
NITRATO DE POTASIO	kilo	1	48	48
FOSTATO MONOAMONICO	kilo	1	155	155
SULFATO DE MAGNESIO	kilo	1	51	51
HIERRO EDTA	kilo	1	140	140
SULFATO DE MANGANESO	kilo	1	79	79
NITRATO DE CALCIO	kilo	1	85	85
TOTAL				1283

ANEXO 7: ACONDICIONAMIENTO DE ALMACIGUERAS



Preparación del sustrato para el almacigo



Preparado de almacigueras



Elaboración del soporte para el cultivo



Emergencia de las primeras plántulas

ANEXO 8: IMPLEMENTACION DE LA PISCINA HIDROPONICA



Implementación de la piscina



Preparado de solución nutritiva

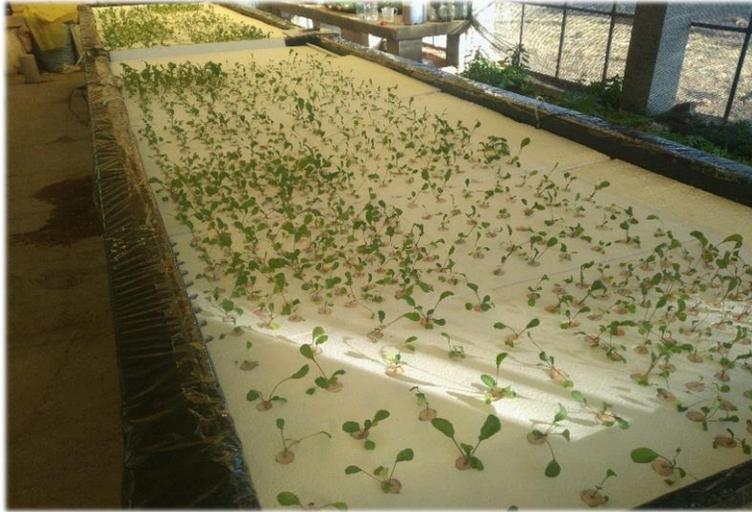


Incorporación de la solución nutritiva



Instalación del sistema de aireación

ANEXO 9: CRECIMIENTO DEL CULTIVO DE RUCULA



Plántulas de rúcula en su primera semana en la piscina hidropónica



Plántulas de rúcula previa a la cosecha

ANEXO 10: EVALUACION DE VARIABLES



Medición del volumen de planta



Medición de longitud de planta



Medición del peso fresco de la planta