INTRODUCCIÓN

Según CAMPO- EXPERT (2013), Las hortalizas son de mucha importancia para la alimentación y buena nutrición. Su consumo contribuye a satisfacer las necesidades de nuestro organismo. La espinaca es una hortaliza anual y dioica. Pertenece a las Chenopodiaceae, de hojas comestibles muy apetecida por sus cualidades dietéticas y por poseer un sabor característico que se destaca, presenta un alto valor nutricional y una creciente demanda en los mercados nacionales e internacionales.

Los países que lideran la producción de espinaca en el mundo son China, India, Estados Unidos y Turquía. En América Latina, destacan México y Perú. Las principales formas de cultivar espinaca incluyen el cultivo en campo abierto, el cultivo protegido y, en menor medida, el cultivo hidropónico. (FAOSTAT, 2018)

La hidroponía es un método utilizado para cultivar plantas usando soluciones nutritivas o medios de cultivo. Los sistemas hidropónicos persiguen producciones de alta calidad, alimentos inocuos y el uso eficiente del agua, mediante tecnologías que permiten modificar y controlar el ambiente, para satisfacer las necesidades de los cultivos. La hidroponía reduce el uso de productos fitosanitarios por lo que los alimentos son más inocuos y los costos de producción bajan por este concepto. (AGRONOTIPS, 2022)

La producción agrícola en invernaderos, es el único método tecnológico que utiliza el control del ambiente, para alcanzar mayores rendimientos de los cultivos, donde es posible proteger y producir en lugares con condiciones del clima y del suelo desfavorables. La hidroponía en invernadero puede alcanzar una mayor densidad de planta y rentabilidad, con manejos adecuados y especialización permanente de parte de los productores.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según Camelo (2003), Por ser las hortalizas consumidas en fresco, todo organismo patógeno para el ser humano que pueda transportarse sobre su superficie constituye un peligro potencial. Las hortalizas no solamente deben ser atractivas en cuanto a su apariencia y valor nutritivo, sino también su consumo no debe poner en riesgo la salud. Los contaminantes peligrosos, como la presencia de microorganismos patógenos, micotoxinas, metales pesados. Son más difíciles de controlar en un sistema de cultivo tradicional, que presentan diferentes focos de riesgo.

La hidroponía en Tarija se limita a pocos cultivos y con poca frecuencia aparecen nuevas alternativas las cuales no se las puede conseguir de forma regular. Una de las limitaciones más importantes es la solución nutritiva adecuada para el cultivo. La obtención de una planta que cumpla con las características aceptables del mercado depende de la correcta nutrición que reciba. (El Pais, 2023)

Los consumidores demandan productos de excelente calidad, sin daños por agentes climáticos, plagas ni enfermedades. A su vez los agricultores requieren de una alta productividad. Esto se ve limitado en una producción a campo abierto que depende de las estaciones del año, condiciones climáticas y la exposición a diferentes plagas y enfermedades que fácilmente pueden dañar el cultivo.

JUSTIFICACIÓN

El cultivo de la espinaca hidropónica se justifica por las siguientes razones:

La hidroponía es una alternativa de producción que genera alimentos inocuos, ya que no existe contacto directo de los vegetales con el suelo y no están expuestos a un ambiente diverso donde se puedan contaminar con algún microorganismo peligroso. Las hortalizas hidropónicas tienen un menor residuo de plaguicidas. Este tipo de

agricultura permitirá satisfacer de una forma más sustentable la demanda de hortalizas. (Intagri, 2017)

Tomando en cuenta que en otros lugares utilizan soluciones nutritivas promedio para cultivar especies de tamaño similar que tienen un requerimiento parecido consiguiendo de esta forma llegar con más alternativas de cultivos al mercado y uno de esos cultivos es la espinaca. Probar como responde a diferentes formulaciones nos permitirá tener un punto de comparación que posiblemente nos permitirá obtener una cosecha de calidad para un mercado que tiene una inclinación a alimentos más saludables como los hidropónicos.

A través del uso de nuevas tecnologías como la implementación de invernaderos hidropónicos, se puede crear condiciones artificiales de microclima para el cultivo de plantas. Modificar el ambiente natural, creando condiciones óptimas en el desarrollo de los cultivos, contribuirá a alcanzar el adecuado crecimiento vegetal, aumentar los rendimientos, mejorar la calidad de los productos y obtener excelentes cosechas. (FEEDFUTURE, 2018)

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la respuesta del cultivo de espinaca (*Spinacia oleracea* L.) a tres formulaciones de solución nutritiva en condiciones de hidroponía en la comunidad del Portillo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la eficiencia de tres formulaciones de solución nutritiva en el desarrollo vegetativo de la Espinaca (*Spinacia oleracea* L.) en hidroponía.
- Analizar el efecto de tres formulaciones de solución nutritiva en el desarrollo de la Espinaca (*Spinacia oleracea* L.) en sistema NFT.
- Determinar la relación beneficio costo de la producción de Espinaca Hidropónica.

HIPÓTESIS

Hi: Los tres niveles de formulaciones de solución nutritiva promueven diferentes respuestas de desarrollo del cultivo de Espinaca en hidroponía.

Ho: Los tres niveles de formulaciones de solución nutritiva promueven similares respuestas de desarrollo del cultivo de Espinaca en hidroponía.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 CULTIVO DE LA ESPINACA

1.1.1 Generalidades del cultivo

La espinaca tiene su origen en Asia, en la región de China. Desde allí se expandió a Europa. En América, años después de la conquista de Colón en 1492, se empezó a traer semillas que se incorporaron a la dieta de los locales. (Espinacas.org, 2022)

La espinaca es una planta anual y dioica. Pertenece a las Chenopodiaceae que cuentan con más de 1400 especies distintas repartidas por todo el mundo. (Quincemil, 2022)

La espinaca es una planta hortícola herbácea, de porte pequeño y tallos herbáceos, con alto contenido de agua, hojas comestibles muy apetecida por sus cualidades dietéticas y un sabor característico que se destaca sobre todo por presentar un alto contenido de vitaminas y minerales. Pueden comerse crudas o cocidas. (CAMPO- EXPERT, 2013)

1.1.2 Propiedades nutricionales

Las verduras de hoja verde oscura como la espinaca son importantes para la salud de la piel, el cabello y los huesos. También son una fuente de proteínas, hierro, vitaminas y minerales. El consumo de espinacas mejora el control del azúcar en la sangre, reduce el riesgo de desarrollar cáncer y mejorar la salud ósea. Se puede incorporar fácilmente en cualquier dieta, ya que es económica y de fácil preparación. (MedicalNewsToday, 2019)

1.1.2.1 Valor nutricional

TABLA 1 *Valor Nutricional de la Espinaca por 100 gramos*

Composición nutricional por 100 gr.		
Composición	**Cantidad (gr)**	**Cantidad Diaria Recomendada CDR (%)**
K calorías	20.74	1.1%
Carbohidratos	0.61	0.2%
Proteínas	2.63	5.5%
Fibra	2.58	8.6%
Grasas	0.3	0.6%
Minerales	**Cantidad (mg)**	**CDR (%)**
Sodio	69	4.3%
Calcio	117	9.8%
Hierro	2.7	33.8%
Magnesio	0	0%
Fósforo	46	6.6%
Potasio	554	27.7%
Vitaminas	**Cantidad (mg)**	**CDR (%)**
Vitamina A	0.59	65.4%
Vitamina B1	0.09	7.5%
Vitamina B2	0.2	15.4%
Vitamina B3	1.38	0%
Vitamina B12	0	0%
Vitamina C	40	44.4%

Fuente: Vegaffinty (2014)

1.1.3 Importancia económica

La producción de espinaca puede destinarse a la industria y al mercado en fresco durante todo el año, en el norte y centro de Europa la producción se reduce a junio y octubre. La espinaca transformada por la industria de países como España, se destina a la exportación a países del norte y centro de Europa, que son grandes consumidores. (InfoAgro, 2010)

En la actualidad su cultivo está extendido por todo el mundo. La producción mundial de hortalizas el 2020 supera los 1.148 millones de toneladas. Los mayores productores de este vegetal son Japón, China, Estados Unidos y Turquía. (Quincemil, 2022)

El cultivo de la espinaca tiene muy buenas expectativas de futuro, especialmente el cultivo para industria debido al creciente mercado europeo. (CUERPOMENTE, 2018)

TABLA 2 *Producción de Hortalizas*

Prod. de Hortalizas	**Mt**
Hortalizas, frescas (n.e.p.).	298
Lechuga y achicoria.	27
Espinaca.	26

Fuente: FAOSTAT (2018)

TABLA 3 *Producción de Hortalizas por País*

Prod. de Hortalizas por País	**Mt**
China	552
India	128
EEUU	32
Turquía	24
Nigeria	16
Vietnam	16
México	16
Egipto	16
Irán	15
Federación Rusa	14
España	13
Italia	12
Indonesia	12
República de Corea	10
Japón	10

Fuente: FAOSTAT (2018)

1.1.4 Cultivo de espinaca en Bolivia

En Bolivia 93,8 hectáreas se utilizan para la producción de espinaca. Donde la producción es 293,8 Tonelada métrica. (INE, 2019)

Se produce en departamentos con temperaturas cálidas como Santa Cruz, o templado como Cochabamba que es el mayor productor en Bolivia. Su cultivo en lugares con temperaturas inferiores como el Departamento de La Paz es en invernadero. (BuenasTareas, 2011)

TABLA 4 *Rendimiento de espinaca Nacional e internacional a diferentes temperaturas ambientales*

Tipo de cultivo Y país	**Rendimiento**		**Fuente**
	Kg/m²	**Promedio**	
Suelo, Invernadero e hidroponía. En China.	1,5 y 5,0	4,57 kg/ m^2	(AgríGrafico, 2022)
Suelo y Biol. En Bolivia.	0,86 y 2,26	1,56 kg/ m^2	(Yupanqui, 2021)
Suelo y Bioestimulante. En Perú.	1,196 y 1,65	1,423 kg/ m^2	(Tintayo,2020)
Hidroponía raíz flotante. En Bolivia.	0,457 y 0,146	0,301 kg/ m^2	(Camacho, 2018)
Tipo de cultivo Y país	**Temperatura (°C)**		**Fuente**
	Max	**Min**	
Suelo, Invernadero e hidroponía. En China.	20	15	(AgríGrafico, 2022)
Suelo y Biol. En Bolivia.	43,1	7,5	(Yupanqui, 2021)
Suelo y Bioestimulante. En Perú.	20,59	2,02	(Tintayo,2020)
Hidroponía raíz flotante. En La Paz- Bolivia.	35	3	(Camacho, 2018)
Hidroponía raíz flotante. En Perú.	28,71	10,03	(Puente, 2022)

1.1.4.1 Cultivo de espinaca Hidropónico en Bolivia

La técnica NFT (Nutrient Film Technique) está siendo implementado, en sus distintas formas, para la producción de especies hortícolas de hoja a gran y mediana escala. En Bolivia, estos sistemas de producción se están utilizando aún a pequeña escala. (APAZA, 2019)

1.1.5 Cultivo de espinaca en Tarija

En Tarija 8,477 Hectáreas de superficie es destinada a la producción de Hortalizas con una producción de 43005 toneladas. En zona del Valle la producción es mayor. (INE, 2019)

1.1.5.1 Cultivo de espinaca hidropónico en Tarija

En Tarija se cultiva albahaca, lechuga y acelga. La producción Hidropónica en Tarija ha ido aumentando en los últimos años, aumentando la diversidad de cultivos como Frutilla. (El Pais, 2023)

1.1.6 Clasificación Taxonómica

TABLA 5 *Taxonomía de la Espinaca*

Reino:	Vegetal
Phylum:	Telemophytae
División:	Tracheophytae
Subdivisión:	Anthophyta
Clase:	Angiospermae
Subclase:	Dicotyledoneae
Grado Evolutivo:	Archichlamydeae
Grupo de Ordenes:	Corolinos
Orden:	Centrospermales
Familia:	Chenopodiaceae
Nombre científico:	*Spinacia oleracea* L.
Nombre común:	Espinaca

Fuente: Herbario Universitario T.B. (2023)

1.1.7 Morfología del cultivo de Espinaca

1.1.7.1 Planta

Son plantas herbáceas anuales o perennes dioicas y con genotipos monoicos y auto alógamos, de hasta 1 m de altura, lampiñas, con raíz fusiforme y blanquecina y tallos simples o poco ramificados. Hojas algo carnosas. (Wikipedia, 2004)

En la primera fase forma una roseta de hojas y después emite el tallo. Del cuello y axilas de las hojas surgen ramificaciones donde pueden desarrollarse flores. (InfoAgro, 2010)

1.1.7.2 Sistema radicular

Es poco ramificada, de tipo pivotante, capaz de alcanzar apenas un metro de profundidad, ya que es superficial. El ancho de la raíz de espinaca suele oscilar entre 30 y 180 centímetros aproximadamente. (Animales y Biología, 2020)

1.1.7.3 Hojas

Son pecioladas, con un peciolo de forma cóncava, delgado, de color verdoso hacia la hoja y rosado a rojo en el punto de inserción en el tallo. Las hojas están ubicadas en la parte superior del tallo, de formas ovaladas, hasta sagitadas y triangulares. Sus bordes son enteros o también sinuosos y poseen una lámina carente de vellosidades. (Animales y Biología, 2020)

1.1.7.4 Tallo

Su estructura es rudimentaria, de consistencia herbácea, de corta longitud y grosor, con medidas que oscilan entre 0,1 y 1 cm de diámetro. Funciona como sostén o soporte para una roseta de hojas. (Animales y Biología, 2020)

1.1.7.5 Flores

Tienen tonalidades blancas o verdosas, dispuestas en grupos de 2 o 3 estructuras llamadas glomérulos. Son unisexuadas, aunque existen ejemplares hermafroditas. Las flores masculinas poseen un perianto de 5 sépalos, con pétalos ausentes, 4 estambres en la base. Las flores femeninas poseen un ovario súpero, un estilo y un estigma fragmentado en varios segmentos, en número de 3 a 5. (Animales y Biología, 2020)

1.1.7.6 Fruto y Semilla

El fruto de la espinaca es simple, seco e indehiscente, de tipo aquenio y es monospermo. Lo que se vende como semilla es en realidad el fruto aquenio. (Gorini, 2000)

1.1.8 Condiciones agroecológicas del cultivo

El adecuado desarrollo y rendimiento de la espinaca (*Spinacia oleracea* L.) depende en gran medida de las condiciones edafológicas y climáticas del lugar de cultivo. Como planta de ciclo corto y de hoja comestible, es particularmente sensible a factores como la temperatura, el tipo de suelo, la disponibilidad de agua y el pH, los cuales inciden directamente en su calidad, rendimiento y sanidad. (INIA INTIHUASI, 2022)

Estos requerimientos edafoclimáticos para el cultivo de espinaca son

TABLA 6 *Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de espinaca*

Requerimientos edafoclimáticos	Condiciones optimas
Altitud. Temperatura. Humedad relativa. Requerimiento hídrico. Luminosidad.	1480 y 2500m.s.n.m 15°C y 18°C 60 y 75% 800-1 600 mm/año 12 horas

Fuente: Fonseca (2015) y INIA INTIHUASI (2022)

1.1.8.1 Clima

El cultivo de espinaca se desarrolla principalmente en climas templados a frescos, ya que las altas temperaturas pueden inducir el espigamiento prematuro (formación de flor y semillas) y reducir la calidad del producto.

1.1.8.1.1 Temperatura

La temperatura óptima de crecimiento oscila entre 15 a 18 °C, la mínima es de 5 y 7 °C y la máxima de 25 y 30 °C. En la germinación los requerimientos térmicos adecuados son de 15 y 25 °C, donde emergen en aproximadamente 8 días, con temperaturas mínimas de 5 °C, demoran entre 20 días y a más de 30 °C se inhibe la germinación. (INIA INTIHUASI, 2022)

1.1.8.2 Fotoperiodo

Al ser una planta de día largo, deben evitarse 12 y 14 horas luz, con temperaturas menores a los 15° C para evitar la floración. La respuesta al fotoperiodo es variable en función de los distintos cultivares. (Animales y Biología, 2020)

1.1.8.2.1 Humedad relativa

La humedad para cultivos de hoja dentro de un invernadero es de 45 % y 60 %, En sistemas hidropónicos humedades mayores por la condensación del agua en el interior, inciden en la transmisión de plagas y enfermedades, y las humedades bajas, podrían secar la planta. La transpiración de las hojas aumenta la humedad en el invernadero. (INIA INTIHUASI, 2022)

1.1.8.2.2 Requerimientos nutricionales de la espinaca

En la siguiente tabla se muestra los requerimientos nutricionales ideales y proporcionados en macronutrientes y micronutrientes de la espinaca en suelo y hidroponía en diferentes estudios.

TABLA 7 *Requerimientos Nutricionales de la Espinaca*

gr/m3										
Fertilizante	**N**	**P**	**K**	**Ca**	**S**	**Mg**	**Cl**	**Na**	**Micronutrientes**	Fuente
Cantidad (gr.)	125,8	47,8	105,6	77,6	21,4	16,1			0,16 litros	(Camacho, 2018)
	71,5	25,91	179,4						9- 16 gr/m3	(Tintayo,2020)
	150-200	30-50	200-300	150 - 200	50-70	30-50			3,05- 5,4 ppm	(Resh, H. M., 2022), (Jones, J. B., 2008) y (Hochmuth, G., 2009)
-	Exceso			+		-	Deficiencia			+

1.1.9 Plagas

Algunas de las plagas y enfermedades que se presentan en la espinaca son:

1.1.9.1 Nematodo de la remolacha (*Heterodera schachtii Smith*)

Se observan nudosidades que llevan consigo el marchitamiento de las plantas. Su control consiste en la desinfección del suelo. (CAMACHO, 2018)

1.1.9.2 Pegomia o mosca de la remolacha (*Pegomya betae Curtis*)

Se observan manchas apergaminadas translúcidas que indican la existencia de galerías, en las que albergan las formas larvarias. Su control es químico mediante pulverización. (CAMACHO, 2018)

1.1.9.3 Pulgones (Aphis fabae Scop y Myzodes persicae Sulz).

En el envés de las hojas se desarrollan colonias, provocando un crispamiento del follaje. Su control consiste en Pulverización de aficidas. (CAMACHO, 2018)

1.1.10 Enfermedades

- ✓ **Enfermedades que atacan a las semillas. Pythium spp. y Rhizoctonia solani.**

Su control consiste en la desinfección de simientes con un fungicida (tiram). (CAMACHO, 2018)

- ✓ **Mildiu de la espinaca (*Peronospora spimaceae* L., P. Farinosa y P. Efusa (Gw) Tul).**

En el haz aparecen manchas de contorno indefinido, con un color verde pálido que más tarde pasa a amarillo. En el envés estas manchas se cubren con un abundante gris violáceo. Se produce con altas humedades relativas. Su control consiste en Rotaciones de cultivos, desinfección de las simientes, uso preventivo de funguicidas, empleo de variedades resistentes. (CAMACHO, 2018)

- ✓ **Pythium debaryanum Hesse.**

El follaje se marchita y se vuelve clorótico. La raíz principal se encuentra necrosada desde su extremidad hasta unos 8-10 mm del cuello. (CAMACHO, 2018)

1.1.11 Siembra

Las plantas tardan en emerger de 10 a 20 días según las temperaturas ambientales. (Yupanqui, 2019)

1.1.12 Recolección o Cosecha

Hay dos formas de cosechar la espinaca, la cosecha de las hojas externas, donde se corta los tallos lo más cerca posible de la tierra con una tijera afilada y la cosecha de toda la planta de la tierra en el cual se corta la planta 1 cm por encima de la base. (Huerto en casa, 2021)

Cosecha de hojas: Esta cosecha puede realizarse a los 40 y 50 días desde la siembra. Se cosecha las hojas del exterior dejando las hojas del centro.

Cosecha definitiva de toda la planta: Se realiza a los 70 y 80 días desde la siembra. Si las condiciones son favorables se podría realizar la cosecha a los 60 días. (InfoAgro, 2010)

Para realizar la cosecha definitiva la espinaca debe tener entre 18 a 22 hojas y un peso promedio de 180 a 250 gramos, Pero el momento adecuado varía según el tamaño de la hoja y crecimiento de la planta. Considerando el tamaño de planta a los 20 cm o con un tamaño de hoja de 6 cm, ya se puede cosechar. (baiadoconhecimento, 2021)

Si la planta no se desarrolla adecuadamente otra alternativa para saber cuándo cosechar es al inicio de la floración. Esto se lo percibe con la observación de la aparición de un tallo que crece en medio del follaje. Este es el momento de cosechar toda la planta porque la formación de semillas de espinaca quita la energía necesaria para la producción de hojas sanas. Si no se cosecha, todas las hojas más viejas se volverán amargas. (Growertoday, 2012)

1.2 HIDROPONÍA

La hidroponía no es una técnica nueva, tuvo su origen en China, También en los jardines colgantes de Babilonia y en América, en Xochimilco, con los aztecas que cultivaron plantas flotándolas en bolsas en el lago de Xochimilco, llamados

Chinampas. El primer uso moderno masivo de la hidroponía se realizó por el Prof. Gericke en la isla Ascensión, en el Oriente del mundo, para producir hortalizas durante la Segunda Guerra Mundial, usando la arena como sustrato. A partir del desarrollo de los plásticos los diferentes tipos de hidroponía se desarrollaron rápidamente en muchas partes. (Agrotendencia, 2019)

El termino hidroponía es una palabra compuesta que deriva del griego Hydro (agua) y Ponos (labor o trabajo), es decir, "trabajo en agua". Que significa cultivo de plantas en Solución Nutritiva (SN). La palabra (hidroponía) fue acuñada por el Prof. Gericke, de la Universidad de California en EEUU, el año 1938, Época donde se conocían fundamentos concretos de Fisiología Vegetal que permitían determinar los macroelementos y la mayoría de los microelementos esenciales para la nutrición mineral de las plantas, este conocimiento se usó de forma intensiva para crear lo que hoy conocemos como cultivos en hidroponía. (Agrotendencia, 2019)

La hidroponía es una alternativa de producción de alimentos que puede ser implementada a cualquier escala, desde hogares hasta pequeñas, medianas y grandes unidades de producción. Su forma de cultivo puede ser horizontal y vertical, Con frecuencia en ambientes controlados. La producción de alimentos es más sostenible desde el punto de vista económico y ambiental, por lo que reduce la huella ecológica y la huella hídrica. Permite un bajo uso de productos fitosanitarios, por lo que los alimentos ofrecidos al consumidor son inocuos y los costos de producción tienden a ser más bajos por este concepto. (Agrotendencia, 2019)

1.2.1 Ventajas y desventajas de la hidroponía

1.2.1.1 Ventajas

Permite producir en condiciones medioambientales limitantes. Condiciones restrictivas de suelo y agua, También en condiciones climáticas adversas. Al trabajar con sustratos o en solución, el suelo no es indispensable. De la misma manera se aprovecha mejor el agua con sistemas de riego cerrados, en los cuales se recircula el agua una y otra vez. (Axayacatl, 2018)

Según Axayacatl (2018), Contribuye a la producción de cultivos de elevada calidad. La hidroponía utilizando estructuras de protección permite controlar la mayoría de los factores que influyen en el desarrollo de los cultivos. Esta es la razón por la cual resulta muy factible obtener productos de calidad superior a los cultivados a campo abierto. Con el uso de sistemas hidropónicos es posible acercarse al máximo potencial de los cultivos.

Se puede adaptar a proyectos de distintos niveles. La hidroponía es bastante versátil. Puede ser modificado o adaptado a las necesidades de producción que se tengan. Desde grandes empresas, que disponen de elevados niveles de automatización, hasta pequeños productores, con huertos familiares. En ambos extremos es posible adaptar el sistema con iguales posibilidades de éxito. (Axayacatl, 2018)

Es factible controlar todos los aspectos de la producción. La nutrición es uno de los prioritarios. En todo momento podemos conocer la concentración exacta de nutrientes, a tal grado de poder modificar con precisión la cantidad de agua y nutrientes requeridos según la etapa fenológica. Otro factor es la densidad de población. La teoría nos dice que a mayor número de plantas mayor es la competencia. Sin embargo, con la hidroponía se proporcionan condiciones ideales a cada planta. Donde las plantas sufren menos estrés por competencia. (Axayacatl, 2018)

Se pueden tener mayores rendimientos que cultivos en suelo. Depende del manejo adecuado del cultivo. El éxito de la hidroponía proviene de una adecuada atención a cualquier detalle del cultivo. Donde se requiere la capacidad de resolver cada inconveniente que surja de manera rápida y efectiva. Incluso la previsión de posibles problemas es un factor clave. La hidroponía es una herramienta, y como tal, dependerá de cómo sea usada. (Axayacatl, 2018)

Los ciclos de producción son más cortos que en suelo. El cultivo hidropónico crece entre un 30 y 50 % más rápida que una planta de suelo. (Caballero, 2019)

Permite un uso más sostenible del agua. El circuito reutiliza el agua una y otra vez. Se puede reducir hasta el 50% en comparación con el riego convencional. (Caballero, 2019)

Menor utilización de tratamientos fitosanitarios. Las plantas tienen menos problemas con plagas y enfermedades, con la limpieza del sistema hidropónico se eliminan y un manejo adecuado previene su aparición. (Caballero, 2019)

1.2.1.2 Desventajas

Inversión inicial alta. Es necesario pagar bombas, llaves de paso, tubería, filtros, contenedores, sustratos, tinacos o cisterna, y muchas cosas más. Si se realiza el proyecto de manera adecuada es posible recuperar la inversión en poco tiempo. Pero esto solo ocurre cuando se conocen y explotan adecuadamente las ventajas de la hidroponía. En la mayoría de los casos, estas se recuperan a mediano y largo plazo. (Axayacatl, 2018)

Se requiere agua de buena calidad. La hidroponía requiere agua libre de contaminantes y de sales excesivas, con un pH cerca a neutro. Las aguas duras con excesos de sales utilizan formulaciones especiales, cuando no limitan al proceso productivo. (Agrotendencia, 2022)

1.2.1.3 Comparación de cultivos tradicionales e hidropónicos

TABLA 8 *Comparativa entre dos Tipos de Cultivo*

	Hidroponia	Agricultura tradicional
Nutricion Vegetal	Control completo Homogeneo para todas las plantas Buen control del pH	Muy variable deficiencias localizadas pH inestable
Numero de plantas	Mayor densidad de ploblacion Mayor cosecha por unidad de superficie	Limitado por la nutricion que brinde el suelo
Malas Hierbas	No existen	Siempre existen, hay que efecruar laboreo
Enfermedades	No hay enfermedades insectos, ni animales No es necesaria la rotacion de cultivos	Gran numero de enfermedades de suelo, nematodos, insectos Es necesario la rotacion de cultivos
Agua	No existe estress hidrico Uso optimo, ahorro Es posible el uso de agua con contenido relativo de sales	Stress hidrico Capacidad de retencion muy baja Uso ineficiente tanto por percolacion como evaporacion
Calidad del fruto	Mejor conservacion Mejor sabor	Deficiencias de calcio y potasio escasa conservacion
Fertilizantes	Cantidades justas Utilizacion uniforme Pocas perdidas por lavado	Grandes cantidades Distribucion no uniforme Grandes perdidad por lavado
Estado Sanitario	No se añaden agentes biologicos no existen agentes patogenos	Utlizacion de restos organicos como fertilizantes dan paso a enfermedades
Transplante	No se necesita una preparacion especial del sustrato	Es necesario una preparacion del suelo aun asi suelen presentarse transtornos
Cambio del medio de cultivo	Dependiendo del sustrato no es necesario su cambio	En invernadero debe cambiarse de forma periodica, al aire libre se debe hacer barbecho

Fuente: SOSTENIBILIDAD METROPOLITANA (2012)

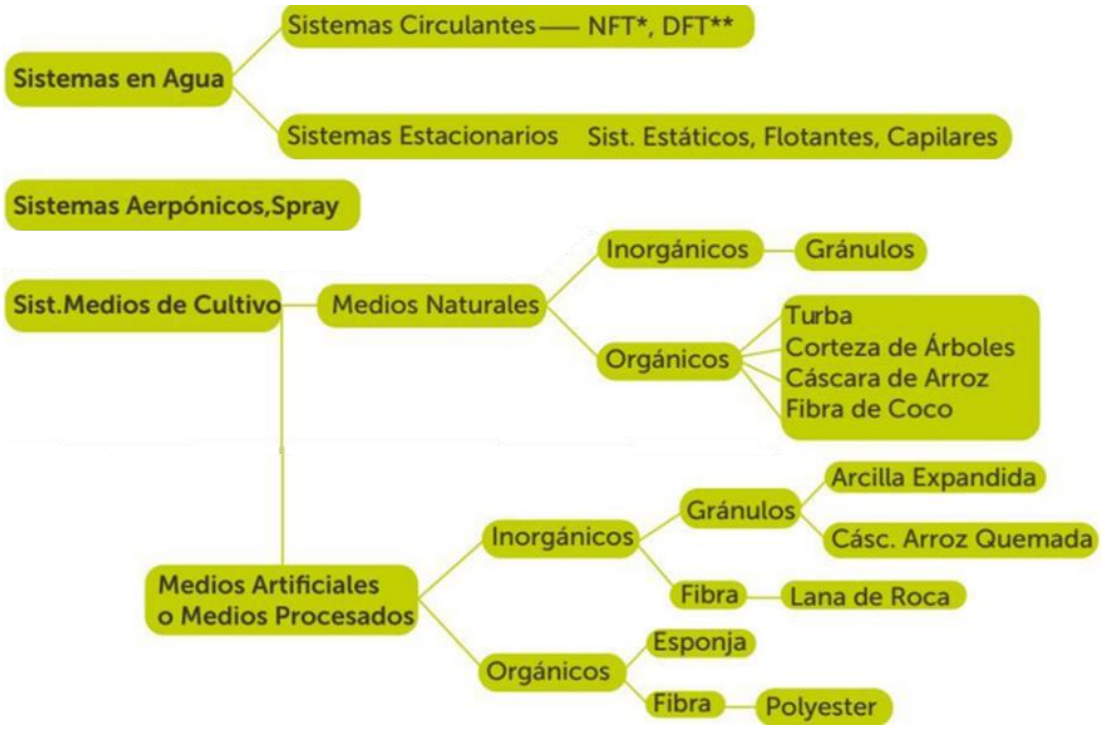
1.2.2 Especies de plantas producidas en Hidroponía

Cualquier planta puede cultivarse de forma hidropónica. Entre las especies de plantas más populares son la lechuga, tomate, pepino, ajo, cebolla, zanahoria, arándanos, frambuesas, brócoli, melón y plantas aromáticas como: albahaca, cilantro, romero, otros. (Acosta, 2019)

1.2.3 Sistemas Hidropónicos

Entre los sistemas hidropónicos se encuentran:

FIGURA 1 *Sistemas de Producción y Sustratos Utilizados en Hidroponía*



Fuente: Rikolto (2021)

1.2.3.1 Sistema NFT

Las iniciales NFT, provienen de las palabras en inglés “Nutrient Film Technic” conocida en español como Técnica de película nutritiva. Consiste en bombear agua para la recirculación de la misma a través de los tubos o soportes. Manteniendo una lámina de agua en la tubería, para que las plantas puedan realizar la absorción de los nutrientes. Este sistema requiere un porcentaje entre 1 a 2% de desnivel. Se adapta bien a zonas de alta temperatura ambiental, Al tener mayor circulación la temperatura de la solución no se calienta. (Rikolto, 2021)

1.2.3.2 Raíz flotante

Esta técnica consiste básicamente en desarrollar nuestras plantas sobre largas superficies de unicel que se mantienen a flote sobre contenedores con solución nutritiva, que es oxigenada de manera frecuente. (HIDROENVIRONMENT, 2018)

1.2.4 Elementos del Sistema NFT (NUTRIENT FLOW TECHNIC)

- ✓ **Tanque**

Tiene la función de almacenar la solución nutritiva. La elección del tanque dependerá de la calidad, capacidad y número de plantas que se tendrá en el sistema de producción. El tanque debe estar en un lugar seguro y mantenerlo tapado, Además de ubicarse en un lugar con un diferencial de altura menor, entre 1 a 2 metros con relación al sistema de producción para que el agua del sistema regrese al tanque por gravedad. (Rikolto, 2021)

- ✓ **Motor**

Su función es impulsar permanentemente la solución nutritiva desde el tanque donde está la solución nutritiva hasta los tubos del sistema de producción. (Rikolto, 2021)

- ✓ **Red de distribución**

La solución nutritiva se distribuye en el sistema hidropónico por impulso de una bomba y su conexión con tubos PVC y mangueras. (Rikolto, 2021)

- ✓ **Canales del cultivo**

Los canales están hechos de materiales impermeables como un tubo de PVC, una película plástica o un tubo redondo. En el tubo de PVC, hay agujeros para encajar las macetas de red y las plántulas. (Hidroponía24, 2020)

- ✓ **Tubería de drenaje**

El drenaje es la recolección de la solución nutritiva por un tubo, que la lleva de nuevo al tanque. Permitiendo recircular el agua. Esto contribuye a mejorar la oxigenación y mantiene la temperatura ideal de la solución nutritiva. (Rikolto, 2021)

- ✓ **Nutrición de las plantas**

La nutrición de las plantas en hidroponía se realiza con medios de cultivo o soluciones nutritivas, que contiene nutrientes en formas disponibles para las plantas. La planta toma los nutrientes disueltos en el agua en forma de iones, cationes si tienen carga positiva y aniones si tienen carga negativa. (Axayacatl, 2019)

1.2.4.1 Funciones de los elementos nutritivos en las plantas

- ✓ **Nitrógeno**

Es fundamental en la formación de proteínas, ácidos nucleicos, clorofila y hormonas. La formación de compuestos proteicos estimula el desarrollo foliar de la planta y la fotosíntesis. (CatzinKu, 2013)

- ✓ **Fósforo.**

Forma parte del metabolismo energético, todas las células lo contienen en las proteínas del núcleo, fundamental en el proceso de mitosis celular, componente importante en fermentos de la planta y es el principal compuesto de reserva en las semillas. (CatzinKu, 2013)

- ✓ **Potasio**

Mantiene la turgencia de la planta. Intercede en varios procesos bioquímicos y fisiológicos como la síntesis de proteínas, activación de enzimas y en la regulación de la presión osmótica de la planta. Está vinculado al trasporte de foto asimilados. Interviene en la absorción y reducción de nitratos, favorece la formación de fibras en la planta. (CatzinKu, 2013)

- ✓ **Calcio**

Indispensable en la deshidratación del plasma produciendo una contracción. En la membrana celular sirve como enlace de los fosfolípidos o de proteínas de la misma membrana, desarrollando paredes y membranas celulares fuertes. (CatzinKu, 2013)

- ✓ **Magnesio**

Es un componente de la molécula de clorofila. En la trasferencia de energía es cofactor de la mayoría de enzimas. Es activador de enzimas carboxilasas y algunas deshidrogenasas. Al igual que el calcio interviene en la deshidratación del plasma. (CatzinKu, 2013)

- ✓ **Azufre**

Forma parte de proteínas de los aminoácidos cistina, cisteína y metionina, que a su vez hacen parte de proteínas, de las vitaminas biotina, tiamina, la coenzima A y las ferroxinas que intervienen en la trasferencia de electrones y procesos fotosintéticos. (CatzinKu, 2013)

- ✓ **Boro**

Evita el enanismo fomentando el desarrollo de meristemos de raíces y hojas, promueve la fructificación ya que interviene en la formación del tubo polínico, tiene influencia directa en la fotosíntesis y metabolismo proteico, en la absorción y transporte de asimilados, hidratación del protoplasma, la síntesis de proteínas y formación de la pared celular. (CatzinKu, 2013)

- ✓ **Zinc**

Hace parte de las tres enzimas fundamentales: carbónico anhidrasas, alcohol deshidrogenasas y peróxido dismutasa, deshidrogenasas, nucleótido transferasas, péptidas y proteinasas. Es importante en la producción de auxinas y regula las funciones del RNA. Influye en los procesos de mitosis, evita la acumulación de nitratos en las hojas. (CatzinKu, 2013)

- ✓ **Cobre**

Forma parte de grupos proteicos de varias oxidasas, influye en la formación de glucósidos, prótidos, de la vitamina C, en la formación de lignina y del xilema. Interviene en los procesos de respiración y asimilación. Impide la descomposición de la clorofila. (CatzinKu, 2013)

- ✓ **Hierro**

Su papel en la fotosíntesis está ligado a la formación de fosfoproteínas férricas, Fito férrica, y citocromos. Igualmente está vinculado en enzimas y grupos proteicos como las porfirinas, que ligadas a algunas proteínas se conocen como hemoproteínas tales como catalasas, peroxidasas, y deshidrogenasas. Participa en la reducción de NO^2 a NH4+. Necesario en la fijación del nitrógeno atmosférico por las leguminosas. (CatzinKu, 2013)

- ✓ **Manganeso**

Es cofactor de enzimas, actúan sobre materiales fosforilados. Es fundamental en la producción de oxígeno durante la fotosíntesis. Igualmente juega un papel fundamental en la producción de auxinas en la planta. Indispensable para la respiración. Es parte de algunos compuestos redox como la arginasa, interviene en la formación de las vitaminas C, A, y E, y es importante en el crecimiento vegetativo. (CatzinKu, 2013)

- ✓ **Molibdeno**

Forma parte de dos importantes enzimas, el nitrato reductasa y la nitrogenasa. Es importante para la fijación biológica de nitrógeno. Interviene en los procesos de fosforilación, aminación de azúcares, síntesis de péptidos y proteínas. (CatzinKu, 2013)

- ✓ **Cobalto**

Forma parte de la vitamina B12, interviene en el metabolismo de las nucleoproteínas y crecimiento de las paredes celulares en las plantas. (CatzinKu, 2013)

- ✓ **Cloro**

Puede jugar un papel importante en la regulación osmótica de la planta. (CatzinKu, 2013)

1.2.4.2 Síntomas de deficiencia y toxicidad de los elementos esenciales

Detectar posibles deficiencias de nutrientes en la planta, que se pueden manifestar de distintas formas: Una coloración inusual, Retraso de crecimiento, Daños en las hojas, Defoliación. Cuando las plantas sufren una disponibilidad insuficiente de nutrimentos,

expresan unas características anormales visibles. Los síntomas de toxicidad se manifiestan como necrosis en las hojas (manchas de color castaño) y disminución de biomasa radicular. Esto disminuye el crecimiento de la planta y el rendimiento del cultivo. (Rodríguez, 2002)

TABLA 9 *Deficiencia y Toxicidad de los Elementos*

ELEMENTO	**DEFICIENCIA**	**TOXICIDAD**
Nitrógeno	Aspecto enfermizo de la planta. Color verde amarillento debido a la pérdida de clorofila. Desarrollo lento y escaso. Amarillamiento inicial y secado posterior de las hojas de la base de la planta que continua hacia arriba.	La floración, producción de frutos y semillas se retardan. Produce mucho follaje de color verde oscuro con un desarrollo reducido en raíces.
Fósforo	Desarrollo y madures lento, aspecto raquítico en tallos. Mala germinación de las semillas. Bajo rendimiento de frutos y semillas. Aparición de hojas, ramas y tallos de color purpureo; que se nota primero en las hojas más viejas.	Los excesos de fosforo no son notorios a primera vista, pero pueden ocasionar deficiencia de cobre o de zinc.
Potasio	Se queman las hojas de abajo de la planta en bordes y puntas. La vena central tiende a conserva el color verde y a enrollarse. Debido al pobre desarrollo de las raíces, las plantas se degeneran antes de llegar a la etapa de producción. En leguminosas las semillas se arrugan y desfiguran y no germinan u originan plantas débiles.	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	Las hojas jóvenes de los brotes terminales se doblan y queman en sus puntas y bordes. Tienden a arrugarse. Pueden aparecer brotes color blanquecino en las áreas terminales y la muerte de los extremos de las raíces.	Pueden alterar la acidez del medio de desarrollo de la raíz y esto si la disponibilidad de otros elementos para la planta.
Magnesio	Perdida del color verde en las hojas de abajo que continua hacia arriba, (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 en exceso.	No existen síntomas visibles para identificar la toxicidad por Magnesio.
Cobre	Las hojas más jóvenes toman color verde	Clorosis férrica, enanismo,

	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.	reducción en la formación de ramas, engrosamiento y escurrimiento anormal de la zona de las raíces.
Boro	Anula el crecimiento de tejidos nuevos y puede causar hinchazón y también una descoloración de los vértices radiculares y muerte de la zona apical (terminal) de las raíces.	Se Amarilla el vértice de las hojas y muerte de la parte basal que avanza a los márgenes y vértices. Toxico en dosis altas.
Hierro	Color pálido amarillento del follaje, banda color claro en los bordes de las hojas y se forma raíces cortas muy ramificadas. Esta deficiencia se parece a la del magnesio.	No se han establecido síntomas visuales de toxicidad de hierro absorbido por la raíz.
Magnesio	El síntoma de clorosis se presenta igualmente entre las venas de las hojas viejas o jóvenes, dependiendo la especie las hojas posteriormente mueren y se caen.	Existe poca información disponible sobre lo síntomas visuales.
Zinc	Lámina foliar entorchada hacia afuera, apergaminada, coloración pálida, gruesa consistencia, y ondulaciones en los bordes. Reducción del tamaño de entrenudos y hojas especialmente en su anchura.	Los excesos de zinc producen clorosis férrica en las plantas.
Molibdeno	La hoja solo se forma la nervadura central sin lamina. Síntomas parecidos al nitrógeno, la clorosis avanza de hojas más viejas hacia las más jóvenes, las que se ahuecan y se queman en los bordes.	En casos excepcionales se han reportado hojas amarillo dorado. Aunque no es importante para los cultivos hortícolas.
Cloro	Se marchitan las hojas, luego se vuelven cloróticas, originando un color bronceado; después se mueren. Pobre desarrollo de las raíces y se produce un engrosamiento anormal cerca de sus extremos.	Los excesos producen el quemado de los bordes y extremos de las hojas; su tamaño se reduce y hay, en general, poco desarrollo.

Fuente: Rodríguez (2002)

1.2.5 Solución nutritiva

La solución nutritiva es un conjunto de sales minerales disueltas en el agua, que puede variar su proporción dependiendo de la especie y la etapa fenológica de la planta. La preparación de la solución nutritiva se realizará en base a los diferentes fertilizantes

existentes en el mercado y se formula a partir de un análisis de agua, especie vegetal, etapa fenológica y las condiciones ambientales. (Siñaniz, 2019)

1.2.6 Análisis de agua

El análisis de aguas engloba un conjunto de procesos utilizados para identificar y medir los componentes y parámetros físicos, químicos y microbiológicos de los diferentes tipos de agua. Esta prueba es fundamental para asegurar que el agua esté libre de contaminantes y para determinar si es apta para ser usada en la agricultura o cualquier uso. (Ingeniería y Arquitectura, 2023)

Un análisis básico del agua debe probar: TDS (sólidos disueltos totales), CE, pH, alcalinidad, nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), azufre (S), magnesio (Mg), sodio, cloruro, hierro, manganeso, zinc, boro y cobre, que son importantes para la nutrición hidropónica de las plantas. En la mayoría de las pruebas de agua, Ca y Mg son los elementos más comunes encontrados, mientras que N, P y K tienen muchas menos probabilidades de estar en niveles utilizables por las plantas. (Hidroponía 24, 2020)

1.2.6.1 Fertilizantes

Son sustancias ricas en nutrientes, utilizados para mejorar las características del suelo para un mayor desarrollo de los cultivos agrícolas. Existen dos tipos de fertilizantes los orgánicos y los químicos. Los orgánicos son aquellos que se forman naturalmente con una nula o poca participación del hombre para su formación; pueden ser de origen mineral, vegetal, animal o mixto. Un ejemplo de fertilizante orgánico es el estiércol. Los Químicos son nutrientes elaborados por el hombre, generalmente son de origen mineral, animal, vegetal o sintético. Por la cantidad que de éstos requiere la planta se dividen en macroelementos y microelementos. (GOBIERNO DE MÉXICO, 2019)

1.2.6.2 Macronutrientes

Entre los Macronutrientes podemos encontrar los primarios y secundarios.

TABLA 10 *Macronutrientes Primarios y Secundarios*

Macroelementos primarios	Símbolo o forma	Forma en que se absorben por la planta
Nitrógeno	N	$NO_3^=$, NH, N_2
Fósforo	P_2O_5	$PO_4H_2^-$, $PO_4H^=$
Potasio	K_2O	K^+
Macroelementos secundarios	**Símbolo o forma**	**Forma en que se absorben por la planta**
Calcio	Ca	Ca^{++}
Magnesio	Mg	Mg^{++}
Azufre	S	$SO_4^=$

Fuente: Rodríguez (1982)

1.2.6.3 Micronutrientes

TABLA 11 *Micronutrientes*

Microelementos	Símbolo o forma	Forma en que se absorben por la planta
Hierro	Fe	Fe^{++}, Fe^{+++}
Manganeso	Mn	Mn^{++}
Zinc	Zn	Zn^{++}
Cobre	Cu	Cu^{++}
Molibdeno	Mo	$MoO^=$
Boro	B	Borato

Fuente: Rodríguez (1982)

1.2.6.4 Tipos de presentación de los fertilizantes

Existen muchas formas en las cuales se pueden presentar los fertilizantes sólidos, los cuales pueden ser en gránulos y polvos o en forma de gases y líquidos. (RENZO ALAN, 2016)

1.2.6.4.1 Compatibilidad e incompatibilidad de fertilizantes

Existen fertilizantes que son incompatibles, los mismos que no se deben mezclar en el mismo tanque para la SN madre, ya que sus iones al disolverse interactúan y forman productos insolubles. (AGRONET ANDINO, 2006)

Entre las interacciones de incompatibilidad se encuentran las siguientes:

Fertilizantes cálcicos con fertilizantes sulfatados. Es el típico caso de incompatibilidad, al disolverlos en el mismo tanque se tiende a liberar calcio y sulfatos, posteriormente estas se combinan formando precipitados de sulfato de calcio, conocido comúnmente como yeso; un compuesto de muy baja solubilidad. (AGRONET ANDINO, 2006)

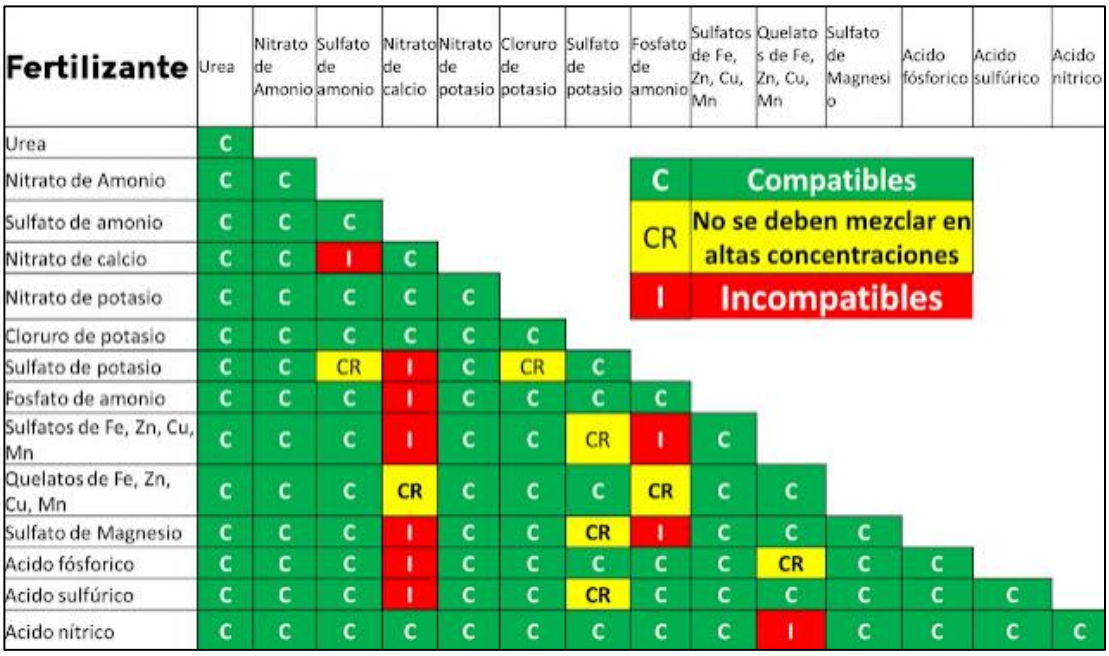
Fertilizantes cálcicos con fertilizantes fosfatados. La mezcla de nitrato de calcio con fosfatos provoca la formación de precipitados de fosfato de calcio. (AGRONET ANDINO, 2006)

Fertilizantes fosfatados con fertilizantes magnésicos. El magnesio al combinarse con el fosfato di y mono amónico, principalmente, favorece la formación de precipitados de fosfato de magnesio. (AGRONET ANDINO, 2006)

Otras interacciones es el del sulfato de amonio con el cloruro y/o nitrato de potasio, ya que al reaccionar forman precipitados de sulfatos de potasio. (AGRONET ANDINO, 2006)

Micronutrientes no quelatados con fertilizantes fosfatados en medios ácidos. Los micronutrientes al realizar mezclas incompatibles forman precipitados con los fosfatos, siendo los más comunes los fosfatos de Fe y Zn. También pueden reaccionar con las sales del agua de riego formando compuestos poco solubles. Si existe problemas de mala calidad de agua es recomendable aplicarlos en forma quelatada. (AGRONET ANDINO, 2006)

FIGURA 2 *Matriz de Compatibilidad*



Fertilizante	Urea	Nitrato de Amonio	Sulfato de amonio	Nitrato de calcio	Nitrato de potasio	Cloruro de potasio	Sulfato de potasio	Fosfato de amonio	Sulfatos de Fe, Zn, Cu, Mn	Quelatos de Fe, Zn, Cu, Mn	Sulfato de Magnesio	Acido fósforico	Acido sulfúrico	Acido nítrico
Urea	C													
Nitrato de Amonio	C	C												
Sulfato de amonio	C	C	C											
Nitrato de calcio	C	C	I	C										
Nitrato de potasio	C	C	C	C	C									
Cloruro de potasio	C	C	C	C	C	C								
Sulfato de potasio	C	C	CR	I	C	CR	C							
Fosfato de amonio	C	C	C	I	C	C	C	C						
Sulfatos de Fe, Zn, Cu, Mn	C	C	C	I	C	C	CR	I	C					
Quelatos de Fe, Zn, Cu, Mn	C	C	C	CR	C	C	C	CR	C	C				
Sulfato de Magnesio	C	C	C	I	C	C	CR	I	C	C	C			
Acido fósforico	C	C	C	I	C	C	C	C	C	CR	C	C		
Acido sulfúrico	C	C	C	I	C	C	CR	C	C	C	C	C	C	
Acido nítrico	C	C	C	C	C	C	C	C	C	I	C	C	C	C

Fuente: AGRONET ANDINO (2006)

1.2.6.5 Soluciones nutritivas utilizadas en hidroponía

Generalmente las soluciones que se suele utilizar son aquellas formuladas a partir de las necesidades nutricionales de cada cultivo. Existen las soluciones nutritivas promedio que se puede utilizar en lechuga, espinaca y otras hortalizas como por ejemplo La Molina®, (Universidad Agraria la molina, 2023)

1.2.6.6 Calidad de Agua

Según HIDROENVIRONMENT (2018), La calidad de agua es uno de los elementos que más puede limitarnos en hidroponía. Principalmente porque utilizamos sustratos inertes o una solución nutritiva que proporciona todos los minerales necesarios para el desarrollo de las plantas, pero estos deben ser disueltos en agua de calidad para que no cambie la composición química de la solución y todos los nutrientes se encuentren disponibles para las plantas en todo momento. Debemos de considerar las características físicas y químicas del agua y tratar de mantenerlas adecuadamente para

implementar un buen sistema de riego y para que podamos obtener excelentes producciones.

Las características físicas afectan cuando el contenido de limos y materiales en suspensión (turbidez), tapan los sistemas de riego, mientras tanto en el caso de sistemas como NFT o raíz flotante, la acumulación de estos materiales y nutrientes en combinación con la solución nutritiva, pueden generar un aumento de factores químicos (salinidad y PH), desestabilizando los cultivos y en casos extremos las plantas podrían morir. Para evitar este tipo de problemas se puede instalar un sistema de filtración que permita eliminar el exceso de estos sedimentos. (HIDROENVIRONMENT, 2018)

Las características químicas generan muchos problemas cuando no son controladas desde un inicio o a tiempo, ya que pueden cambiar los niveles de pH, Conductividad Eléctrica, la dureza, el oxígeno disuelto, entre otros, que a la larga afectarían a nuestros cultivos. (HIDROENVIRONMENT, 2018)

1.2.6.6.1 pH

Las cantidades a utilizar tanto para corregir la acidez o alcalinidad del agua, dependerá del valor de pH. El pH para el cultivo de hortalizas sin suelo se encuentra en un rango de 5,5 y 6,8, que es el rango en el que se encuentra de forma asimilable la mayor parte de los nutrientes. (Rikolto, 2021)

TABLA 12 *pH y Conductividad Eléctrica para el Cultivo de Espinaca Hidropónica*

Ph	Fuente
5.5 a 6.5	(Growertoday, 2021).
5,8 a 6	(Groho, 2023).
6.00-6.97	(Redalyc.org, 2018).
6,5	(Diestra, 2020).
6,3	(Rikolto, 2021).

De los valores de la tabla la media con la que se trabajara es con un pH de 6,2

1.2.6.6.2 Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica es la capacidad de la materia para permitir el flujo de la corriente eléctrica a través de sus partículas. Dicha capacidad depende directamente de la estructura atómica y molecular del material, así como de otros factores físicos como la temperatura a la que se encuentre o el estado en el que esté. La conductividad eléctrica del agua depende de su margen de Sólidos Disueltos Totales (TDS), ya que la presencia de sales y minerales en el agua forma los iones electrolíticos que permiten el paso de la corriente eléctrica. De esta manera, la conductividad del agua salada es mayor a la del agua dulce. (Rikolto, 2021)

1.2.6.6.3 Temperatura del agua

La temperatura de la solución nutritiva es importante mantenerla en un rango de 15° C a 25° C, durante el ciclo del cultivo. (Rikolto, 2021)

1.2.6.6.4 Oxigenación del sistema radicular

Las plantas necesitan oxígeno para sobrevivir, por tal razón la oxigenación es otro elemento importante para poder lograr el éxito del cultivo. La solución se oxigena cuando el agua ingresa a la tubería donde están las plantas, en la circulación de agua a través de la tubería, Cuando el agua del drenaje cae abruptamente al barril donde está la solución nutritiva almacenada, ya que se genera turbulencia, Oxigenación con la misma bomba que impulsa la solución nutritiva al sistema y a través de un Oxigenador artificial. (Rikolto, 2021)

1.2.7 Semillero hidropónico

Según Granja Modern GHA, (2021), Es el espacio utilizado para la siembra. Donde se puede utilizar bandejas, piscina flotante y otros espacios o recursos que sean convenientes.

1.2.7.1 Siembra

Las semillas tienen la posibilidad de germinar en el suelo, pero se desaconseja llevarlo a cabo, Porque las bacterias tienen la posibilidad de pasar del suelo a su sistema hidropónico y existe la posibilidad de perjudicar las raíces de las plántulas porque tendrán que lavarse antes del trasplante. Es bastante superior usar un medio de cultivo. En hortalizas los sustratos que se pueden utilizar son la combinación de turba y perlita o la utilización de arena para construcción que es la más simple de retirar a los 7-14 días, que es el tiempo en donde obtenemos plántulas listas a ser trasplantadas. (Granja Modern GHA, 2021)

1.2.7.2 Trasplante

La plántula está formada por un cotiledón y el primer par de hojas. Cuando aparezca el segundo par de hojas, es el momento preciso para el trasplante. (PLANTAMUS, 2017)

Antes de realizar el trasplante del cultivo, se verifica el correcto funcionamiento del sistema. Se colocan las plántulas en cada una de las canastas, las plántulas deben permanecer dentro de la esponja al momento de ser trasplantadas. (Rikolto, 2021)

1.2.8 Prevención de plagas y enfermedades de Cultivos bajo Invernadero

Según PortalFruticola.com (2016), La temperatura y humedad en el interior del invernadero es importante en el manejo de los cultivos a fin de limitar el aparecimiento de plagas. La ubicación y orientación en relación al sol, pendiente del terreno, tipo y materiales de construcción, riego, manejo del cultivo, etc. son aspectos claves que inciden en el aparecimiento de plagas en el invernadero.

1.2.9 Invernadero

Es una estructura de soporte de madera o metálica, con una cubierta transparente o translúcida que favorece la transmisión de radiación solar. Su objetivo es modificar el ambiente interior para mejorar el rendimiento de los cultivos. La producción agrícola en invernaderos es el único método tecnológico que utiliza el control del ambiente, para alcanzar mayores rendimientos de los cultivos, donde es posible proteger y producir en

lugares donde las condiciones del clima y del suelo afectan negativamente el desarrollo de las plantas. (PortalFruticola, 2016)

La hidroponía en invernadero puede alcanzar una mayor densidad de planta y rentabilidad, pero requiere de manejos adecuados y especialización permanente de parte de los productores. (PortalFruticola, 2016)

1.3 MUESTRAS

Una muestra estadística es un subconjunto de datos perteneciente a una población de datos. La cual debe estar constituido por un cierto número de observaciones que representen adecuadamente el total de los datos. (Economipedia, 2021)
Para conocer el tamaño de la muestra se puede hacer uso de ecuaciones de acuerdo a los datos con los que cuente el investigador.

1.3.1 Tipos de muestra

Se pueden dividir en dos grupos, muestra probabilística y no probabilística:

1.3.1.1 Muestra probabilística

En este tipo de muestras todos los sujetos disponibles tienen las mismas probabilidades de ser incluidos. A partir de la cual la muestra puede ser: Muestra aleatoria, Muestra aleatoria sistemática, Muestra aleatoria por conglomerados y Muestra estratificada. (Economipedia, 2021)

1.3.1.2 Muestra no probabilística

En esta selección de muestra todos los elementos no tienen la misma probabilidad de ser elegidos, ya que depende del procedimiento escogido para seleccionarlos, Estos pueden ser Bola de nieve, Muestra por cuotas, Muestra discrecional, Muestra por conveniencia. (Economipedia, 2021)

CAPÍTULO II

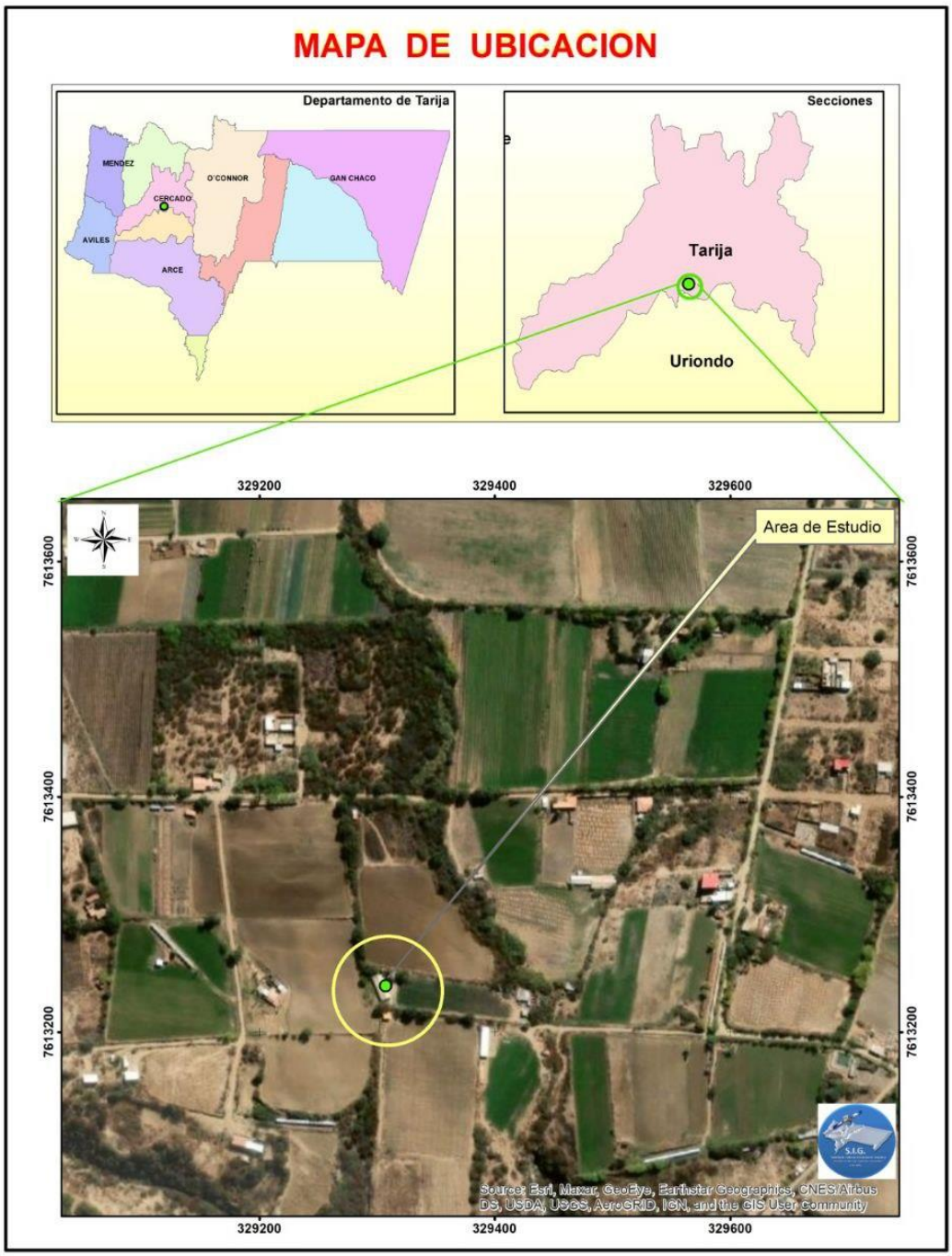
MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 LOCALIZACIÓN

Este trabajo se realizó en la zona Baisal de la comunidad Portillo perteneciente a la provincia Cercado del departamento de Tarija.

El punto central del invernadero en la comunidad del Portillo-Baisal se encuentra ubicado entre la siguiente coordenada geográfica 21°34'32.3"S de latitud, 64°38'55.1"W de longitud y a una altura de 1,835 m.s.n.m.

FIGURA 3 *Localización del Área de Estudio*



Fuente: Gabinete de SIG Fac. –C. Agr. Y For. (2024)

2.1.1 Características del Área

El mapa ecológico clasifica al Valle Central del departamento de Tarija como una región templada. (SENAMHI, 2014)

2.1.1.1 Características climáticas de la zona de estudio

2.1.1.1.1 Temperatura

El clima tiende a variar por ser semiárido fresco. La temperatura media oscila alrededor de 17,9 °C, con Máximas de 26,1 °C. (SENAMHI, 2022)

TABLA 13 *Temperaturas promedio mensuales 2023 y 2024*

Mes	Temperatura promedio	Temperatura de la solución (+2,02 °C)
Noviembre.	23,9	
Diciembre.	23,6	
Enero.	21	
Promedio de tres meses	22,83	24,85
Febrero.	23,8	
Marzo.	23,3	
Abril.	22,4	
Promedio de tres meses	23,17	25,19

Fuente: (SENAMHI, 2023 y 2024)

2.1.1.1.2 Heladas

Se presentan con gran intensidad y frecuencia en los meses junio, julio y agosto en el valle central de Tarija. Se registran temperaturas mínimas de 9,6 °C en invierno rara vez baja a menos de 1 °C. (SENAMHI, 2017)

2.1.1.1.3 Precipitación

La precipitación media anual es de 605.2 mm, donde el 85 % es en los meses de noviembre a marzo. Es seco de abril a octubre, a veces presenta lluvias aisladas que provienen de fuertes fríos, existiendo un 90 % de probabilidad que las precipitaciones no sean de 630 mm y un 50 % de que no sean mayores a 550 mm. (SENAMHI, 2017)

2.1.1.1.4 Viento

La velocidad promedio anual es de 6.0 km/h, estos se presentan con mayor intensidad en los meses de agosto a diciembre. La dirección de los vientos es hacia el SE (sur-este), con una velocidad de vientos de 10 km/h. El viento con más frecuencia viene del oeste duramente en los meses de mayo a septiembre, con un porcentaje máximo del 52%. (SENAMHI, 2017)

2.2 MATERIALES

Material de laboratorio:

- Balanza.
- PH metro (Medidor de pH digital).
- Jeringa.

Materiales para el almacigado de la semilla:

- Semillas de Espinaca (*Spinacia Oleracea* L.), F1 Hybrid Spinach Julion.
- bandejas y bolsas de plástico.
- Papel toalla.
- Termómetro.
- Refrigerador.

Material para bandeja flotante

- Piscina Flotante o maternidad.
- Tijera.
- Esponjas cortadas del tamaño de los orificios de la Almaciguera $2cm^2$.
- Manguera.
- Nylon negro de 4 m de largo y 1 m de ancho.
- bandejas de almacigo.

Materiales para el sistema NFT y equipos:

- Caballetes de hierro de construcción de 1,7 m de ancho y 0,80 m de alto.

- Tuberías PVC de 3 pulgadas y de 8 m de largo.
- Tanques de almacenamiento de 900 y 650 litros.
- Sistemas de desagüe.
- Sistema de distribución (micro aspersores).
- Canastillos.
- Bombas de 0,5 hp.
- Timer (central de programación).

Material químico:

TABLA 14 *Material Químico*

Fertilizantes	
Macronutrientes	Micronutrientes Haifa 1kg
• Nitrato de potasio ($KNO_{3)}$. • Sulfato de magnesio ($MgSO_4$). • Nitrato de calcio Ca (NO3)2. • Fosfato monoamónico ($NH_4H_2PO_4$).	• Cobre (Cu) 0,76%. • Molibdeno (Mo) 0,485%. • Hierro (Fe) 7,1%. • Manganeso (Mn) 3,48%. • Zinc (Zn) 1,02%.
Reguladores para el ajuste del pH	
Ácido nítrico (HNO_3).	1,5g/mol. (42° BE)

Material para la preparación de solución nutritiva

- Baldes de 10 lt.
- Vasos plásticos para el pesaje de fertilizantes.
- Paletas de madera para la disolución de los fertilizantes.

Material de invernadero:

- Estructura de madera.
- Cobertura de agrofilm.
- Maya anti áfido.
- Maya semisombra color negro.

Material de gabinete:

- Computadora.

- Cámara de celular.
- Bolígrafo.
- Marcador.
- Cuaderno de campo.
- Cartón para letreros.

Material de Limpieza y desinfección del sistema hidropónico:

- Detergente en polvo Ace.
- Lavandina.
- Cepillo.
- Esponja.

2.3 METODOLOGÍA

2.3.1 Diseño experimental

El presente trabajo de investigación empleo un diseño mono factorial con una distribución completamente al azar (DCA), con tres tratamientos y nueve observaciones. Donde una unidad experimental es un tubo. Conformando un total de 27 unidades experimentales. Para la recolección de datos se realizó un muestreo completamente al azar.

Los datos correspondientes a el tamaño de muestra y el tipo de muestreo que es completamente al azar con su correspondiente explicación y desarrollo se presentan en la sección 2.3.4 y 2.3.5.

La solución nutritiva es una solución nutritiva estándar para hortalizas. La cual se utilizó en tres diferentes dosis que representan los tratamientos en la siguiente tabla.

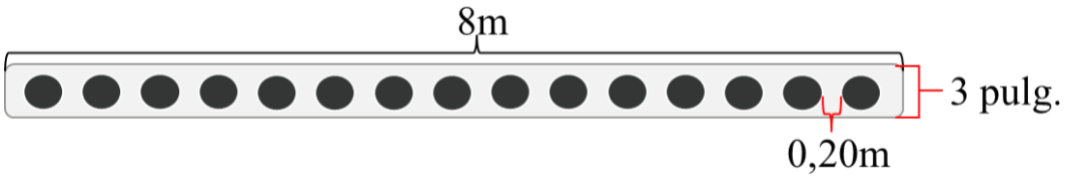
TABLA 15 *Tratamientos*

	O 1	O 2	O 3	O 4	O 5	O 6	O 7	O 8	O 9
T1	**PRIMERA FORMULACIÓN (Dosis baja) -10%** (Compuestos nutricionales para 900 lt de agua)								
	Nitrato de calcio	757,35 gr							
	Fosfato monoamónico	122,3 gr							
	Nitrato de potasio	401,7 gr							
	Sulfato de magnesio	399,15 gr							
	Micronutrientes	24,3 gr							
T2	**SEGUNDA FORMULACIÓN (Dosis media)** (Compuestos nutricionales para 900 lt de agua)								
	Nitrato de calcio	841,43 gr							
	Fosfato monoamónico	135,9 gr							
	Nitrato de potasio	446,4 gr							
	Sulfato de magnesio	443,5 gr							
	Micronutrientes	27 gr							
T3	**TERCERA FORMULACIÓN (Dosis alta) +10%** (Compuestos nutricionales para 900 lt de agua)								
	Nitrato de calcio	925,6 gr							
	Fosfato monoamónico	148,5 gr							
	Nitrato de potasio	491,04 gr							
	Sulfato de magnesio	487,85 gr							
	Micronutrientes	29,7 gr							

2.3.2 Esquema de distribución de tratamientos y sus observaciones

	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O9
T1	**Baja**								
T2	**Media**								
T3	**Alta**								

FIGURA 4 *Unidad Experimental*



2.3.3 Características del área experimental

El experimento se realizará bajo invernadero con un área de 168 m^2.

TABLA 16 *Dimensiones del Área Experimental*

Largo del tubo	8 m
Distancia entre plantas	0,20 m
Distancia entre tubos	0,15 m
Distancia entre pasillos	0,50 m
Diámetro de tubos PVC	3 plg
Un tubo es una Unidad Experimental	
Número de plantas por unidad experimental	38
Número de tubos por cama hidropónica (Observaciones)	9
Número de plantas por cama hidropónica	342
Ancho de la cama	3 m
Área total de la cama hidropónica	24 m^2
En una cama se aplicará un tratamiento	
Número de camas hidropónicas (tratamientos)	3
Número total de plantas	1026
Área total de las camas hidropónicas	72 m^2

2.3.4 Tamaño de muestra

Basándose en Benot, quien menciona que una muestra mínima representativa significa el 15 % del universo población en estudio y para tener confiabilidad en los datos se consideró la formula estimativa de proporcionales propuestas por el mismo autor. Tomando en cuenta, como tamaño de población al número de plantas por tratamiento, aplicando la fórmula:

$$n = \frac{N * (\sigma)^2 * (z)^2}{e^2(N-1) + (\sigma^2 * z^2)}$$

Donde:

n: Tamaño de la muestra.

N: Tamaño de la población.

σ: Desviación estándar de la población. Generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor constante de 0,5.

Z: Valor obtenido mediante niveles de confianza. Es un valor constante que, si no se tiene su valor, se lo toma en relación al 95% de confianza equivale a 1,96 usualmente o en relación al 99% de confianza equivale 2,58 valor que queda a criterio del investigador.

e: Limite aceptable del error muestral. Generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor que varía entre 1% (0,01) y 9% (0,09), valor que queda al criterio del encuestador.

El número de plantas por tratamiento es 342, los tres tratamientos tienen la misma cantidad de plantas, por lo que el tamaño de muestra obtenido se aplicara a los tres tratamientos.

$$n = \frac{342 * (0{,}5)^2 * (1{,}96)^2}{0{,}09^2(342 - 1) + (0{,}5^2 * 1{,}96^2)}$$

$$n = 88$$

Plantas muestreadas por unidad experimental= $\frac{88}{9}$= 10

- Son **10 plantas** por unidad experimental, Lo cual nos modifica el tamaño de muestra a **90 plantas.**

2.3.5 Tipo de muestreo

Completamente al azar.

Un muestreo al azar consiste en enumerar los elementos de la población y seleccionar al azar los elementos que integrarán la muestra. (Statologos, 2022)

2.4 Procedimiento experimental

El procedimiento experimental comprende las siguientes actividades:

2.4.1.1 Análisis de agua

La muestra de agua se la tomo el 14 de septiembre del 2023. Para lo cual se desinfecto el grifo con alcohol y la muestra se la coloco en una botella vacía de agua. Siguiendo

el protocolo de toma de muestra. Esta muestra se entregó al laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

TABLA 17 Análisis de agua

PARÁMETRO	VALOR	unidad
pH	7,58	-
CE	0,381	dS/m
bicarbonatos	399,66	mg/l
Carbonatos	0,3	mg/l
Cloruros	57,61	mg/l
Fosfatos	14,46	mg/l
Sulfatos	11,2	mg/l
Sodio	3,6	mg/l
Potasio	4,42	mg/l
Calcio	1,3	mg/l
Magnesio	6,5	mg/l
RAS	1,82	

Fuente: UAJMS. Facultad de ciencias agrícolas y forestales. Laboratorio de suelos

2.4.1.2 Limpieza y desinfección del sistema hidropónico

Se realizo la limpieza de todo el sistema hidropónico el 20 de octubre del 2023. Con detergente y lavandina se desinfecto el exterior e interior de los tubos y el tanque, para retirar los residuos del cultivo anterior, polvos u otros contaminantes. Y se finalizó con el enjuague. Lo mismo se repitió en las bandejas de almacigo, piscina de maternidad y accesorios.

2.4.1.3 Siembra y Almacigo

La siembra se realizó el 5 de noviembre del 2023, para el tratamiento 1 (dosis baja).

Y por problemas de baja germinación, la germinación para el tratamiento 2 (dosis media) y tratamiento 3 (dosis alta), comenzó el 9 de febrero del 2024.

Para los tres tratamientos se realizó la germinación en agua, la única diferencia fue mejorar el % de germinación por medio de un control de temperatura y humedad para lograr conseguir las 700 plantas para comenzar con los tratamientos 2 y 3.

La siembra se realizó en agua. Se colocaron las semillas en un papel y se las introdujo en bolsas plásticas para mantener la humedad uniforme y constante. Con la ayuda de un refrigerador se proporcionó las temperaturas ideales de germinación. También se subió y bajo la humedad de la servilleta con el fin de mejorar el % de germinación.

Tomando en cuento los cuidados anteriores se obtuvo las plantas requeridas para los tratamientos faltantes.

2.4.1.4 Primer trasplante a bandejas flotantes.

El trasplante del primer tratamiento se realizó el 15, 16 y 17 de noviembre del 2023 y del segundo y tercer tratamiento el 15 y 16 de febrero del 2024.

Las plantas germinadas presentaban sus hojas embrionarias en color verde y la radícula emergente, Cumpliendo estas características se utilizaron para el primer trasplante a las bandejas flotantes. Se coloco las plántulas en las esponjas y se las introdujo en las bandejas con agua y solución nutritiva al 50%.

2.4.1.5 Preparación de solución nutritiva para bandejas flotantes

Se utilizo la formulación de la dosis media para agregar a las bandejas flotantes a una concentración de 50%, para los tres tratamientos.

2.4.1.6 Oxigenación de la solución en bandeja flotante

El agua se oxigeno de forma manual moviendo el agua con una vara, una vez al día.

2.4.1.7 Trasplante definitivo al sistema NFT

El trasplante al sistema NFT. Se realizo para el primer tratamiento el 6 de diciembre del 2023 y para el segundo y tercer tratamiento el 9 de marzo del 2024.

Se acomodo cada plantita en un canastillo y este fue introducido a los orificios de los tubos NFT.

Los plantines estaban con un mínimo de dos hojas verdaderas y una raíz de 3 a 5 cm para que alcancé la solución nutritiva en el sistema NFT.

2.4.1.8 Preparación de las soluciones nutritivas para sistema NFT

Se empleo 3 formulaciones nutritivas de acuerdo a la siguiente analogía.

A partir de la formulación recomendada por bibliografía y análisis previo (Dosis media 100%), para una segunda formulación se disminuyó un 10%, que la denominamos dosis baja y en la tercera formulación se aumentó un 10% denominado dosis Alta.

Para la preparación, se pesó el fertilizante con una balanza separándolos en tres recipientes con agua, de acuerdo a su compatibilidad se diluyeron las soluciones. Y se los agrego al tanque la solución A, B y C.

Se preparo 3,5 veces solución nutritiva para cada tratamiento. Realizando en total 10,5 preparaciones de solución nutritiva para los tres tratamientos.

2.4.1.9 Monitoreo de la solución nutritiva en el sistema NFT

- ✓ **Control del pH**

Los datos de pH del agua se los tomo con el pH metro. Y para obtener el pH de 6,2 ideal se utilizó ácido nítrico.

El agua por la presencia de algunas sales se utilizó ácido nítrico para poder modificar el pH. En donde se colocaba 5 ml del ácido en 1 litro de agua y se agregó a los tanques 4 botellas de 400 ml para regular el pH.

- ✓ **Control de la conductividad eléctrica (ce)**

Se tomaron los datos de la conductividad eléctrica con el pH metro. De cuatro a cinco veces por semana.

- ✓ **Control de temperatura de solución nutritiva**

Este control se lo realizo a través de ventiladores, botellas de hielo y rociado con agua en algunas zonas del invernadero.

2.4.1.10 Cosecha y toma de datos

Para la cosecha se optó esperar al inicio de la floración por motivos del clima caluroso, la planta no presentaba las características para ser cosechada. Se observó si aparecía un

tallo en medio las hojas que suele aparecer para cargar con las futuras semillas. Y se procedía a extraer toda la planta para la recolección de datos.

La cosecha del primer tratamiento se realizó del 2 al 14 de enero del 2023.

Y la cosecha del segundo y tercer tratamiento del 10 al 25 de abril del 2024.

2.5 VARIABLES DE RESPUESTA

- Largo de tallo.
- Tamaño de raíces.
- Largo de la hoja.
- Número de hojas.
- Área foliar.
- Rendimiento (Se tomará como base para medir la eficiencia).
- Análisis costo beneficio.

2.5.1 Metodología de evaluación de las variables

2.5.1.1 Largo de tallo

Se realizó la medición con la regla desde la base del tallo hasta la yema apical.

2.5.1.2 Tamaño de raíces

La medición se realizó desde el cuello de la raíz hasta la cofia, con una regla.

2.5.1.3 Largo de hoja

La medición se realizó, desde la base de la hoja hasta la punta de la hoja (ápice), con la regla.

2.5.1.4 Número de hojas

Se realizo el conteo de todas las hojas de cada planta, ya sean grandes o pequeñas.

2.5.1.5 Área foliar

Se utilizo el método de pesaje donde se pesó un área de hoja de 8 cm^2 y su peso en balanza fue de 1 gr.

2.5.1.6 Rendimiento

El rendimiento se lo represento en gr. Para el cual se pesaron las plantas cosechadas y cortadas desde el tallo en la balanza. Y tomando en cuenta estos datos que se encuentran en el anexo 21. Se utilizaron los promedios de peso para representar al rendimiento.

También se determinó el rendimiento en gr/m^2 y Kg/m^2, pero estos datos solo se utilizaron en la interpretación y comparación de los resultados con otras investigaciones.

2.5.1.7 Análisis costo beneficio

Se realizará una hoja de costos de la cual se tomará en cuenta los costos totales, el rendimiento obtenido y los ingresos totales por cada tratamiento.

Se utilizará la ecuación costo-beneficio (RCB).

$$RCB = \frac{\text{Ingreso Total}}{\text{Costo total}}$$

Para la interpretación se toma en cuenta:

- Si **RCB > 1**, el tratamiento es rentable.
- Si **RCB = 1**, el tratamiento no genera ganancias, solo cubre los costos.
- Si **RCB < 1**, el tratamiento **no es rentable**.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 RESULTADOS

3.1.1 Largo de tallo

Los datos fueron obtenidos de anexo 25. En el cual a partir de los datos recolectados en campo se encontró los promedios para cada tratamiento.

Cuadro 1 Largo de tallo en cm

Tratamiento	OBSERVACIONES									∑	X
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX		
T1(dosis baja)	0,7	1,1	0,7	1,0	0,8	0,5	0,4	0,8	0,7	6,8	0,75
T2 (dosis media)	0,8	1,5	1,2	1,1	1,2	1,0	1,3	1,1	1,5	10,7	1,19
T3 (dosis alta)	1,0	1,0	0,7	0,7	0,6	1,2	1,0	0,9	1,0	7,9	0,88
∑										25,4	0,9

Los datos observados en el cuadro 1, son el largo de tallo promedio de las muestras recolectadas en campo para los tratamientos. Se observa que los promedios para cada tratamiento van desde 0,75 cm en T1 (dosis baja) y T2 (dosis media) 1,19 cm. Se obtuvo un promedio general de 0,9 cm.

Cuadro 2 Análisis de varianza del tamaño de tallo

Factor de variación (Fv)	Gl	SC	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
Total	26	1,86				
Tratamientos	2	0,89	0,45	11,05**	3,4	5,61
Error	24	0,97	0,04			

Cv: 21,34%

En el análisis de varianza se puede observar que la Fc es mayor a la Ft al 5% y 1%, Esto significa que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos. Por lo que se procederá a hacer una comparación de medias de Tukey.

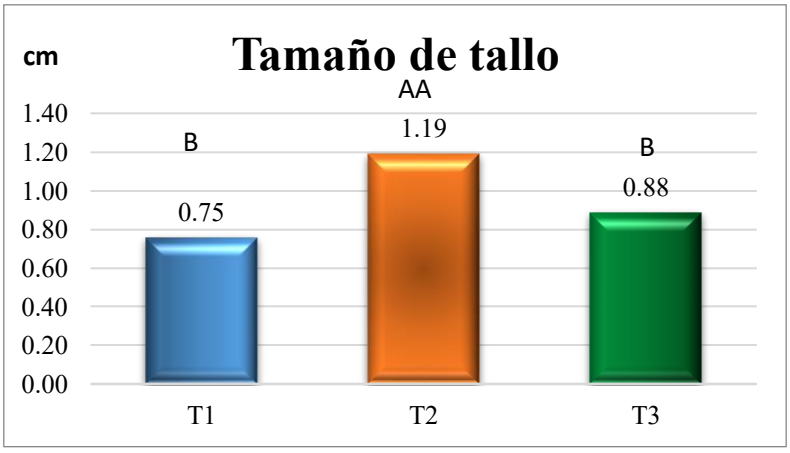
Cuadro 3 Comparación de medias de Tukey

T	Medias	Significación	
		5%	1%
2	1,19	A	A
3	0,88	B	
1	0,75	B	
Valores de tabla		4,684	5,685
RME		0,236535288	0,304442078

En la comparación de medias de Tukey se puede observar que, si existe diferencia estadística al 5% y 1%, entre el T2 (dosis media) y los tratamientos T3 (dosis alta) y T1 (dosis baja). No se observaron diferencias estadísticas entre el T3 (dosis alta) y T1 (dosis baja).

El T2 (dosis media) presentó un mayor crecimiento en el tallo de 1,19 cm, en comparación con T1 (dosis baja) de 0,75 cm y T3 (dosis alta) de 0,88 cm.

FIGURA 5 *Tamaño de tallo en cm*



3.1.2 Tamaño de raíces

Los datos fueron obtenidos de anexo 22. En el cual a partir de los datos recolectados en campo del largo de raíz se encontró las medias para cada tratamiento.

Cuadro 4 Tamaño de raíces en cm.

Tratamiento	OBSERVACIONES									∑	X
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX		
T1	14,5	16,5	18,0	15,7	16,8	18,0	12,8	14,3	11,9	138,5	15,39
T2	14,8	17,8	11,6	17,3	18,0	14,9	19,5	13,5	13,1	140,4	15,60
T3	18,7	20,8	20,6	18,2	18,2	17,5	18,5	16,3	18,0	166,7	18,53
∑										445,7	16,5

Según los datos observados en el cuadro 4 de tamaño de raíces promedio de las muestras recolectadas en campo para los tratamientos. Se observa que los promedios para cada tratamiento van desde 15,39 cm en T1 (dosis baja) y T3 (dosis alta) 18,53 cm. Se obtuvo un promedio general de 16,5 cm.

Nuestros datos indican que a una mayor dosis estimula un crecimiento radicular.

Cuadro 5 Análisis de varianza de tamaño de raíces

Factor de variación (Fv)	Gl	SC	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
Total	26	165,96				
Tratamientos	2	55,28	27,64	5,99**	3,4	5,61
Error	24	110,69	4,61			

CV: 13,01%

En el análisis de varianza se puede observar que la Fc es mayor a la Ft al 5% y 1%, Esto significa que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos. Por lo que se procederá a hacer una comparación de medias de Tukey.

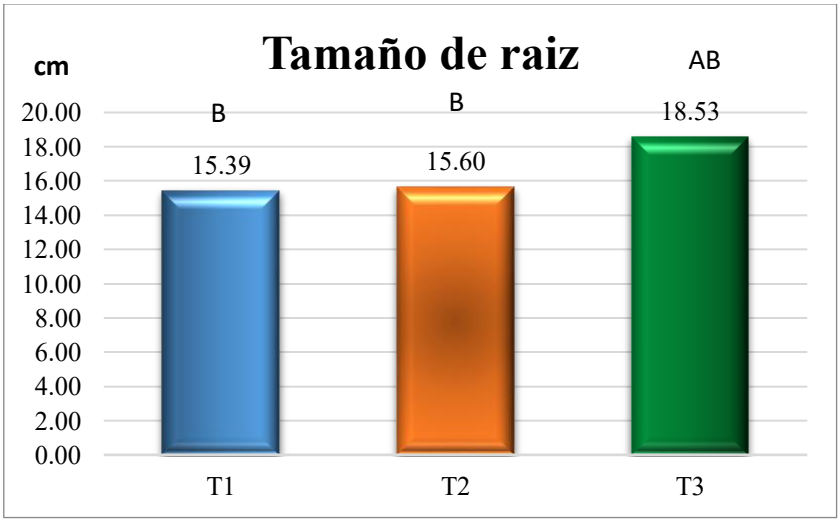
Cuadro 6 Análisis de medias de Tukey para tamaño de raíces

T	Medias	Significación	
		5%	1%
T1 (dosis baja)	18,53	A	B
T2(dosis media)	15,60	B	
T3 (dosis alta)	15,39	B	
Valores de tabla		3,532	4,546
RME		2,528	3,254

Al aplicar la comparación de medias de Tukey al 5% se observa que, si existe diferencia estadística entre el T3 (dosis alta) y los tratamientos T2 (dosis media) y T1 (dosis baja). La dosis alta T3 (dosis alta) promovió un desarrollo radicular superior de 18,53 cm, en comparación con T2 (dosis media) de 15,60 cm y T1 (dosis baja) de 15,39 cm. Por otro lado, no se observan diferencias significativas entre el T2 (dosis media) y T1 (dosis baja).

Realizando la comparación de medias de Tukey al 1%, no existe diferencia estadística entre tratamientos.

FIGURA 6 Tamaño de raíces en cm



3.1.3 Largo de la hoja

Los datos fueron obtenidos de anexo 24. En el cual a partir de los datos recolectados en campo se encontró las medias para cada tratamiento.

Cuadro 7 *Largo de hojas en cm*

Tratamientos	OBSERVACIONES									Suma	X
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX		
T1	5,4	4,8	5,6	5,0	4,9	5,0	5,4	4,6	5,1	45,7	5,08
T2	3,6	4,4	4,2	5,2	4,5	4,5	5,4	4,7	4,3	40,8	4,54
T3	4,8	4,0	4,6	4,6	3,8	4,0	3,9	4,7	4,3	38,7	4,30
∑										125,2	4,6

En la tabla podemos observar que el mayor largo de hojas lo obtuvimos en el T1 (dosis baja) con un promedio de 5,08 cm, Después el T2 (dosis media) con 4,54 cm y el menor largo de hojas lo obtuvimos con el T3 (dosis alta) con 4,30 cm.

Cuadro 8 *Análisis de varianza del Largo de hojas*

Factor de variación (Fv)	Gl	SC	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
Total	26	7,08				
Tratamientos	2	2,86	1,43	8,12**	3,4	5,61
Error	24	4,22	0,18			

Cv: 9,05%

En el análisis de varianza se puede observar que la Fc es mayor a la Ft al 5% y 1%, Esto significa que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos. Por lo que se procederá a hacer una comparación de medias de Tukey.

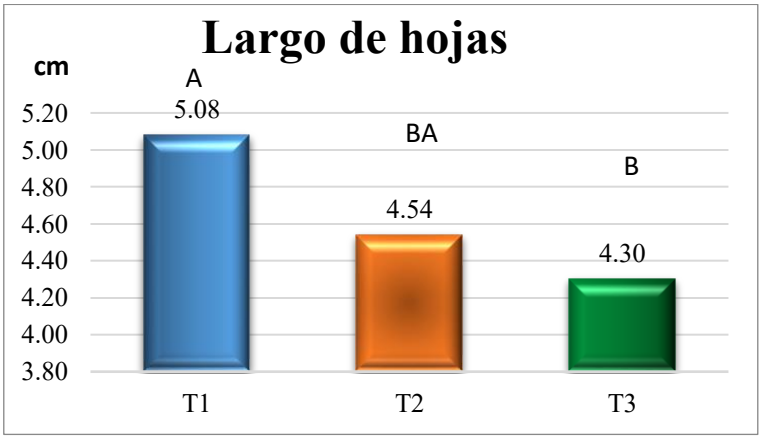
Cuadro 9 *Análisis de medias de Tukey para largo de hojas*

Comparación de medias de Tukey			
T	Medias	Significación	
		5%	1%
T1 (dosis baja)	5,08	A	
T2(dosis media)	4,54	B	A
T3 (dosis alta)	4,30	B	
Valores de tabla		4,684	5,685
Tukey		0,4939	0,6357

En la comparación de medias de Tukey se puede observar que, si existe diferencia estadística al 5% entre el T1 (dosis baja) y los tratamientos T2 (dosis media) y T3 (dosis alta). El T2 (dosis media) y T3 (dosis alta) no tienen diferencia estadística.

Al 1% no se observaron diferencias estadísticas entre el T2 (dosis media) y T1 (dosis baja), pero si existe diferencias estadísticas entre T1 (dosis baja) y T3 (dosis alta). Lo que sugiere que, a pesar de la diferencia estadística observada entre los tratamientos (T1 y T3), No existe diferencias estadísticas.

FIGURA 7 Largo de hojas en cm



3.1.4 Número de hojas

Los datos fueron obtenidos de anexo 23.

Cuadro 10 *Número de hojas*

Tratamiento	OBSERVACIONES									Suma	X
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX		
T1	15,5	29,5	18,9	21,8	20,8	26,1	21,8	25,1	23,3	202,8	23
T2	14,8	19,5	19,4	21,8	31,6	16,0	27,8	16,4	15,9	183,2	20
T3	16,1	9,1	24,4	23,7	14,8	14,9	23,9	16,9	13,7	157,5	18
∑										543,5	20

En la tabla podemos observar que el mayor número de hojas lo obtuvimos en el T1 (dosis baja) con un promedio de 23 hojas, Después el T2 (dosis media) con 20 hojas y el menor número de hojas lo obtuvimos con el T3 (dosis alta) con 18 hojas.

Nuestros datos indica que a una mayor dosis disminuye el desarrollo foliar.

Cuadro 11 *Análisis de varianza del número de hojas*

Factor de variación (Fv)	Gl	SC	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
Total	26	749,18				
Tratamientos	2	114,69	57,35	2,17	3,4	5,61
Error	24	634,48	26,44			

Cv: 25,54%

En la tabla de análisis de varianza podemos observar que la Fc es menor a la Ft, al 5 y 1%, Esto significa que no hay diferencias significativas entre los tratamientos.

FIGURA 8 Número de hojas

De acuerdo a baiadoconhecimento (2021), para realizar la cosecha definitiva la espinaca debe tener entre 18 a 22 hojas y un peso promedio de 180 a 250 gramos.

Se llegó al número de hojas ideal con el que debemos empezar la cosecha, pero las hojas exteriores presentaban deshidratación y mala apariencia que indican que la planta asimilo la solución nutritiva para producir la cantidad de hojas ideal, pero por un inadecuado control del calor en el invernadero las plantas no tenían apariencia para ser cosechadas, pero esto también pudo ser influenciado por la dosis de solución nutritiva porque a una mayor dosis menor número de hojas obtuvimos.

Al trabajar con una semilla de espinaca hibrida esta planta posiblemente consiga un mayor número de hojas que otras variedades, pero a causa de la solución nutritiva, el calor y otros factores, no se consiguió observarla en su auge.

También se debe tomar en cuenta que se contó todas las hojas incluyendo las pequeñas que no eran visibles hasta que se realizó el deshojado.

3.1.5 Área foliar

El área se la calculo utilizando los datos de 2.5.1.5 y anexo 21.

Cuadro 12 *Área foliar en cm²*

T	OBSERVACIONES									Suma	X
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX		
T1	111,2	161,6	164,8	128,0	174,4	163,2	224,0	148,0	185,6	1460,8	162,3
T2	55,2	93,6	104,8	138,4	196,0	84,8	247,2	97,6	68,8	1086,4	120,7
T3	109,6	46,4	168,8	122,4	66,4	80,8	126,4	92,0	58,4	871,2	96,8
∑										3418,4	126,6

En la tabla podemos observar que la mayor área foliar lo obtuvimos en el T1 (dosis baja) con 162,3 cm^2, Después el T2 (dosis media) con 120,7 cm^2 y la menor área lo obtuvimos con el T3 (dosis alta) con 96,8 cm^2.

Cuadro 13 *Análisis de varianza del área foliar*

Factor de variación (Fv)	Gl	SC	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
Total	26	72154,36				
Tratamientos	2	19782,02	9891,01	4,53*	3,4	5,61
Error	24	52372,34	2182,18			

Cv: 36,9%

En el análisis de varianza se puede observar que la Fc es mayor a la Ft al 5%, Esto significa que existen diferencias significativas entre tratamientos.

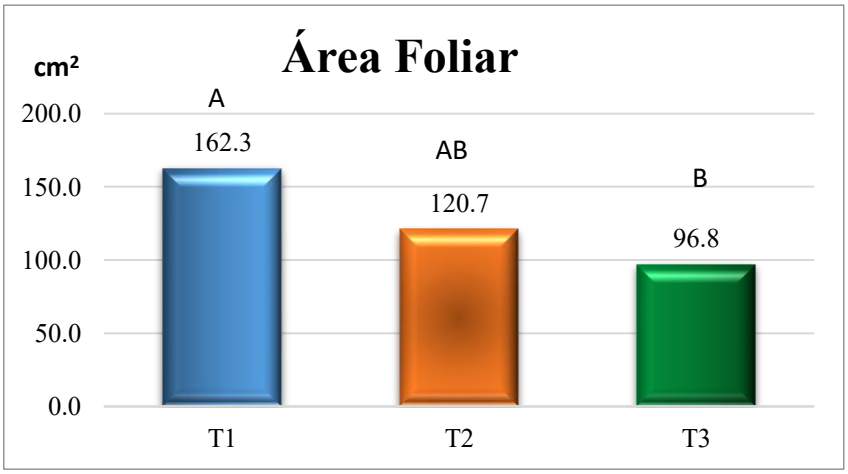
Cuadro 14 *Análisis de medias Tukey para área foliar*

Comparación de medias por Tukey			
T	Medias	Significación	
		5%	1%
T1 (dosis baja)	162,31	A	
T2(dosis media)	120,71	AB	
T3 (dosis alta)	96,80	B	
Valores de tabla		4,684	5,685
RME		54,998	70,787

Al aplicar la comparación de medias de Tukey para comparar las medias entre los tratamientos al 5%, se obtuvo que el T1 (dosis baja) y el T2 (dosis media) no tienen

diferencias estadísticas, pero si existen diferencias estadísticas entre el T1 (dosis baja) y el T3 (dosis alta). Comparando el T2 (dosis media) y T3 (dosis alta) se obtuvo que no hay diferencias estadísticas. Lo que sugiere que no hay diferencias estadísticas entre tratamientos.

FIGURA 9 Área foliar en cm^2



3.1.6 Rendimiento

Los datos son resultado de anexo 21. Los valores es el promedio en peso de datos tomados en campo.

Cuadro 15 *Rendimiento en gr*

Rendimiento (gr)

T	OBSERVACIONES									∑	X
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX		
T1	13,9	20,2	20,6	16,0	21,8	20,4	28,0	18,5	23,2	183	20,3
T2	6,9	11,7	13,1	17,3	24,5	10,6	30,9	12,2	8,6	136	15,1
T3	13,7	5,8	21,1	15,3	8,3	10,1	15,8	11,5	7,3	109	12
∑										427	15,8

En la tabla podemos observar que el mayor rendimiento lo obtuvimos en el T1 (dosis baja) con 20,3 gr seguido de T2 (dosis media) con 15,1 gr y el rendimiento más bajo lo obtuvimos con el T3 (dosis alta) con 12 gr.

Cuadro 16 *Análisis de varianza de rendimiento*

Factor de variación (Fv)	Gl	SC	CM	Fc	Ft	
					5%	1%
Total	26	1127,41				
Tratamientos	2	309,09	154,55	4,53*	3,4	5,61
Error	24	818,32	34,10			

CV: 36,9%

*= Significativo **= Altamente significativo

En el análisis de varianza se puede observar que la Fc es mayor a la Ft al 5%, Esto significa que existen diferencias significativas entre tratamientos.

El coeficiente de variación de 36,9%, Indica una variabilidad considerable respecto a la media. Este valor indica que existe una dispersión significativa, que puede estar relacionado con varios factores, como variaciones en el sistema hidropónico (fluctuaciones en la concentración de nutrientes, pH, temperatura del agua, otros), errores en la medición, la heterogeneidad genética de las plantas, eficiencia de absorción de nutrientes, adaptación de las plantas.

A pesar de la alta dispersión, es importante destacar que este valor de CV no necesariamente invalida los resultados, pero si señala que se debe tener precaución en la interpretación de los datos.

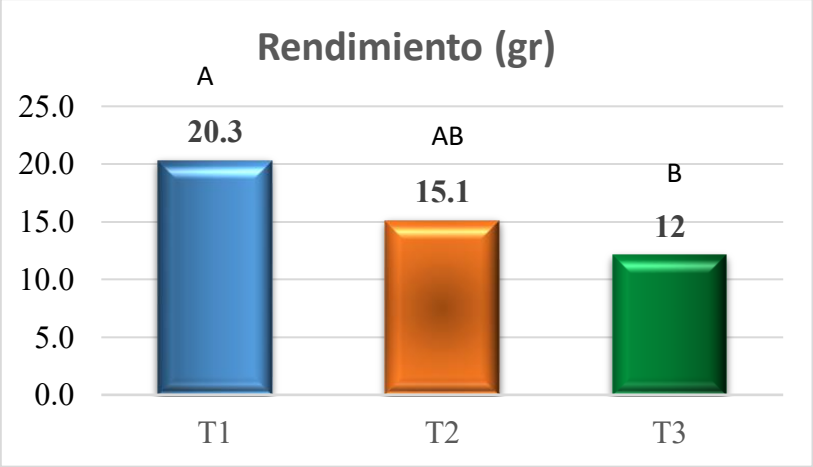
Cuadro 17 *Análisis de medias de Tukey para rendimiento*

T	Medias	Significación	
		5%	1%
1	202,89	A	
2	150,89	AB	
3	121,00	B	
Valores de tabla		4,684	5,685
Tukey		68,7472	88,4838

Al aplicar la comparación de medias de Tukey para comparar las medias entre los tratamientos al 5%, se obtuvo que el T1 (dosis baja) y el T2 (dosis media) no tienen

diferencias estadísticas, pero si existen diferencias estadísticas entre el T1 (dosis baja) y el T3 (dosis alta). Comparando el T2 (dosis media) y T3 (dosis alta) se obtuvo que no hay diferencias estadísticas. Lo que sugiere que no hay diferencias estadísticas entre tratamientos.

FIGURA 10 *Rendimiento promedio (gr)*



Los rendimientos en gramos para transformarlos en kg/m^2. Se calculó a partir del área de 24 m^2 y la producción neta vendible de nuestros anexos 29 y realizando conversiones el rendimiento promedio para cada tratamiento es: T1(dosis baja): 0,2748 kg/m^2, T2(dosis media): 0,2043 kg/m^2 y T3(dosis alta): 0,164 kg/m^2.

Tomando en cuenta la tabla 4, los rendimientos obtenidos son inferiores a la producción en suelo e hidroponía de otras investigaciones en el cultivo de espinaca.

Haciendo comparaciones con el líder mundial que es China que tiene los rendimientos en 2022 de 4,57 kg/m^2. En donde se realiza un control optimo de clima y nutrientes con el uso de nuevas tecnologías logrando mejorar sus rendimientos año a año. Nuestros mejores rendimientos En T1 (dosis baja) solo representan el 6,02%. Tomar en cuenta que el control de manejo de temperatura en la solución nutritiva era en promedio 24,85 °C para el tratamiento 1 (dosis baja) y 25,19 °C para el tratamiento 2 (dosis media) y Tratamiento 3 (dosis Alta). La temperatura promedio 5 °C por encima de la ideal.

Realizando comparaciones con las investigaciones de Camacho (2018), en espinaca producida en Hidroponía de raíz flotante, en La Paz- Bolivia, que tiene un rendimiento promedio de 0,301 kg/ m^2. Los rendimientos En T1 (dosis baja) son inferiores, representando el 91,29%. Tomar en cuenta que la temperatura promedio para Camacho es de 19 °C que se encuentra en el rango ideal y anexo 20 de Requerimiento Nutricional, había una deficiencia de nutrientes en la solución nutritiva de Camacho y un exceso de nutrientes en la solución utilizada en esta investigación.

Realizando comparaciones con la producción nacional de 0,313kg/m^2 según datos del INE (2019), Los rendimientos En T1 (dosis baja) son inferiores, representando el 87.83%. Estos rendimientos son obtenidos en su mayoría en suelo y algunas producciones en invernaderos con condiciones climáticas variables.

3.1.7 Análisis costo/ beneficio

Para la obtención del rendimiento en 24 m^2, se utilizaron los datos de Cuadro 15 y Anexo 29.

Cuadro 18 *Análisis costo/ Beneficio*

Tratamiento	Costo por tratamiento (Bs)	Gr de Producción en 24 m^2	Ingreso total	Utilidad	Costo/ Beneficio
T1 (dosis baja)	359	6595,47	325,2	-33,5	0,90654302
T2 (dosis media)	364	4902,38	241,7	-122,2	0,6642623
T3 (dosis alta)	368	3931,29	193,8	-174,5	0,52620453

En el cuadro se puede observar que los tres tratamientos no son rentables.

El T1 (dosis baja) es el que tiene menos perdidas a comparación de los T2 (dosis media) y T3 (dosis alta).

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- El mayor rendimiento lo obtuvimos en el T1(dosis baja) de 0,2748 kg/m^2. Donde al aumentar un 10% la dosis de nutrientes en la solución bajaba el rendimiento, obteniendo un rendimiento en T2(dosis media) de 0,2043 kg/m^2 y un rendimiento más bajo en T3(dosis alta) de 0,164 kg/m^2.
- El mayor número de hojas lo obtuvimos en el T1(dosis baja) con 23 hojas. Seguido del T2(dosis media) con 20 hojas y el T3(dosis alta) con 18 hojas. Estos datos indican que a una mayor dosis disminuye el desarrollo foliar.
- La dosis de solución nutritiva estándar utilizado en la espinaca no es eficiente por que presenta excesos de nutrientes que influyeron a obtener unos bajos rendimientos.
- Para las variables Tamaño de raíces, Largo de la hoja, Número de hojas, Área foliar y Rendimiento se acepta la hipótesis nula ya que al realizar la prueba de Tukey al 5 o al 1% no existen diferencias estadísticas.
- Al realizar el análisis costo/ beneficio se concluye que los tres tratamientos no son rentables y que el tratamiento con menos perdidas es el T1 (dosis baja).
- Para la variable tamaño de tallo se rechaza la hipótesis nula y en la prueba de Tukey mostro que, si existe diferencias estadísticas al 5% y 1%, entre el T2 (dosis media) y los tratamientos T3 (dosis alta) y T1 (dosis baja). En donde el mayor crecimiento en tallo lo obtuvimos en el T2 (dosis media) de 1,19 cm, en comparación con T1 (dosis baja) de 0,75 cm y T3 (dosis alta) de 0,88 cm.

4.2 RECOMENDACIONES

- Basado en los resultados obtenidos se recomienda que en futuras investigaciones se utilice una solución nutritiva que tome en cuenta el requerimiento nutricional del cultivo de espinaca por que los excesos de nutrientes pueden provocar bajos rendimientos como los obtenidos en este trabajo y también los déficits pueden afectar a nuestros rendimientos, Como podemos observar en las investigaciones de Camacho (2018).
- Se recomienda realizar otras investigaciones de dosis de nutrientes en el cultivo de espinaca que varía no solo según el cultivo y variedad, también de acuerdo a las condiciones climáticas donde las cultivamos.
- Se recomienda realizar una mejora en el control de clima procurando múltiples alternativas para mantener la temperatura del invernadero entre los rangos óptimos para el cultivo de espinaca que resiste a temperaturas fuera del rango optimo, pero no se obtiene producciones rentables a causa de bajos rendimientos.
- Se recomienda que para próximas investigaciones que no cuenten con eficientes métodos para control de temperaturas altas dentro del invernadero, elijan realizar su cultivo en épocas frías. Pero tomar en cuenta que las épocas más desfavorables para un cultivo son también aquellas donde el producto tiene un precio mayor.