

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad a nivel mundial, la agricultura hidropónica viene adquiriendo gran importancia social para la seguridad que ofrece a la salud humana y al medio ambiente, donde la agricultura hidropónica es de gran manera una alternativa para producir altos rendimientos en espacios reducidos y con menor cantidad de agua.

Según investigaciones anteriores se determinó que la producción en hidroponía incremento en su rendimiento hasta en el doble de lo habitual ya que pasaría a ser una gran ventaja para los consumidores y productores. Por otro lado, en las últimas décadas el recurso suelo ha sido deteriorado por el abuso de explotación y aplicación de sobredosis de fertilizantes químicos su uso de plaguicidas, afectando la sostenibilidad del recurso suelo generando pobreza para los agricultores y finalmente el desequilibrio del ecosistema (Birgi, 2015).

El deterioro progresivo de los suelos agrícolas, en general, debido a una sobreexplotación, exceso de fertilización, contaminación por pesticidas y una salinización cada vez más extendidas, está obligando a los agricultores, sobre todo en países desarrollados a optar por el uso de tecnologías adecuadas para dar solución a dichos problemas; además de economizar, los cada vez más escasos, recursos hídricos. Esos problemas no se presentan en la hidroponía, porque el sustrato que se usa en la hidroponía solo ofrece sostén y la capacidad de mantener la humedad y oxigenación de las raíces de las plantas (Izquierdo, 2003).

No aporta nutrientes y es sencillo lograr que esté libre de contaminación, plagas y enfermedades. Teniendo como ventajas la manipulación, control inmediato, así mismo dando la facilidad a los agricultores en regiones limitadas de precipitación, suelos no aptos para la agricultura y de climas adversos, como una estrategia productiva de importancia para las zonas rurales del Altiplano y Valles. Sin embargo, se tiene como desventaja, los costos que se dan a inicio, como la variación del pH que afecta de manera directa al cultivo. Los nutrientes están en el agua (Hydro) que se usa como solución nutritiva, el cual está compuesto por micronutrientes (solución A) y micronutrientes (solución B), de la hidroponía.

En Bolivia, estos sistemas de producción se vienen utilizando aún a pequeña escala, pero tienen mucha proyección para el futuro, por las mejoras y ventajas que ofrecen al productor. Según estudios realizados se menciona que se obtuvo altos rendimientos en cultivo de lechuga, a la vez se tiene un mayor número de plantas por m². También en otro tipo de sistemas de hidroponía se produce otros cultivos como ser: acelga, espinaca, papa, coles, etc., que facilita el incremento del rendimiento y buenas características en su aspecto dando un costo adicional en el mercado.

En los cultivos hidropónicos con sustrato líquido se encuentran el sistema de raíz flotante que posee un bajo costo inicial en los materiales e instalación del sistema, y el cultivo hidropónico NFT necesita mayor costo inicial por las materias que esta requiere, por lo tanto, en esta investigación se tiene como idea dar a conocer cuál de estos dos sistemas de hidroponía es más apto para la producción del cultivo de la espinaca.

2. Justificación

La hidroponía es una alternativa al problema de escasez de tierras agrícolas y de agua en todo el mundo, dado los principios científicos y técnicos en los cuales se basa la hidroponía, la convierten en una tecnología operativamente viable y sencilla, siendo una buena alternativa de solución a los problemas de producción de alimentos, ya que los rendimientos por unidad de área cultivada son superiores al de un cultivo en campo tradicional, de 3 a 4 veces más gracias a las altas densidades de siembra y elevada producción por planta.

Esta investigación tiene como finalidad cultivar espinacas (*Spinacea oleracea* L.) empleando el sistema de cultivo hidropónico NFT, como también un sistema hidropónico de raíz flotante y determinar el comportamiento agronómico bajo estas condiciones, así como su producción.

Proponer como alternativa al sistema hidropónico de raíz flotante por el bajo costo de producción de este sistema hidropónico, para que los resultados pueden ser una fuente de consulta a todos aquellos que quieran implementarlo, como un recurso de

producción y aportar como beneficio a la sociedad, para la mejora y conservación del medio ambiente.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

- ✓ Comparar el cultivo de la espinaca (*Spinacea oleracea* L.) en el sistema hidropónico NFT y el sistema hidropónico de raíz flotante y determinar el comportamiento agronómico bajo estas condiciones en la provincia Cercado del departamento de Tarija.

3.2. Objetivos específicos

- ✓ Evaluar el efecto del sistema hidropónico NFT con el sistema hidropónico de raíz flotante en el cultivo de la espinaca (*Spinacea oleracea* L.).
- ✓ **Estimar el rendimiento del cultivo de la espinaca (gr/planta; kg/m²), determinando cual es el mejor sistema de cultivo para esta especie.**
- ✓ Realizar el análisis económico, relación beneficio costo del sistema NFT y sistema hidropónico de raíz flotante.

4. Hipótesis

El sistema hidropónico NFT y el sistema de raíz flotante de la espinaca (*Spinacea oleracea* L.), muestran diferencias en el rendimiento del cultivo.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. CULTIVO DE LA ESPINACA

1.1.1. Origen

La espinaca fue introducida en Europa alrededor del año 1000, procedente de regiones asiáticas, probablemente de Persia, pero únicamente a partir del siglo XVIII comenzó a difundirse por Europa y se establecieron cultivos para su explotación, principalmente en Holanda, Inglaterra y Francia luego, se cultivó en otros países y más tarde pasó a América. El término “espinaca” proviene de la palabra “Hispania” (Infoagro, 2005).

1.1.2. Clasificación taxonómica

Corresponde la siguiente clasificación taxonómica:

Reino:	Vegetal.
Phylum:	Teleomorphytae.
División:	Tracheomorphytae.
Subdivisión:	Anthomorphyta.
Clase:	Angiospermae.
Subclase:	Dicotyledoneae
Grado Evolutivo:	Archichlamydeae
Grupo de Ordenes:	Corolinos
Orden:	Chenopodiales
Familia:	Chenopodiaceae
Nombre científico:	<i>Spinacia oleracea</i> L.
Nombre común:	Espinaca

Fuente: Herbario Universitario T.B. (2019).

1.1.3. Descripción botánica

1.1.3.1. Raíz

La planta de espinaca posee raíz pivotante, poco ramificada y de desarrollo radicular superficial. En los primeros estadios de crecimiento presenta una roseta de hojas con tallo corto; la duración de la misma depende de factores ambientales como temperatura, radiación y fotoperiodo (Di Benedetto, 2010).

Alcanza una altura de entre 15 y 25 cm (Infoagro, 2005).

1.1.3.2. Tallo

El tallo es corto y rudimentario, llegando a medir de 5 a 10 cm (Infoagro, 2005).

1.1.3.3. Hoja

Son caulíferas, alternas, pecioladas, acorazonadas, otras variedades se presentan con hojas anchas y carnosas de color verde claro y con nervaduras prominentes. Forma una roseta de hojas pecioladas con limbo que puede ser más o menos sagitado, triangular ovalado o triangular acuminado de márgenes enteros o sinuosos y de aspecto blando rizado, liso o abollado. En esta fase de roseta de hojas, la planta puede alcanzar entre 15 a 25 cm. de largo, la parte comestible (Infoagro, 2005).

1.1.3.4. Flor e Inflorescencia

Son muy pequeñas y verdosas. Es una planta esencialmente dioica que puede adquirir numerosas formas sexuales que van desde la aparición de individuos completamente masculinos a otros completamente femeninos, pasando a través de casos intermedios.

Las flores masculinas aparecen en espigas terminales, las flores femeninas aparecen en la parte inferior del tallo, mientras que las hermafroditas lo hacen en el centro del tallo. Las ramas florales tienen hojas bien desarrolladas en toda su longitud y llevan flores masculinas y femeninas en proporción variable (Vigliola, 2003).

1.1.3.5. Fruto y semilla

Es un aquenio, el cual es considerado como semilla, de forma algo comprimido, liso o membranoso en unas variedades (var. inermes) y espinosos en otras (var. spinosa).

Las semillas son de color gris verdoso, de superficie rugosa, característica que se destaca más al envejecer.

Como término medio tiene una capacidad germinativa de cuatro años. El peso de mil semillas es de aproximadamente 10g (Infoagro, 2005).

1.1.4. Características del cultivo

Tabla 1. Características del cultivo de espinaca
(*Spinacea oleracea* L.)

Días de germinación	7-12 días
Distancia entre plantas	15-20 cm
Duración de la primera cosecha	45-50 días
Ciclo de vida	3-5 meses
Numero de cosecha	4-6 cosechas

Fuente: Vigliola (2003).

1.1.5. Requerimientos nutricionales

Si se tiene un cultivo convencional de espinaca, la fertilización química puede complementarse con aportes de materiales orgánicos, para ello se recomiendan los aportes en presiembra o al momento de la siembra de 0,5 kg/m² de cualquier material orgánico en mezcla con 100 kg/ha de 15-15-15, 50 kg/ha de nitrato de amonio, 100 kg/ha de sulfato de calcio y 100 kg/ha de sulfato de magnesio para el primer ciclo. En el segundo ciclo, solo sería necesario aportar 15-15-15 y nitrato de amonio. También se debe realizar anualmente un análisis de fertilidad con el fin de mantener en niveles

óptimos los contenidos de Ca, Mg y elementos menores (Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 2010).

1.1.6. Requerimientos edafoclimáticos

1.1.6.1. Temperatura

La temperatura mínima mensual de crecimiento es de aproximadamente 5 °C. Las espinacas que se desarrollan a temperaturas muy bajas (5-15 °C de media mensual), en días muy cortos, típicos de los meses invernales, florecen más rápidamente y en un porcentaje mayor que las desarrolladas también en foto períodos cortos, pero con temperaturas más elevadas de 15-26 °C, La adaptabilidad a las temperaturas bajas es de gran importancia práctica, dado que la mayor demanda de esta verdura coincide con el período otoñal-primaveral (Infoagro, 2005).

1.1.6.2. Riego

Los niveles de precipitación adecuados para el cultivo de espinaca, se ubican en un rango que van de los 300 mm por ciclo y 1200 mm por año, no tolera encharcamientos (Santafeagro, 2001).

1.1.6.3. Luminosidad

Las condiciones de iluminación y temperatura influyen decisivamente sobre la duración del estado de roseta. Al alargarse los días (más de 14 horas de luz diurna) y al superar los 15 °C, las plantas pasan de la fase vegetativa roseta a la de "elevación" y producción de tallo y flores (Infojardín, 2002).

1.1.6.4. Suelos

Se puede sembrar en todo tipo de suelos, preferiblemente áridos, secos, ligeros, francos o franco arenosos, permeables, bien drenados y calizos, ricos en materia orgánica. Se adapta también a suelos más pobres, pero no le convienen suelos arcillosos compactos. No tolera suelos ácidos, pero si alcalinos. Ph óptimo: 6.0 - 6.8 (IICA, 2007).

1.1.7. Manejo del cultivo

1.1.7.1. Siembra

Para consumo en fresco la siembra se realiza en líneas separadas de 25 - 35 cm, a chorrillo, utilizando entre 30 y 50 kg de semilla por hectárea. Las densidades más altas (64 plantas/ m²) son las que producen los mayores rendimientos en peso fresco (Tonelli B, 2005).

1.1.7.1. Época de siembra

Se indica que la siembra realizada al terminar el verano permite llevar a cabo la recolección a principios de invierno. En localidades de clima riguroso la recolección no tendrá lugar hasta la primavera. A fines de invierno puede sembrarse nuevamente. Con el fin de obtener una producción escalonada, se aconseja realizar siembra periódica cada 20 días. (Sánchez, 2004)

1.1.8. Plagas y enfermedades

Entre las principales plagas de la espinaca se tiene:

- Mildiu de la espinaca (*Peronospora farinosa f. sp. Spinaciae*) Se manifiesta por manchas amarillentas en el haz y un afieltrado grisáceo en el envés (AgroEs.es, 2009).
- Cercosporiosis (*Cercospora Beticola* Sacc.). En las hojas aparecen manchas redondeadas rodeadas de un halo rojiza (AgroEs.es, 2009).
- Botrytis cinerea Pers. Se produce una podredumbre algodonosa en las hojas (AgroEs.es, 2009).
- Pythium de Baryanum Hesse. La roseta de hojas se colapsa y la raíz principal se necrosa casi en su totalidad (AgroEs.es, 2009).
- Virosis y microplasmas. Virus 1 del pepino, Virus del mosaico de la remolacha (AgroEs.es, 2009).

Entre las principales enfermedades del cultivo de espinaca tenemos:

- Mosca de la remolacha (*Ophioma pinguis* Fall.). Díptero que produce galerías entre las dos epidermis de las hojas (AgroEs.es, 2009).
- Gusanos grises (*Agrotis* spp.). En otoño y en primavera suelen devorar el cuello de la raíz provocando la muerte de las plantas (AgroEs.es, 2009).
- Pulgones. Producen abarquillamiento y amarilleamiento de las hojas (AgroEs.es, 2009).
- Nematodos (*Heterodera schachtii* Schmidt). Produce quistes en las raíces de las plantas (AgroEs.es, 2009).
- Caracoles y babosas (AgroEs.es, 2009).

1.1.9. Cosecha

La recolección se inicia en las variedades precoces a los 40-50 días tras la siembra y a los 60 días después de la siembra con raíz incluida; oscilando las producciones óptimas entre 10 y 15 Tm/ha. La recolección no se realizará después de una lluvia o riego, ya que las hojas se ponen turgentes y son más susceptibles de romperse o quebrarse (IICA, 2007).

1.1.10. Propiedades nutricionales.

La espinaca es una hortaliza con un elevado valor nutricional y carácter regulador, debido a su elevado contenido en agua y riqueza en vitaminas y minerales. Compuesta mayormente por agua, su cantidad de hidratos de carbono y grasa es muy baja, es uno de los vegetales que más proteína contiene, es rica en fibra especialmente los tallos (Gorini, 2000).

Es una excelente fuente de vitaminas y minerales, dentro de los minerales se destacan el calcio, hierro, potasio, magnesio, manganeso y fosforo. En cuanto al contenido de vitaminas la espinaca es rica en vitamina a, c, e, k, como así vitaminas del grupo b como se b6, b2, b1, b9, y ácido fólico, así mismo contiene sustancias antioxidantes

como los flavonoides y carotenoides la luteína y la saxantina, neoxantina, también es una buena fuente ácidos grasos omega 3 (Gorini, 2000).

Tabla 2. Tabla de Información Nutricional

COMPONENTE	ESPINACAS CRUDAS
Lípidos (gr)	0,25
Proteínas (gr)	2,86
Hidratos de carbono (gr)	3,5
Calcio (mg)	99
Hierro (mg)	2,71
Magnesio (mg)	79
Fosforo (mg)	49
Potasio (mg)	558
Sodio (mg)	79
Vitamina C (mg)	28,1
Vitamina E (mg)	1,89
Vitamina B6 (mg)	0,2
Colesterol (mg)	0
Fibra(gr)	<u>2,7</u>

Fuente: Gorini, (2000).

1.2. CULTIVO HIDROPÓNICO

La palabra Hidroponía se deriva del griego Hydro (agua) y Ponos (labor o trabajo) lo cual significa literalmente el trabajo en el agua. La hidroponía, en términos estrictos, es una técnica que permite producir plantas sin emplear suelo.

Los sistemas hidropónicos en NFT crecen en líneas de producción de sección circular o rectangular de material plástico, en ellos se perforan los orificios necesarios para plantar los plantines a la línea, a través de los cuales se les entrega a las plantas una

lámina de solución nutritiva que posteriormente es suministrada todos los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas y desarrollo de las mismas. Además, se debe de rescatar que dicha lámina de nutrientes es poco profunda en esta técnica, lo que favorece la oxigenación de la solución y la diferenciación de otros sistemas hidropónicos (Birgi, 2015).

Por otra parte, disminuyen los problemas relacionados con enfermedades de la raíz, lo que reduce drásticamente la aplicación de plaguicidas, y en su lugar se pueden utilizar sustancias orgánicas repelentes que le permiten al productor obtener cosechas de muy buena calidad y libres de residuos tóxicos; de esta forma la familia consumirá alimentos más frescos y sanos. Es importante resaltar en ese sentido la protección que también se le da al medio ambiente con el uso de esta técnica (Guzmán, 2004).

1.2.1. Ventajas y desventajas del cultivo hidropónico

Señalan una serie de ventajas e inconvenientes, algunas de las cuales se reseña brevemente (Maroto, 2008).

Como ventaja, los cultivos en solución nutritiva pueden ofrecer las siguientes:

- Mejor aprovechamiento de los fertilizantes.
- Mayor control de nutrición vegetal.
- En general menores problemas fitosanitarios y mayor facilidad para su control.
- Menores posibilidades de que las plantas sufran como consecuencia de limitación de agua.
- Puede ser una alternativa importante en caso de fuentes infestaciones de parásitos del suelo en cultivo tradicional.
- Notable reducción en la cuantía y complejidad de las denominadas “labores de cultivo”
- En sistema bien manejado, se obtiene producciones muy elevadas y de una alta calidad.

Entre las principales desventajas pueden citarse:

- Elevado costo de implementación.
- Importantes gastos de mantenimiento.

1.2.2 Métodos hidropónicos

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).

Dependiendo del medio en el que se desarrollan las raíces, los sistemas de cultivo sin suelo se pueden clasificar en tres grupos: cultivos en sustrato, cultivos en agua y cultivos en aire (Duran, 2000).

Los métodos de cultivos, más utilizados son: cultivos en agua como raíz flotante y el NFT (Nutrient Film Technic), sistemas de columnas, aeroponía, entre otros (Alvarado, 2001).

En síntesis, el cultivo de plantas sin suelo, puede ser desarrollado de la manera más simple y económica, hasta la más compleja y costosa.

Tabla 3. Técnicas Hidropónicas

TÉCNICA	DESCRIPCIÓN
Recircularte	NFT (técnica de película nutritiva)
Recircularte	DFT (técnica de flujo profundo)
Estacionaria	Raíz flotante
Aérea	Spray
<u>Con sustrato</u>	<u>Inorgánicas y Orgánicas</u>

Fuente: Alvarado (2001).

1.2.3. Sistema hidropónico NFT

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

El sistema NFT es una técnica cultural en donde las plantas son cultivadas con su sistema radicular sumergido en una lámina de agua, por la cual circula continuamente la solución nutritiva.

En el caso de la hidroponía, las raíces están adaptadas para respirar bajo el agua, absorber nutrientes, crecer y desarrollarse.

Las funciones de la lámina de agua son dos: evitar que la solución nutritiva esté lejos de las raíces y favorecer la aireación.

La NFT (técnica de la película de nutriente) comprende una serie de diseños, cuyo principio básico es la continua circulación de una lámina muy delgada de solución nutritiva a través de las raíces de las plantas.

Además, por utilizar una delgada lámina de solución nutritiva, la estructura de la instalación puede ser más liviana comparada con otros sistemas hidropónicos, lo que permite reducir los costos de mantenimiento e instalación (Sánchez, 2004).

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

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

1.2.4. Sistema hidropónico de raíz flotante

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

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

En este tipo de sistema hidropónico, las plantas están soportadas en una plancha de duroport perforado para permitir el paso de las raíces hacia el medio líquido.

Este sistema ha sido probado en diferentes lugares con fines comerciales y su funcionamiento básico sigue vigente hasta la actualidad. A nivel comercial se realizaron una serie de mejoras fundamentales relacionadas principalmente al factor limitante que es la oxigenación (Rodríguez, 2004).

1.2.5. Nutrición de las plantas

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.

Los 16 elementos considerados como esenciales para el desarrollo y crecimiento de las hortalizas, se dividen en macronutrientes, requeridos en grandes cantidades y los micronutrientes, requeridos en menor cantidad.

Tabla 4. Macronutrientes y micronutrientes

ELEMENTO	SÍMBOLO	PESO ATÓMICO
Hidrogeno	H	1
Carbono	C	12
Oxigeno	O	16
<u>MACRONUTRIENTES</u>		
Nitrógeno	N	14
Fosforo	K	39
Potasio	Ca	40
Calcio	Mg	24,3
Magnesio	P	31
Azufre	S	32,7
<u>MICRONUTRIENTES</u>		
Cloro	Cl	35,46
Boro	B	10,8
Hierro	Fe	55,85
Manganeso	Mn	55
Zinc	Z	65,4
Cobre	Cu	63,5
Molibdemo	Mo	96

Fuente: Resh (2005)

1.2.5.1. Funciones de los elementos nutritivos en las plantas

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

Tabla 5. Los elementos nutritivos para las plantas son los siguientes:

ELEMENTO	ABSORBIDO EN FORMA	FUNCIONES
Nitrógeno	NO ₃ y NH ₄	Da el color verde intenso a las plantas. Fomenta el rápido crecimiento. Aumenta la producción de hojas. Mejora la calidad de las hortalizas.
Fosforo	P ₃ O ₅	Estimula la rápida formación y crecimiento de las raíces. Acelera la maduración y estimula la coloración de los frutos. Ayuda a la formación de semillas.
Potasio	K ₂ O	Otorga a las plantas gran vigor y resistencia contra las enfermedades y bajas temperaturas. Ayuda a la producción de proteína de las plantas. Aumenta el tamaño de las semillas. Mejora la calidad de los frutos. Ayuda al desarrollo de los tubérculos.
Calcio	Ca O	Activa la temprana formación y el crecimiento de las raicillas.
Magnesio	Mg O	Es componente esencial de la clorofila. Es necesario para la formación de los azúcares. Ayuda a regular la asimilación de otros nutrientes. Actúa como transportador del fosforo dentro de las plantas.
Cobre	Cu	El 70% se concentra en la clorofila y su función más importante se aprecia en la asimilación.
Boro	B	Aumenta el rendimiento o mejora la calidad de las frutas, verduras y forrajes, está relacionado con la asimilación del calcio y con la transferencia del azúcar dentro de las plantas.
Hierro	Fe	No forma parte de la clorofila, pero está ligado con su biosíntesis.
Magnesio	Mg	Acelera la germinación y la maduración. Aumenta el aprovechamiento del calcio, magnesio y el fosforo. Cataliza en la síntesis de la clorofila y ejerce funciones en la fotosíntesis.
Molibdeno	Mo	Es esencial en la fijación del nitrógeno que hacen las legumbres.

Fuente: Huterwal (1991).

1.2.5.2. Soluciones utilizadas en hidroponía

La solución nutritiva es 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 (Marulanda, 2003).

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, una formulación óptima de nutrientes depende de las siguientes variedades: Especie y variedad de la planta, estado de desarrollo de la planta, parte de la planta a ser cosechada, clima y temperatura.

La solución debe circular entre 1 a 2 L//min y no debe permanecer por más de tres a cuatro semanas en el sistema (Rodríguez, 2004).

1.2.6. Factores a considerar en la producción de cultivos hidropónicos

1.2.6.1. Calidad del agua

El agua en hidroponía debe de ser potable de buena calidad y con bajos contenidos de cloro, el cual en concentraciones altas causa toxicidad a la planta. Se debe evitar el uso de aguas duras, ya que estas contienen calcio y magnesio (Resh, 2006).

1.2.6.2. Temperatura

Una característica de la NFT, es la facilidad con la que la temperatura de la raíz puede ser manipulada para satisfacer los requerimientos de los cultivos. Es importante mantener las soluciones entre 13 y 15°C con el fin de prevenir una absorción reducida de nutrimentos (Guzmán, 2004).

1.2.6.3. pH

El rango conveniente de pH que permite a las plantas una absorción adecuada de los elementos nutritivos sin riesgo de carencias de ninguno de ellos es de 6,5.

El rango conveniente de pH que permite a las plantas una absorción adecuada de los elementos nutritivos sin riesgo de carencias de ninguno de ellos es de 6,5 (Guzmán,

2004). Conocer el pH que rodea a las raíces es de extrema importancia para el adecuado crecimiento de las plantas. La mayoría de las plantas crecen muy bien con una solución nutritiva que tenga un pH de 5,0 a 6,5.

Tabla 6. Niveles de ph para los diferentes tipos de cultivo

5,5,-6,5	Apio, Frutilla, Acelga, Perejil, Repollo, Tomate, Espinaca , Lechuga
----------	--

Fuente: Rodríguez (2004).

1.2.6.4. Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad indica el contenido de sales en la solución. El rango de conductividad eléctrica para uso adecuado del cultivo se encuentra entre 1.5 a 2.5 ms/cm. Se recomienda realizar esta evaluación por lo menos una vez por semana en las etapas de post – almácigo y trasplante definitivo (Urrestarazu, 2004).

Si la solución nutritiva supera el rango óptimo de conductividad eléctrica se debe agregar agua o en caso contrario si se encuentra por debajo del rango óptimo deberá renovarse totalmente. La medición de este parámetro se puede realizar con un medidor portátil denominado conductímetro, el cual calibrarse según las indicaciones de su proveedor, para evitar errores en el manejo de la solución (Rodríguez, 2004).

Tabla 7. Conductividad del agua (valores de referencia)

CULTIVO	PLANTIN CE (ms/cm)	ADULTO CE (ms/cm)
Lechuga	1,1 – 1,9	1,5 – 2,5
Tomate	1,9 – 2,3	2,5 – 3,0
pepino	2,3 – 2,6	3,0 – 3,5
Melón	2,3 – 2,6	3,0 – 3,5

Fuente: IIITAM, (2014).

1.2.6.5. El oxígeno en la solución nutritiva.

La falta de oxigenación produce la fermentación de la solución y como resultado la pudrición de la raíz, originada por la aparición de microorganismos. Una raíz sana y bien oxigenada debe ser blanquecina, de lo contrario esta se torna oscura debido a la muerte del tejido radicular. La oxigenación puede ser manual (agitando la solución manualmente por algunos segundos por lo menos dos veces al día, cuando las temperaturas son altas se requiere mayor oxigenación) o mecánica mediante una compresora, inyectando aire durante todo el día (Rodríguez, 2004).

1.2.6.6. Vida útil de la solución

La vida útil de la solución nutritiva dependerá de las correcciones oportunas que se hagan durante las lecturas de pH, CE y el nivel de agua, como también se tiene rangos de 15 a 30 días, según el suministro de nutrientes de un cultivo (Guzmán, 2004).

1.2.7. Prueba de Hipótesis

En Los procesos prácticos o investigación del área agropecuaria es común tener que efectuar comparaciones entre dos medias de muestras aleatorias de una misma o diferente población bajo algún parámetro en estudio. Por ejemplo, el comportamiento bajo una dieta para el macho y la hembra de una especie, El maíz criollo de una zona contra algún material mejorado, o la comparación entre diferentes razas de animales, o dos sistemas de poda en una especie frutal en diferentes huertos (Valdez, 2017).

Etapas básicas para la prueba de hipótesis (Valdez, 2017).

- ✓ Se establece la hipótesis (F de Fisher) $H_0: XA = XB = XC$ (no hay diferencias entre los tratamientos).
- ✓ Establecer el nivel de significación o sea la probabilidad con que se trabajara (5% y 1%).
- ✓ Determinar los grados de libertad del elemento en cuestión y los del error experimental

Pasos a seguir para la prueba de hipótesis:

1.- Cálculo de la varianza S^2

$$S^2a = \frac{\sum a^2 - \frac{(\sum a)^2}{n^\circ}}{n^\circ - 1} \quad S^2b = \frac{\sum b^2 - \frac{(\sum b)^2}{n^\circ}}{n^\circ - 1} \quad S^2c = \frac{Gl_a(S^2a) - Gl_b(S^2)}{(n^\circ a - 1) + (n^\circ b - 1)}$$

2.- Calculo de la “F” Fisher. - Se determinan las varianzas S^2a y S^2b y se toma la varianza mayor y se la divide en la varianza menor para determinar si las varianzas son homogéneas o heterogéneas.

$$F = \frac{S^2_{mayor}}{S^2_{menor}}$$

Tomando este valor se lo compara con la F calculada y la F tabulada (5%)

Si: $F_c \leq F_t$: Entonces las varianzas son homogéneas

Si: $F_c > F_t$: Entonces las varianzas son heterogéneas

3.- Cálculo de la tc de student

Se pueden distinguir 4 casos a saber:

1. Caso de $n_a = n_b$ y $s^2a = s^2b$ (Número de casos iguales con varianzas homogéneas)
2. Caso de $n_a = n_b$ y $s^2a <> s^2b$ (Números de casos iguales con varianzas heterogéneas)
3. Caso de $n_a <> n_b$ y $s^2a = s^2b$ (Número de casos desiguales con varianzas homogéneas)
4. Caso de $n_a <> n_b$ y $s^2a <> s^2b$ (Número de casos desiguales con varianzas heterogéneas)

Caso 1

$$tc = \frac{\bar{x}_a - \bar{x}_b}{\sqrt{2 \frac{s^2a + s^2b}{\frac{2}{n}}}}$$

Caso 2

$$tc = \frac{\bar{x}_a - \bar{x}_b}{\sqrt{\frac{s^2a + s^2b}{n}}}$$

Caso 3

$$tc = \frac{\bar{x}_a - \bar{x}_b}{\sqrt{\frac{s^2c}{na} + \frac{s^2c}{nb}}}$$

Caso 4

$$tc = \frac{\bar{x}_a - \bar{x}_b}{\sqrt{\frac{s^2a}{na} + \frac{s^2b}{nb}}} \quad tg = \frac{ta \frac{s^2a}{na} + tb \frac{s^2b}{nb}}{\frac{s^2a}{na} + \frac{s^2b}{nb}}$$

4.- Aceptación o rechazo de la hipótesis

$t_c \leq t_t$ NS (No existe diferencias)

$t_c > t_t$ * 5 % (Existe diferencias significativas)

$t_c > t_t$ * * 1% (Existe diferencias altamente significativas)

$t_c > t_t$ *** 0,1 % (Existe diferencias muy altamente significativas)

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

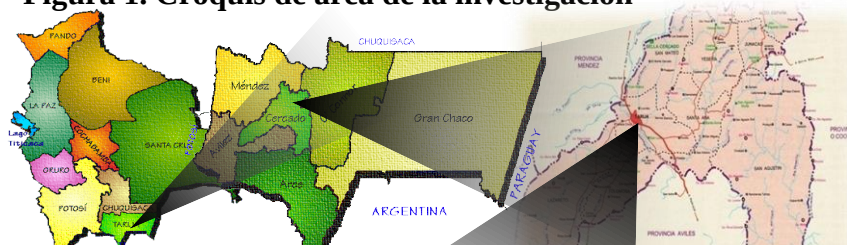
2.1. MATERIALES

2.1.1. Localización

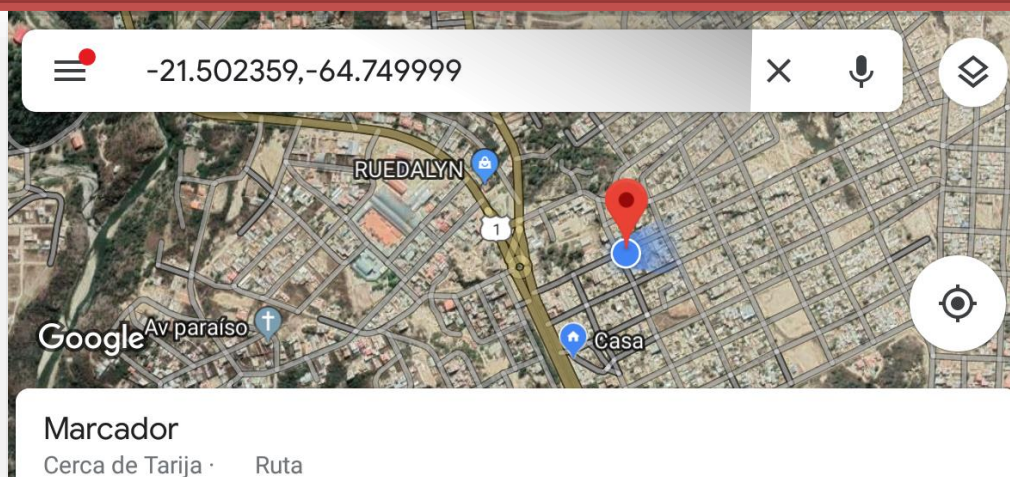
Este trabajo de investigación se realizó en el Barrio 26 de Agosto de la ciudad de Tarija perteneciente a la provincia Cercado, que se encuentra situada en el valle central del departamento de Tarija y limita al norte y oeste con la provincia Méndez, al este limita con la provincia O'Connor y al sur con las provincias Aviles y Arce.

Geográficamente la provincia cercada está situada entre las coordenadas Latitud S.: $21^{\circ} 32' 48''$, Longitud W.: $64^{\circ} 42' 39''$ con una Altura 1.849 m.s.n.m (SENAMHI, 2018).

Figura 1. Croquis de área de la investigación



Ubicación geográfica del experimento, Provincia Cercado del departamento de Tarija, Zona 26 de Agosto



Fuente: Elaboración propia

2.1.1.1. Clima

Tiene un clima cálido y seco característico de los valles. La temperatura promedio es de 18 grados centígrados. En invierno se presentan vientos fríos del Sur que producen descensos bruscos de temperatura, que se denominan "surazos".

Cuadro 1. Resumen Climatológico del Departamento de Tarija - Provincia Cercado

Índice	Unidad	ANUAL
Temperatura Máxima Media	°C	26,1
Temperatura Mínima Media	°C	9,7
Temperatura Media	°C	17,9
Humedad Relativa	%	60
Nubosidad Media	Octas	4
Insolación Media	Hrs	6,7
Presión Barométrica	hPa	814,0
Precipitación	mm	599,5
Velocidad del viento	km/hr	6,0

Fuente: SENAMHI (2018).

2.1.2. Material vegetal

Semillas de espinaca (*Spinacea oleracea* L.) variedad Pipa

Origen	Japón
Control de calidad	Lote. 07WT
Pureza física mínima	98%
Porcentaje de Germinación	85%
Peso	10gr
Año cosecha	2019

2.1.3. Materiales para la construcción del sistema hidropónico NFT

Para la instalación del sistema NFT se utilizó los siguientes materiales que se darán a continuación:

Materiales	Unidad	Cantidad
Tubos PVC de 4" de diámetro	Pieza	3
Tubos PVC de 1 1/2" de diámetro	Pieza	1
Tubos PVC de 1/2" de diámetro	Pieza	1
Tapas de tubo de 4" de diámetro	Pieza	6
Reductor PVC de 4" a 2 " de diámetro	Pieza	6
Reductor PVC de 2" a 1 1/2 " de diámetro	Pieza	6
Codos de 1 1/2" de diámetro	Pieza	7
T de 1 1/2" de diámetro	Pieza	6
tacho de agua de 100 L	Pieza	1
Bomba de agua de 0,5 HP de potencia	Pieza	1
Micro tubo de 6mm de diámetro	m	5
Cinta teflón	Caja	2
Pegamento PVC	Pieza	2
Emisores	Pieza	6
Polytubo flexible de 1/2" de diámetro	m	2
Codos de 1/2" de diámetro	Pieza	4
T de 1/2" de diámetro	Pieza	2
Unión universal de 1" de diámetro	Pieza	3
Reductor de 1" a 1/2 " de diámetro	Pieza	2
filtro de malla	Pieza	1
Cable N° 10	m	20
Térmico	Pieza	1
Fierro angular	Pieza	3
Electrodo	Kg	1
Temporizador	Pieza	1

2.1.4. Materiales para la construcción del sistema hidropónico de raíz flotante

Para la instalación del sistema de raíz flotante se utilizó los siguientes materiales que se darán a continuación:

Materiales	Unidad	Cantidad
Madera tableada de 3 x 0,40 m	Pieza	3
Fierro angular	Pieza	1
Plastaformo de 2 x 1 m	Pieza	1
Plástico negro	m ²	3
Electrodo	Kg	0,5
Bomba de aire	Pieza	1
Cable N° 10	m	5
Temporizador	Pieza	1
Micro tubo de 6mm de diámetro	m	5
Difusores de aire	Pieza	4

2.1.5. Materiales para la construcción del invernadero

Para la construcción del invernadero se utilizó los siguientes materiales que se darán a continuación:

Materiales	Unidad	Cantidad
Malla antiafidos	m ²	48
Fierro de construcción	Barra	32
Alambre de acero galvanizado	Kg	5
Electrodos	Kg	2

2.1.6. Materiales para la construcción de la cama flotante de raíz flotante

Para la instalación del sistema de la cama flotante se utilizó los siguientes materiales que se darán a continuación:

Materiales	Unidad	Cantidad
Plastaformo de 1 x 0,5 m	Pieza	3
Plástico negro	m ²	2
Bomba de aire	Pieza	1
Micro tubo de 6mm de diámetro	m	3
Difusores de aire	Pieza	2

2.1.7. Materiales de laboratorio

- Solución nutritiva
- pH metro
- Conductímetro
- Balanza
- Jeringa
- Probetas

2.2. Metodología

Este trabajo de investigación se comparó, el sistema hidropónico NFT con el sistema hidropónico de raíz flotante para ello se realizó una prueba de hipótesis para determinar cuál de estos tratamientos da el mayor rendimiento en el cultivo de la espinaca (*Spinacea oleracea* L.).

Para la metodología se utilizó la prueba de hipótesis.

2.2.1. Características del diseño

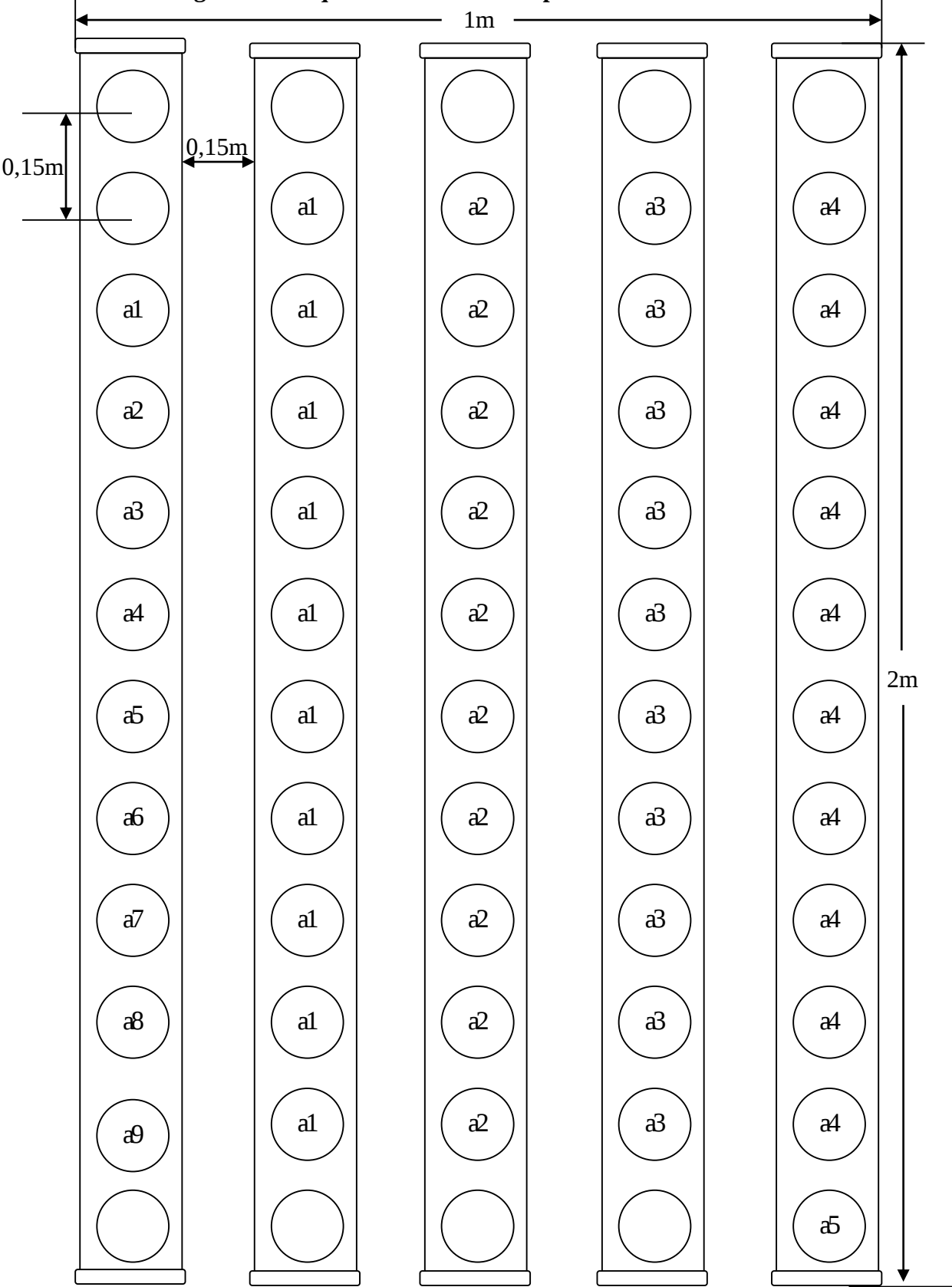
– Numero de tratamientos	2
– Numero de réplicas	50
– Población total de planta establecidas	100 plantas

2.2.2. Descripción de los tratamientos. -

Los tratamientos se describen a continuación:

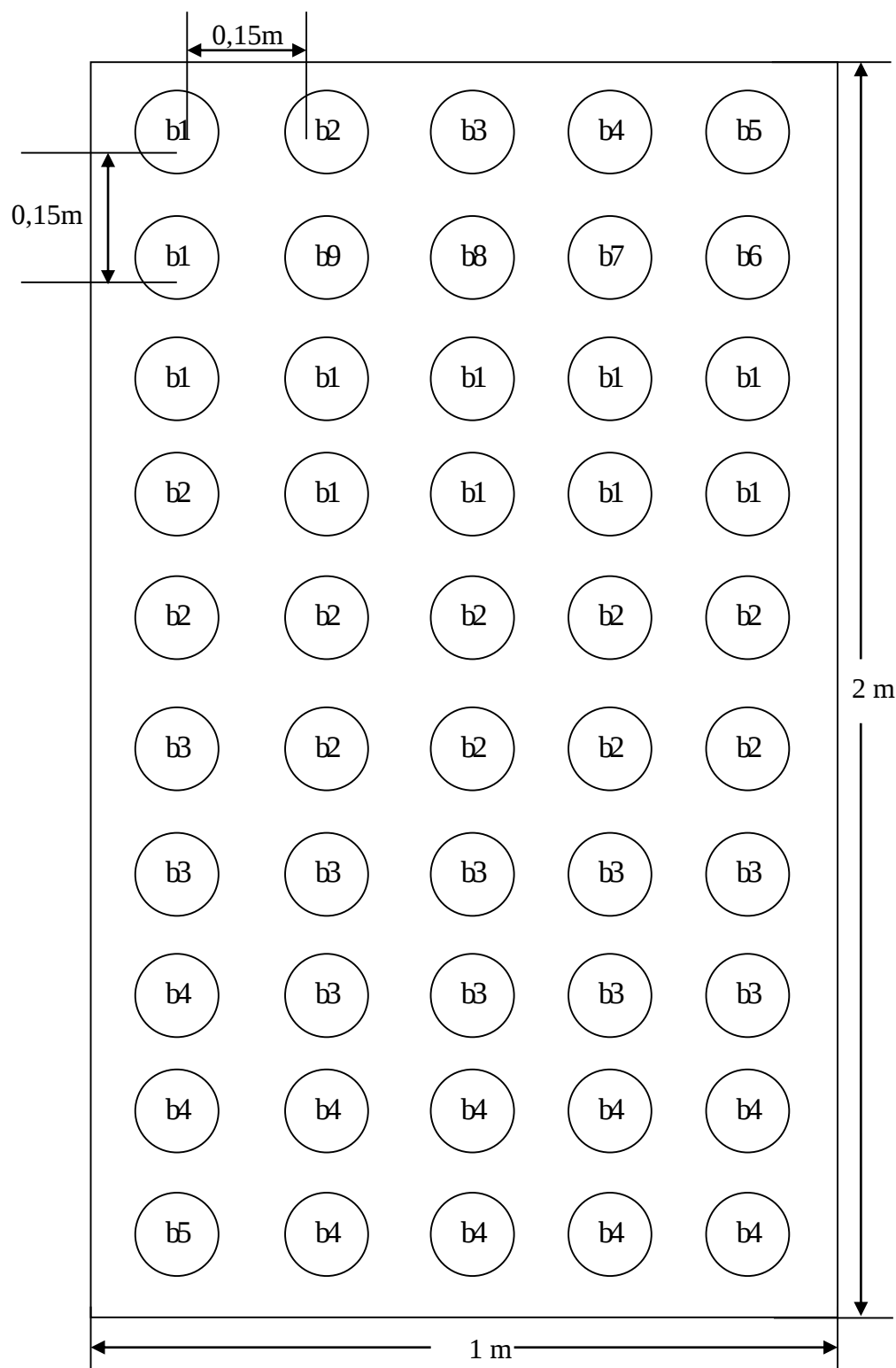
- Tratamiento 1 = Sistema hidropónico NFT (a)
- Tratamiento 2 = Sistema hidropónico de raíz flotante (b)

Figura 2. Croquis del sistema hidropónico NFT

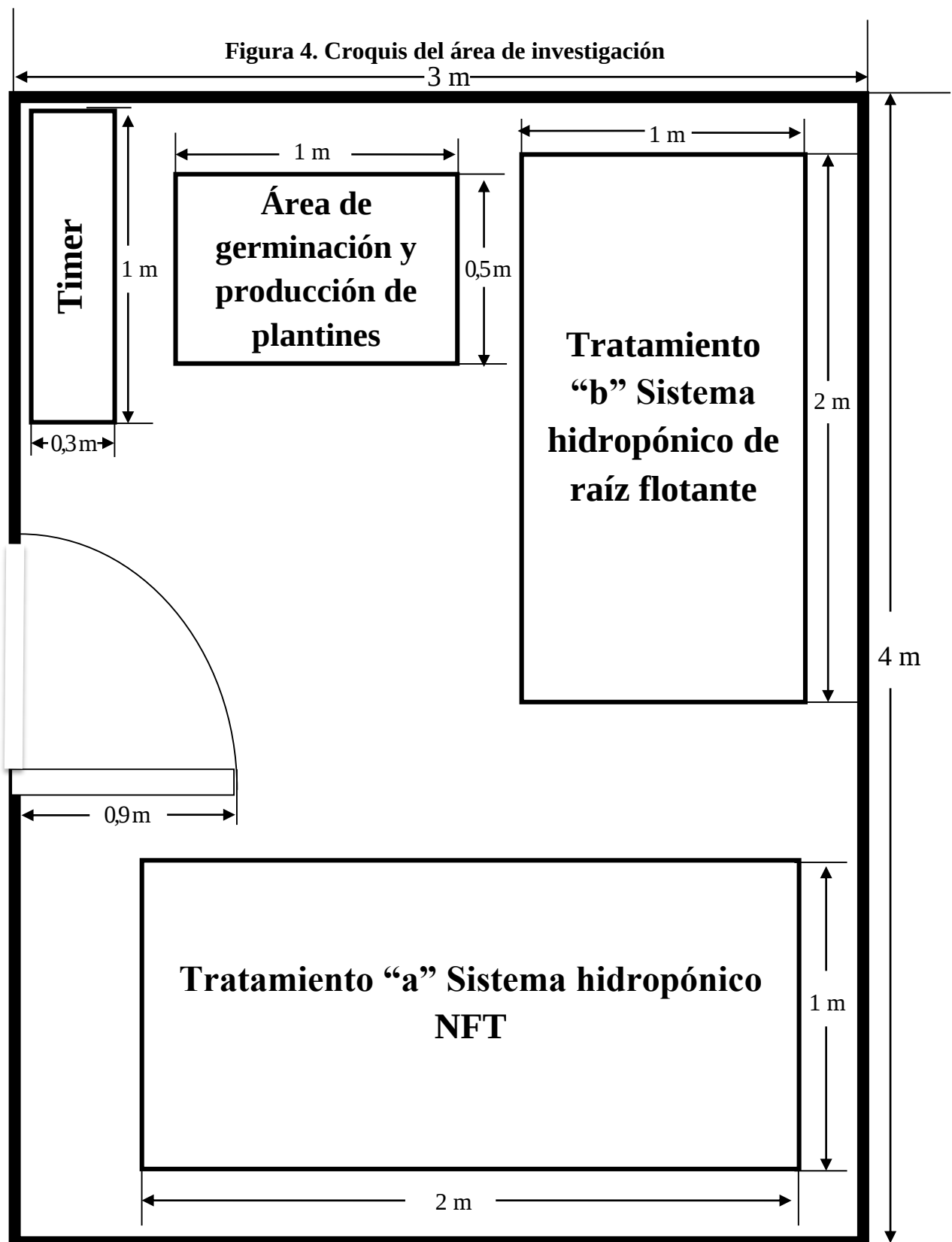


Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Croquis del sistema hidropónico de raíz flotante



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

2.5. Desarrollo de la investigación

2.5.1. Elaboración del invernadero y malla antiafidos

Se realizó la elaboración de la carpa con fierro corrugado en la cual se ejecutó con las siguientes medidas: 3m de largo, 4m de ancho y 3m de alto, posteriormente se cubrió el invernadero con malla antiáfidos.

2.5.2. Instalación del sistema hidropónico NFT (Técnica de la película de nutrientes)

Para una adecuada instalación se siguieron los siguientes pasos:

a) Construcción del soporte para el sistema hidropónico NFT

Se armó el soporte con fierro angular, con medidas: 1,60 m de largo, 1,20 m de ancho y 1,50 m de altura la cuales fueron sujetadas con pernos.

b) Construcción de los canales de cultivo

Los canales de cultivo fueron constituidos con 6 tubos de PVC de diámetro de 4 in y con un largo de 2 m y se abrieron orificios de 4 cm de diámetro para las plantas, separados a 20 cm entre planta y planta. Los canales de cultivo en los dos extremos se taparon para evitar el derrame. Todos los canales de cultivo reposaron en el soporte de fierro, de medidas: 1,60 m de largo, 1,20 m de ancho y 1,50 m de altura, separados una de otra por 0,20 m.

c) Instalación del sistema de distribución

El canal de distribución se construyó con tubos de PVC de diámetro de ½ in, más un sistema venturi para la oxigenación de la solución nutritiva después se procedió a la instalación de los tubos departidores de la solución, colocando micro tubos de 6 mm de diámetro con sus respectivos emisores.

d) Instalación del sistema de retorno o tubería colector

Una vez instalado el sistema de distribución, se procedió a la instalación del sistema de retorno con reducciones sucesivas de 4 in a 2 in, 2 in a 1 ½ in al final de los canales de cultivo con el fin de tener una lámina de riego constante en los canales de cultivo.

Posteriormente se utilizó codos de 1 ½ in colocados con tubos de PVC de la misma medida y con codos de t 1 ½ in para unir todos los canales de cultivo para el retorno de la solución nutritiva al tanque recolector

f) Bomba de agua

La bomba tiene una potencia de ½ HP, la cual se instaló en el tanque recolector y También tiene dos llaves una para retorno directo al tanque y otra para regular la distribución del caudal de la solución nutritiva.

2.5.3. Instalación del sistema hidropónico de raíz flotante. -

a) Construcción de la cama flotante

Se realizó la construcción de una cama flotante de madera y fierro, cuyas dimensiones fueron de 1m de ancho y 2 m de largo, luego se puso plástico negro para la retención de la solución nutritiva.

b) Armado del sistema de sostén de las plantas

El armado del sistema de sostén de las plantas se realizó con plastaformo de 1 m de ancho y 2m de largo donde se abrieron orificios de 4 cm de diámetro para las plantas, separados a 15 cm entre planta y planta.

c) Sistema de bombeo

El sistema de bombeo se lo realizo con bombas de aire de pecera con difusores de aire colocadas en la cama flotante

2.5.4. Instalación de la cama flotante para la producción de platines

a) Construcción de la cama flotante

Se realizó la construcción de una cama flotante con plastaformo, cuyas dimensiones fueron de 0.5 m de ancho y 1 m de largo, luego se puso plástico negro para la retención de la solución nutritiva.

b) Armado del sistema de sostén plantas

El armado del sistema de sostén de las plantas se realizó con plastiforma de 0,5 m de ancho y 1m de largo donde se abrieron orificios de 2 cm de diámetro para las plantas, separados a 8 cm entre planta y planta.

c) Sistema de bombeo

El sistema de bombeo se lo realizó con bombas de aire de pecera con difusores de aire colocadas en la cama flotante

2.5.5. Instalación del temporizador

Se instaló un temporizador con programación en base al circuito de arduino uno siguiendo la siguiente programación de tiempo:

Cuadro 2. Temporizador para el bombeo de aire del sistema hidropónico de raíz flotante

Tiempo en min.		Tiempo parcial
Encendido	Apagado	
08:00 – 08:30	08:30 – 10:00	30 min
10:00 – 10:30	10:30 – 12:00	30 min
12:00 – 12:30	12:30 – 13:00	30 min
13:00 – 13:30	13:30 – 14:00	30 min
14:00 – 14:30	14:30 – 16:00	30 min
16:00 – 16:30	16:30 – 18:00	30 min
18:00 – 18:30	18:30 – 20:00	30 min
20:00 – 20:30	20:30 – 08:00	30 min
Tiempo total de riego diario		4 horas

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3. Temporizador para el riego del sistema hidropónico NFT

Tiempo en min.		Tiempo parcial
Encendido	Apagado	
07:00 – 07:15	07:15 – 08:00	15 min
08:00 – 08:15	08:15 – 09:00	15 min
09:00 – 09:15	09:15 – 10:00	15 min
10:00 – 10:15	10:15 – 11:00	15 min
11:00 – 11:15	11:15 – 11:30	15 min
11:30 – 11:45	11:45 – 12:00	15 min
12:00 – 12:15	12:15 – 12:30	15 min
12:30 – 12:45	12:45 – 13:00	15 min
13:00 – 13:15	13:15 – 13:30	15 min
13:30 – 13:45	13:45 – 14:00	15 min
14:00 – 14:15	14:15 – 14:30	15 min
14:30 – 14:45	14:45 – 15:00	15 min
15:00 – 15:15	15:15 – 15:30	15 min
15:30 – 15:45	15:45 – 16:00	15 min
16:00 – 16:15	16:15 – 17:00	15 min
17:00 – 17:15	17:15 – 18:00	15 min
18:00 – 18:15	18:15 – 19:00	15 min
19:00 – 19:15	19:15 – 20:00	15 min
20:00 – 20:15	20:15 – 21:00	15 min
21:00 – 21:15	21:15 – 07:00	15 min
Tiempo total de riego diario		5 horas

Fuente: Elaboración propia

2.5.6. Preparación de la solución nutritiva

Se preparó la solución nutritiva obtenida del Instituto de Investigación e Innovación Tecnológica en Agricultura Moderna.

Para preparar 1000 litros de solución nutritiva para cultivo hidropónico se utilizan los siguientes fertilizantes:

Cuadro 4. Detalle de las cantidades de los nutrientes

FERTILIZANTE		CANTIDAD REQUERIDA
SOLUCIÓN CONCENTRADA “A”	(A1) Nitrato de Potasio	588.4 gr
	(A2) Fosfato monoamónico	157.3 gr
	(A3) Nitro-S	52.8 gr
SOLUCIÓN CONCENTRADA “B”	(B1) Sulfato de Magnesio	493.4 gr
	(B2) Sulfato de Potasio	64.3 gr
(B3) Sales minerales fuente de micronutrientes	(B3) Ácido bórico	2.922 gr
	(B3) Sulfato de manganeso	1.6 gr
	(B3) Sulfato de cobre	0.63 gr
	(B3) Sulfato de Zinc	0.68 gr
	(B3) Molibdato de amonio	0.10 gr
	(B4) Quelato de hierro EDDHA-6%Fe	17.0 gr
SOLUCION CONCENTRADA “C”	(C1) Nitrato de calcio	912.4 gr

Fuente: IIITAM, (2014).

Cuadro 5. Dosificación de los nutrientes según su grado de desarrollo

SEMANA	1 – 4	4 en adelante
Dosis de solución concentrada “A” / 1L de agua	2,5 ml	5 ml
Dosis de solución concentrada “B” / 1L de agua	5 ml	5 ml
Dosis de solución concentrada “C” / 1L de agua	2,5 ml	5 ml

Fuente: IIITAM, (2014).

2.5.7. Siembra en almacigo

Se preparó las bandejas de germinación, realizando la desinfección del mismo con lavandina (10 ml de lavandina en 1 L de agua)

Seguidamente se preparó las esponjas cortando con estilete en forma de cubitos de 3 cm x 3 cm con un espesor de 3 cm, en el medio de la esponja se hizo un hueco de profundidad de 1cm para depositar la semilla.

Posteriormente se realizó la desinfección de las esponjas con vinagre (1 L de vinagre en 10 L de agua), posterior a ello se realizó 8 enjuagues con agua.

Desinfectado las esponjas se procedió después a meterlas en agua para humedecerlas, después se pusieron en las bandejas de germinación, para meter una semilla en cada cubito de esponja

Después de 7 días se trasplanto a una cama de raíz flotante donde permanecieron por 20 días.

2.5.8. Trasplante definitivo

2.5.8.1. Para el trasplante definitivo en el sistema hidropónico NFT

Se consideró los siguientes aspectos:

Se desinfectó los canales de circulación, con lavandina (10 ml de lavandina en 1 L de agua), después se enjuagando con abundante agua.

Luego se añadió 80 L de agua al tanque recolector donde se dejó reposar por un día para quitar el cloro del agua, posteriormente se incorporó las soluciones concentradas A, B y C con la dosificación para plantas de 4 meses en adelante como se detalla en el cuadro 5.

Seguidamente se trasplantó los plantines, verificando que la raíz tenga contacto con la solución nutritiva que circulaba en el sistema. Se trasplantó un total de 52 plantines de espinaca (*Spinacea oleracea* L.).

2.5.8.2. Para el trasplante definitivo al sistema hidropónico de raíz flotante

Se consideró los siguientes aspectos:

Se desinfectó la cama flotante, con lavandina (10 ml de lavandina en 1 L de agua), enjuagando con abundante agua.

Luego se añadió 150 L de agua a la cama flotante se dejó reposar por un día para quitar el cloro del agua, posteriormente se incorporó las soluciones concentradas A, B y C con la dosificación para plantas de 4 meses en adelante como se detalla en el cuadro 5.

Seguidamente se colocaron los vasitos de soporte donde se trasplantó los plantines, verificando que la raíz tenga contacto con la solución nutritiva, se trasplantó un total de 55 plantines de espinaca (*Spinacea oleracea* L.).

2.5.9. Renovación de solución nutritiva

Para este experimento o investigación se renovó la solución nutritiva de cada tratamiento, cada 15 días debido al descenso o aumento del pH y de la conductividad eléctrica en los tratamientos.

2.5.10. Manejo del pH de la solución nutritiva

El pH recomendado según IIITAM, (2014) es de 5,5 a 6,5 valor óptimo para la absorción de nutrientes.

Con respecto al manejo del pH primeramente se bajó el pH del agua antes de poner las soluciones concentradas.

Se preparó una solución diácida según IIITAM, (2014) en la cual se utilizaron ácido fosfórico 138ml y ácido nítrico en 10 L de agua.

Antes de añadir las soluciones concentradas, se bajó el pH del agua que era de 6,9 a 7,1 por lo cual se añadió la solución diácida hasta alcanzar un rango de pH de 6 a 6,2 después recién se añadió las soluciones concentradas A, B y C.

Se tomaron datos luego de preparar la solución nutritiva, donde se pudo apreciar que a partir de la segunda semana el pH fue bajando en ambos tratamientos, alcanzando un

pH de 5,8 en el sistema hidropónico de raíz flotante y un pH 5,6 en el sistema hidropónico de NFT para lo cual se añadió soda caustica (Hidróxido de sodio) con una solución de 10 g de Na OH en un 1 L de agua, a la solución nutritiva hasta llegar a un rango de 6,3 a 6,5 de pH, esto se realizó en ambos tratamientos.

2.5.11. Manejo de la conductividad eléctrica

Con respecto al manejo de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva según IIITAM, (2014) debe mantenerse en rangos de 1,8 a 3 ms/cm (1800 - 3000µs/cm) para plantas de 4 meses en adelante y 1,3 a 2,3 ms/cm (1300 - 2300µs/cm) en plantas de 1 a 4 meses.

Se tomaron datos de la conductividad eléctrica, teniendo como resultado cambios a partir del tercer día, con reducción de 0.1 ms/cm por lo cual se añadió más solución concentrada A, B y C hasta alcanzar un rango de 2,5 a 3 ms/cm.

2.5.12. Control de la temperatura de la solución nutritiva

Se tomaron datos de la temperatura por día de la solución nutritiva teniendo como resultado 26 °C que esta fue la temperatura más alta en el ciclo del cultivo.

2.5.13. Plagas y enfermedades

No se observó enfermedades ni plagas que afectaran al cultivo de la espinaca (*Spinacea oleracea* L.) en todo su ciclo.

2.6. Cosecha

La cosecha realizo a los 62 días después de la germinación de la semilla cuando el cultivo ya estaba en su madurez comercial.

2.7. Variables respuesta

Porcentaje de germinación

El dato se tomó a los 7 días para determinar el porcentaje de germinación, se realizó con un conteo de manera visual.

Largo de la hoja

La determinación del largo de la hoja por tratamiento se realizó considerando la medición desde el peciolo hasta la punta de la hoja, de todas las plantas

Ancho de la hoja

Los datos fueron tomados desde el borde de cada hoja extremo de cada hoja por tratamiento de todas las plantas

Numero de hojas por planta

Se realizó de forma visual la toma de datos, contando el número de hojas, de todas las plantas por tratamiento.

Peso de las hojas.

El peso de las hojas se determinó por cada planta la cual fue pesada en gramos (gr/planta)

Rendimiento. -

El rendimiento se determinó por los pesos de las hojas por metro cuadrado (kg/cm²)

3.8. Análisis económico

El análisis económico, se realizó en base al análisis de relación beneficio costo (B/C) de la producción en las unidades experimentales por tratamiento de estudio.

En base a los tratamientos propuestos se determinó mediante las siguientes ecuaciones matemáticas (CIMMYT, 1988).

Beneficio bruto (BB)

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

$$BB = R * PP \text{ (Ecuacion 1)}$$

Dónde:

BB = Beneficio Bruto (Bs)

R = Rendimiento Ajustado (Bs)

PP = Precio del producto (Bs)

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, relación proporcionado por CIMMYT, (1988).

Costos fijos (CF)

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.

Costos totales (CT)

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.

$$CT = CV + CF \text{ (Ecuacion 2)}$$

Dónde:

CT = Costos totales

CV = Costos variables

CF = Costos fijos

Beneficio neto (BN)

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

Dónde:

$$BN = B - CP \text{ (Ecuacion 3)}$$

BN = Beneficios Netos (Bs)

BB = Beneficios Brutos (Bs)

CP = Costos de producción (Bs)

Relación beneficio/costo (BC)

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

$$B/C = BB/CP \text{ (Ecuacion 4)}$$

Dónde:

B/C = Beneficio Costo (Bs)

BB = Beneficios Brutos (Bs)

CP = Costos de Producción (Bs)

Relaciones de interpretación:

Cuando la relación B/C es menor a 1, significa que no existe beneficios, por lo tanto cultivar las espinacas bajo condiciones hidropónicas no es rentable; sí la relación B/C es igual a 1 los beneficios logrados solo compensan los costos de producción, por lo tanto se debe analizar bien si se puede mejorar esta relación mejorando el sistema o ampliando el área productiva, y cuando la relación B/C es mayor a 1, los beneficios son mayores que los costos parciales de producción, por lo tanto este tipo de producción es rentable (Mokate, 1988).

Cuando:

$(B/C) > 1$ Aceptable

$(B/C) = 1$ Dudoso

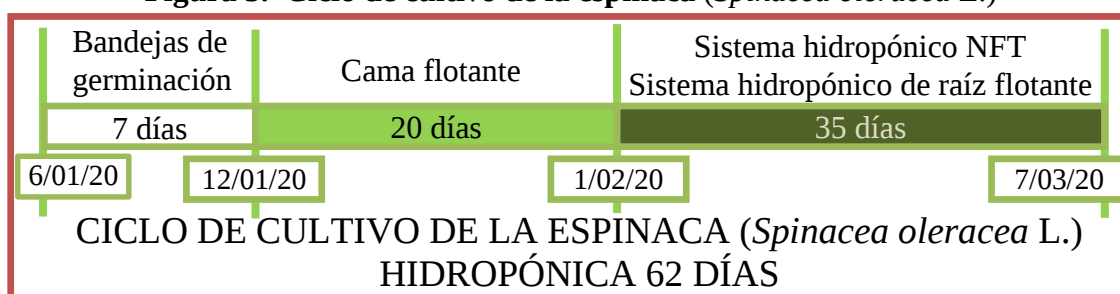
$(B/C) < 1$ Rechazado

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Para tener una mejor comprensión de las variables de respuesta esto se lo dividió en base a las tres etapas: etapa de germinación (bandejas de germinación), etapa de crecimiento inicial (cama de raíz flotante) y etapa de crecimiento final (sistema hidropónico NFT, sistema hidropónico de raíz flotante) con respecto al ciclo de producción de la espinaca (*Spinacea oleracea* L.) Hidropónica de la presente investigación, esto se detalla en la siguiente figura.

Figura 5. Ciclo de cultivo de la espinaca (*Spinacea oleracea* L.)



Fuente: Elaboración propia

3.1. Variables de respuesta

3.1.1. Porcentaje de germinación

El porcentaje de germinación se determinó según el total de semillas germinadas a los 7 días después de la siembra del cultivo de espinaca (*Spinacea oleracea* L.) en bandejas de germinación y los datos se muestran de la siguiente manera:

Cuadro 6. Porcentaje de germinación de las semillas de espinaca (*Spinacea* L.)

Total de semillas plantadas	240
Total de semillas germinadas	180
Porcentaje de germinación de las semillas de espinaca (<i>Spinacea oleracea</i> L.) (%)	75%

Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Largo de la hoja

A continuación, se detalla los datos y resultados de la prueba de hipótesis para el largo de la hoja en los dos diferentes sistemas hidropónicos (NFT y raíz de flotante).)(Ver tabla 8)

En el cuadro 7, se detalla los resultados obtenidos de la prueba de hipótesis para el largo de la hoja, en los diferentes sistemas hidropónicos (NTF y Raíz flotante) del cultivo de la espinaca (*Spinacea oleracea* L.).

Cuadro 7. ANOVA del largo de la hoja del cultivo de la espinaca

(*Spinacea oleracea* L.)

Fuentes de Variación	
Nº replicas	50
Gl	49
S2 a	1,57
S2 b	1,51
Fc	1,04
Ft	1,80
Gl t	98
Tc	0,16
Tt (5%)	1,96

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados obtenidos que se detalla en el cuadro 7 de la prueba de hipótesis, la **Tc = 0,16** es menor que **Tt = 2,26** entonces es posible afirmar que no existe diferencias significativas entre el sistema hidropónico NFT (TRA. “a”) y el sistema hidropónico de raíz flotante (TRA.” b”) para un nivel de significación del 5% de probabilidad en el largo de la hoja

Tabla 8. Tomada de datos del largo de la hoja

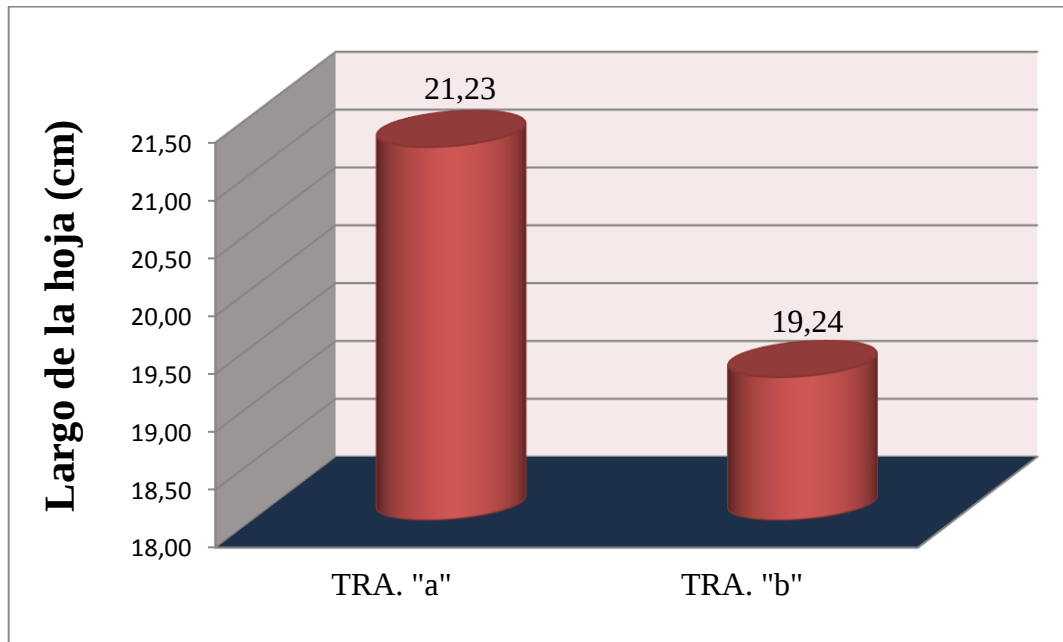
Datos (cm)				
Nº	SISTEMA HIDROPÓNICO NFT "a"	SISTEMA HIDROPÓNICO DE RAÍZ FLOTANTE "b"	a2	b2
1	22,9	18,7	524,41	349,69
2	23,0	18,9	529,00	357,21
3	22,0	18,3	484,00	334,89
4	23,1	19,8	533,61	392,04
5	20,9	17,0	436,81	289,00
6	19,7	18,1	388,09	327,61
7	19,8	17,6	392,04	309,76
8	19,7	20,9	388,09	436,81
9	20,1	19,4	404,01	376,36
10	19,6	20,6	384,16	424,36
11	19,8	19,3	392,04	372,49
12	22,7	17,0	515,29	289,00
13	21,8	20,8	475,24	432,64
14	19,9	20,7	396,01	428,49
15	21,7	20,9	470,89	436,81
16	20,1	18,7	404,01	349,69
17	19,6	19,0	384,16	361,00
18	21,4	19,2	457,96	368,64
19	22,3	17,2	497,29	295,84
20	21,2	18,0	449,44	324,00
21	22,9	19,1	524,41	364,81
22	23,0	18,6	529,00	345,96
23	22,0	20,8	484,00	432,64
24	23,1	20,0	533,61	400,00
25	21,6	20,6	466,56	424,36
26	22,8	19,3	519,84	372,49
27	22,7	18,0	515,29	324,00
28	21,9	20,7	479,61	428,49
29	22,7	19,0	515,29	361,00
30	20,0	20,2	400,00	408,04
31	21,2	20,2	449,44	408,04
32	22,7	18,0	515,29	324,00
33	20,0	18,6	400,00	345,96
34	23,2	19,3	538,24	372,49
35	20,7	18,0	428,49	324,00
36	19,8	19,8	392,04	392,04
37	20,5	19,7	420,25	388,09
38	20,2	20,1	408,04	404,01
39	20,9	19,6	436,81	384,16
40	22,6	20,3	510,76	412,09
41	20,3	19,8	412,09	392,04
42	20,8	19,7	432,64	388,09
43	21,7	20,1	470,89	404,01
44	20,1	19,6	404,01	384,16
45	19,6	19,9	384,16	396,01
46	20,3	18,0	412,09	324,00
47	19,8	20,6	392,04	424,36
48	19,7	19,3	388,09	372,49
49	20,7	15,0	428,49	225,00
50	22,5	19,8	506,25	392,04
Suma	1061,30	961,80	22604,27	18575,20
Promedio	21,23	19,24		

Fuente: Elaboración propia

3.1.2.1. Comparación de medias para el largo de la hoja

En el siguiente cuadro, se comparan gráficamente las medias de los diferentes sistemas hidropónicos NFT (TRA. “a”) y raíz flotante (TRA.” b”)

Figura 6. Comparación de medias para el largo de la hoja



Fuente: Elaboración propia

Según la comparación de medias que se detalla en la figura 6, el mejor tratamiento fue el sistema hidropónico NFT (TRA. “a”), con un aproximado de 21,22 cm promedio en el largo de la hoja, seguidamente del sistema hidropónico de raíz flotante (TRA. “b”), con un aproximado de 19,24 cm promedio en el largo de la hoja.

Según Ticoná (2016), obtuvo resultados en el sistema hidropónico NFT de 20,28 cm en el largo de la hoja de la espinaca (*Spinacea oleracea* L.), por su parte Sirpa, (2008) tuvo resultados en el sistema hidropónico de raíz flotante de 4,90 cm en el largo de la hoja de la espinaca (*Spinacea oleracea* L.).

En la presente investigación se obtuvo resultados mejores en el sistema hidropónico NFT a comparación del estudio realizado por Ticoná (2016), así también Sirpa (2008),

obtuvo resultados inferiores en el sistema hidropónico de raíz flotante dando mejores resultados a la investigación realizada

3.1.3. Ancho de la hoja

A continuación, se detalla los datos y resultados de la prueba de hipótesis para el ancho de la hoja en los dos diferentes sistemas hidropónicos (NFT y raíz de flotante). (Ver tabla 9).

En el cuadro 8, se detalla los resultados obtenidos de la prueba de hipótesis para el ancho de la hoja, en los diferentes sistemas hidropónicos (NTF y Raíz flotante) del cultivo de la espinaca (*Spinacea oleracea* L.).

Cuadro 8. ANOVA del ancho de la hoja del cultivo de la espinaca (*Spinacea oleracea* L.)

Fuentes de Variación	
N° replicas	50
Gl	49
S2 a	0,058
S2 b	0,057
Fc	1,02
Ft	1,80
Gl t	98
Tc	0,13
Tt (5%)	1,96

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados obtenidos que se detalla en el cuadro 8 de la prueba de hipótesis la **Tc = 0,13** es menor que **Tt = 1,96** entonces es posible afirmar que no existe diferencias significativas entre el sistema hidropónico nft (TRA. “a”) y el sistema hidropónico de raíz flotante (TRA.” b”) para un nivel de significación del 5% de probabilidad en el ancho de la hoja.

Tabla 9. Tomada de datos del Ancho de la hoja

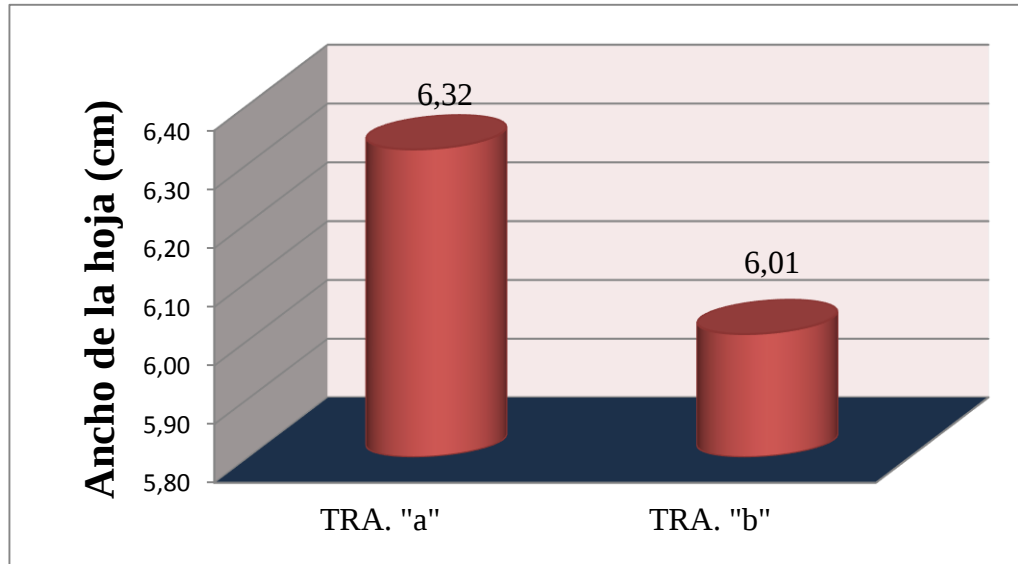
Datos (cm)				
Nº	SISTEMA HIDROPÓNICO NFT "a"	SISTEMA HIDROPÓNICO DE RAÍZ FLOTANTE "b"	a2	b2
1	6,8	6,1	46,24	37,21
2	6,1	5,9	37,21	34,81
3	6,2	5,9	38,44	34,81
4	6,5	6,1	42,25	37,21
5	6,9	5,9	47,61	34,81
6	6,4	6,5	40,96	42,25
7	6,1	6,4	37,21	40,96
8	6,5	5,9	42,25	34,81
9	6,7	6,0	44,89	36,00
10	6,3	6,2	39,69	38,44
11	6,6	6,1	43,56	37,21
12	5,9	6,2	34,81	38,44
13	6,0	6,0	36,00	36,00
14	6,3	5,8	39,69	33,64
15	6,2	6,0	38,44	36,00
16	6,1	6,1	37,21	37,21
17	6,3	6,0	39,69	36,00
18	6,4	6,3	40,96	39,69
19	6,2	5,3	38,44	28,09
20	6,0	6,1	36,00	37,21
21	5,9	5,9	34,81	34,81
22	6,0	5,9	36,00	34,81
23	6,6	5,8	43,56	33,64
24	6,5	6,0	42,25	36,00
25	6,4	5,9	40,96	34,81
26	6,3	6,0	39,69	36,00
27	6,1	6,4	37,21	40,96
28	6,4	6,4	40,96	40,96
29	6,2	6,0	38,44	36,00
30	6,4	5,8	40,96	33,64
31	6,4	5,8	40,96	33,64
32	6,6	6,0	43,56	36,00
33	6,5	5,7	42,25	32,49
34	5,9	6,0	34,81	36,00
35	6,3	6,1	39,69	37,21
36	6,4	6,0	40,96	36,00
37	6,5	6,4	42,25	40,96
38	5,9	6,7	34,81	44,89
39	6,0	5,9	36,00	34,81
40	6,6	5,9	43,56	34,81
41	6,5	5,8	42,25	33,64
42	6,5	6,0	42,25	36,00
43	6,4	6,1	40,96	37,21
44	6,3	5,6	39,69	31,36
45	6,5	5,9	42,25	34,81
46	6,1	6,0	37,21	36,00
47	6,4	5,8	40,96	33,64
48	6,6	6,2	43,56	38,44
49	6,3	5,8	39,69	33,64
50	6,2	5,9	38,44	34,81
Suma	316,20	300,50	2002,50	1808,79
Promedio	6,32	6,01		

Fuente: Elaboración propia

3.1.3.1. Comparación de medias para el ancho de la hoja

En el siguiente cuadro, se comparan gráficamente las medias de los diferentes sistemas hidropónicos NFT (TRA. “a”) y raíz flotante (TRA.” b”)

Figura 7 Comparación de medias para el ancho de la hoja



Fuente: Elaboración propia

Según la comparación de medias que se detalla en la figura 7, el mejor tratamiento fue el sistema hidropónico NFT (TRA. “a”), con un aproximado de 6,32 cm promedio en el largo de la hoja, seguidamente del sistema hidropónico de raíz flotante (TRA. “b”), con un aproximado de 6,01 cm promedio en el ancho de la hoja.

Al respecto Ticona (2016), obtuvo resultados en el sistema hidropónico NFT de 6,18 cm en el ancho de la hoja de la espinaca (*Spinacea oleracea* L.), por su parte Sirpa (2008) tuvo resultados en el sistema hidropónico de raíz flotante de 3,90 cm en el ancho de la hoja de la espinaca (*Spinacea oleracea* L.).

En la presente investigación se obtuvo resultados mejores en el sistema hidropónico NFT a comparación del estudio realizado por Ticona (2016), al respecto Sirpa (2008) también obtuvo resultados inferiores en el sistema hidropónico de raíz flotante, por lo

que sistema hidropónico NFT tiene resultados mejores que el sistema hidropónico de raíz flotante.

3.1.4. Numero de hojas

A continuación, se detalla los datos y resultados de la prueba de hipótesis para el número de hojas por planta en los dos diferentes sistemas hidropónicos (NFT y raíz de flotante). (Ver tabla 10)

En el cuadro 9, se detalla los resultados obtenidos de la prueba de hipótesis para el número de hojas, en los diferentes sistemas hidropónicos (NTF y Raíz flotante) del cultivo de la espinaca (*Spinacea oleracea* L.).

Cuadro 9. ANOVA del número de hojas del cultivo de la espinaca (*Spinacea oleracea* L.)

Fuentes de Variación	
N° replicas	50
Gl	49
S2 a	0,64
S2 b	0,45
Fc	1,43
Ft	1,80
Gl t	98
Tc	0,17
Tt (5%)	1,96

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados obtenidos que se detalla en el cuadro 9 de la prueba de hipótesis la **Tc = 0,17** es menor que **Tt = 1,96** entonces es posible afirmar que no existe diferencias significativas entre el sistema hidropónico NFT (TRA. “a”) y el sistema hidropónico de raíz flotante (TRA.” b”) para un nivel de significación del 5% de probabilidad en el número de hojas

Tabla 10. Tomada de datos del Número de hojas

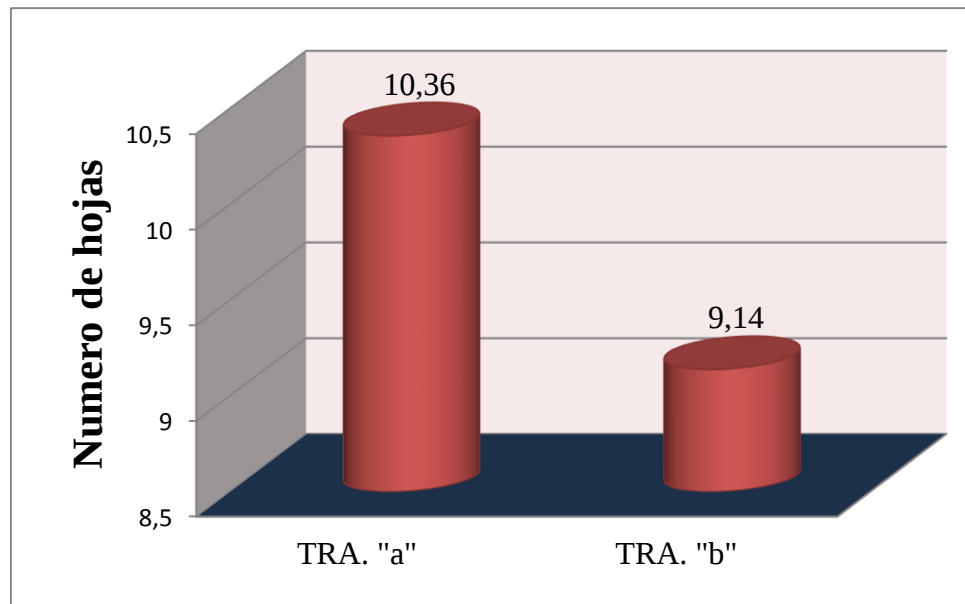
Datos (Numero de hojas /planta)				
Nº	SISTEMA HIDROPÓNICO NFT "a"	SISTEMA HIDROPÓNICO DE RAÍZ FLOTANTE "b"	a2	b2
1	9	10	81	100
2	9	10	81	100
3	11	9	121	81
4	9	9	81	81
5	11	9	121	81
6	10	10	100	100
7	10	10	100	100
8	10	10	100	100
9	11	10	121	100
10	10	9	100	81
11	11	9	121	81
12	11	8	121	64
13	10	9	100	81
14	9	8	81	64
15	9	9	81	81
16	10	9	100	81
17	8	10	64	100
18	10	9	100	81
19	9	10	81	100
20	10	9	100	81
21	10	10	100	100
22	10	10	100	100
23	11	9	121	81
24	10	9	100	81
25	11	10	121	100
26	9	9	81	81
27	10	9	100	81
28	11	8	121	64
29	10	10	100	100
30	10	9	100	81
31	11	10	121	100
32	11	8	121	64
33	11	9	121	81
34	10	9	100	81
35	11	8	121	64
36	11	9	121	81
37	9	9	81	81
38	10	9	100	81
39	9	9	81	81
40	11	10	121	100
41	9	8	81	64
42	10	9	100	81
43	11	8	121	64
44	10	9	100	81
45	10	9	100	81
46	11	10	121	100
47	10	8	100	64
48	11	9	121	81
49	11	9	121	81
50	11	9	121	81
Suma	507	457	5173	4199
Promedio	10,14	9,14		

Fuente: Elaboración propia

3.1.4.1. Comparación de medias para el número de hojas

En el siguiente cuadro, se comparan gráficamente las medias de los diferentes sistemas hidropónicos NFT (TRA. “a”) y raíz flotante (TRA.” b”)

Figura 8. Comparación de medias para el número de hojas



Fuente: Elaboración propia

Según la comparación de medias que se detalla en la figura 8, el mejor tratamiento fue el sistema hidropónico NFT (TRA. “a”), con un aproximado de 10,36 promedio en el número de hojas, seguidamente del sistema hidropónico de raíz flotante (TRA. “b”), con un aproximado de 9,14 promedio en el número de hojas.

Según estudios realizados por Ticona (2016), obtuvo resultados en el sistema hidropónico NFT de 10,67 promedio aproximado en el número de hojas de espinaca,

En la presente investigación se obtuvo resultados prácticamente similares en el sistema hidropónico NFT de la investigación realizado por Ticona (2016), mientras que en el sistema hidropónico de raíz flotante de la presente investigación se obtuvo resultados inferiores de la investigación de Ticona (2016)

3.1.5. Peso de las hojas

A continuación, se detalla los datos y resultados de la prueba de hipótesis para el peso de las hojas por planta en los dos diferentes sistemas hidropónicos (NFT y raíz de flotante).

Tabla 11. Tomada de datos del Peso de las hojas

Nº	Datos (gr/planta)			
	SISTEMA HIDROPÓNICO NFT "a"	SISTEMA HIDROPÓNICO DE RAÍZ FLOTANTE "b"	a2	b2
1	84	75	7056,00	5625,00
2	81	74	6561,00	5476,00
3	83	79	6889,00	6241,00
4	80	75	6400,00	5625,00
5	79	74	6241,00	5476,00
6	82	76	6724,00	5776,00
7	75	78	5625,00	6084,00
8	83	73	6889,00	5329,00
9	78	76	6084,00	5776,00
10	83	77	6889,00	5929,00
11	85	76	7225,00	5776,00
12	83	78	6889,00	6084,00
13	79	74	6241,00	5476,00
14	81	78	6561,00	6084,00
15	80	79	6400,00	6241,00
16	82	75	6724,00	5625,00
17	84	77	7056,00	5929,00
18	82	75	6724,00	5625,00
19	83	76	6889,00	5776,00
20	85	76	7225,00	5776,00
21	79	75	6241,00	5625,00
22	83	74	6889,00	5476,00
23	82	74	6724,00	5476,00
24	79	79	6241,00	6241,00
25	85	77	7225,00	5929,00
26	84	80	7056,00	6400,00
27	81	79	6561,00	6241,00
28	84	80	7056,00	6400,00
29	85	78	7225,00	6084,00
30	83	77	6889,00	5929,00
31	90	76	8100,00	5776,00
32	86	76	7396,00	5776,00
33	85	80	7225,00	6400,00
34	88	77	7744,00	5929,00
35	81	79	6561,00	6241,00
36	85	77	7225,00	5929,00
37	90	77	8100,00	5929,00
38	85	78	7225,00	6084,00
39	87	84	7569,00	7056,00
40	84	85	7056,00	7225,00
41	85	84	7225,00	7056,00
42	91	78	8281,00	6084,00
43	88	79	7744,00	6241,00
44	89	79	7921,00	6241,00
45	84	80	7056,00	6400,00
46	89	81	7921,00	6561,00
47	90	80	8100,00	6400,00
48	85	79	7225,00	6241,00
49	90	78	8100,00	6084,00
50	84	81	7056,00	6561,00
Suma	4193	3882	352229	301744
Promedio	83,86	77,64		

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 10, se detalla los resultados obtenidos de la prueba de hipótesis para el peso de las hojas, en los diferentes sistemas hidropónicos (NTF y Raíz flotante) del cultivo de la espinaca (*Spinacea oleracea* L.).

Cuadro 10. ANVOA del peso de las hojas del cultivo de la espinaca

(*Spinacea oleracea* L.)

Fuentes de Variación	
N° replicas	50
Gl	49
S2 a	12,33
S2 b	7,05
fc	1,75
ft	1,80
Gl t	98
Tc	0,20
Tt (5%)	1,96

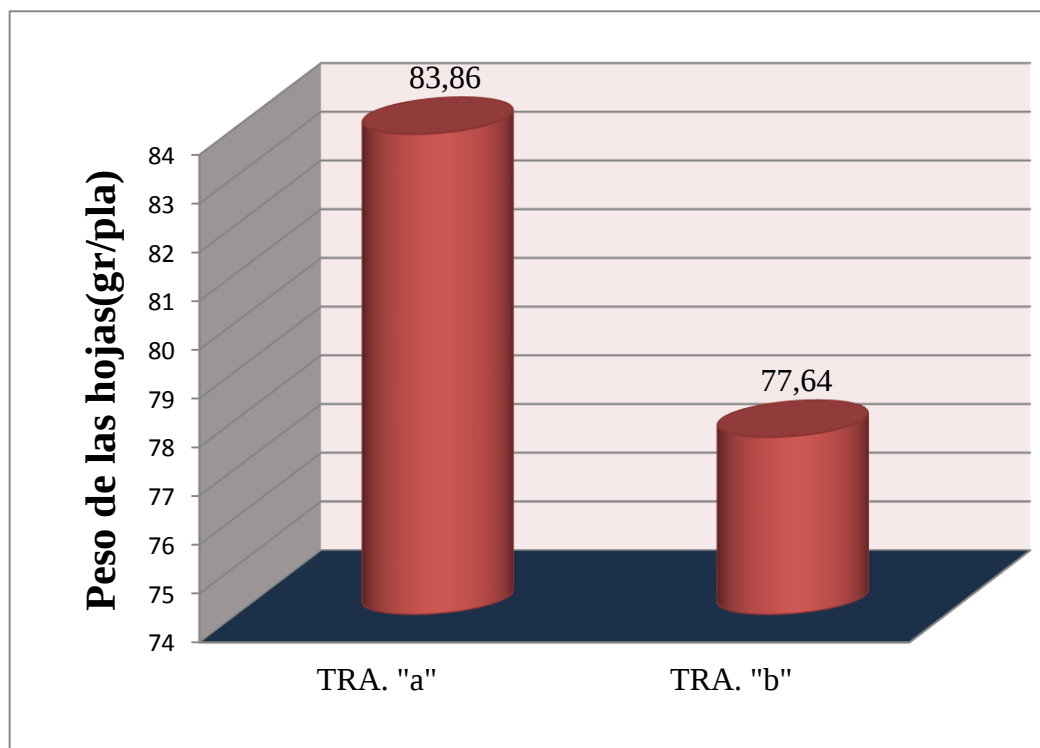
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados obtenidos que se detalla en el cuadro 10 de la prueba de hipótesis la **Tc = 0,20** es menor que **Tt = 1,96** entonces es posible afirmar que no existe diferencias significativas entre el sistema hidropónico NFT (TRA. “a”) y el sistema hidropónico de raíz flotante (TRA.” b”) para un nivel de significación del 5% de probabilidad en el peso de las hojas

3.1.5.1. Comparación de medias para el peso de las hojas

En el siguiente cuadro, se comparan gráficamente las medias de los diferentes sistemas hidropónicos NFT (TRA. “a”) y raíz flotante (TRA.” b”)

Figura 9 Comparación de medias para el peso de las hojas



Fuente: Elaboración propia

Según la comparación de medias que se detalla en la figura 9, el mejor tratamiento fue el sistema hidropónico NFT (TRA. "a"), con un aproximado de 83,86 gr promedio en el peso de las hojas, seguidamente del sistema hidropónico de raíz flotante (TRA. "b"), con un aproximado de 77,64 gr promedio en el peso de las hojas.

Al respecto Ticona (2016), obtuvo resultados en el sistema hidropónico NFT de 51,85 gr promedio en el peso de las hojas de la espinaca, su parte Sirpa (2008) tuvo resultados en el sistema hidropónico de raíz flotante de 74,5 gr promedio en el peso de la espinaca

En la presente investigación se obtuvo resultados superiores en el sistema hidropónico NFT a comparación del estudio realizado por Ticona (2016), así mismo se obtuvo mejores resultados que Sirpa (2008), en el sistema hidropónico de raíz flotante.

3.1.6. Rendimiento

A continuación, se detalla los datos y resultados de la prueba de hipótesis para el rendimiento peso de las hojas en los dos diferentes sistemas hidropónicos (NFT y raíz de flotante).

Tabla 12. Tomada de datos del Rendimiento

Rendimiento en kg/m ²				
N°	1	2	Suma	Promedio
Tratamiento "a " sistema hidropónico NFT	2,04	2,15	4,19	2,10
Tratamiento "b "sistema hidropónico de raíz flotante	1,90	1,98	3,88	1,94
a2	4,16	4,64	8,80	
b2	3,61	3,93	7,54	

En el cuadro 11 se detalla los resultados obtenidos de la prueba de hipótesis para el largo de la hoja, en los diferentes sistemas hidropónicos (NTF y Raíz flotante) del cultivo de la espinaca (*Spinacea oleracea* L.).

Cuadro 11. ANOVA del Rendimiento del cultivo de la espinaca (*Spinacea oleracea* L.)

Fuentes de Variación	
N° replicas	2
Gl	1
S2 a	0,006385
S2 b	0,003362
fc	1,90
ft	1,80
Gl t	98
Tc	1,11
Tt (5%)	1,96

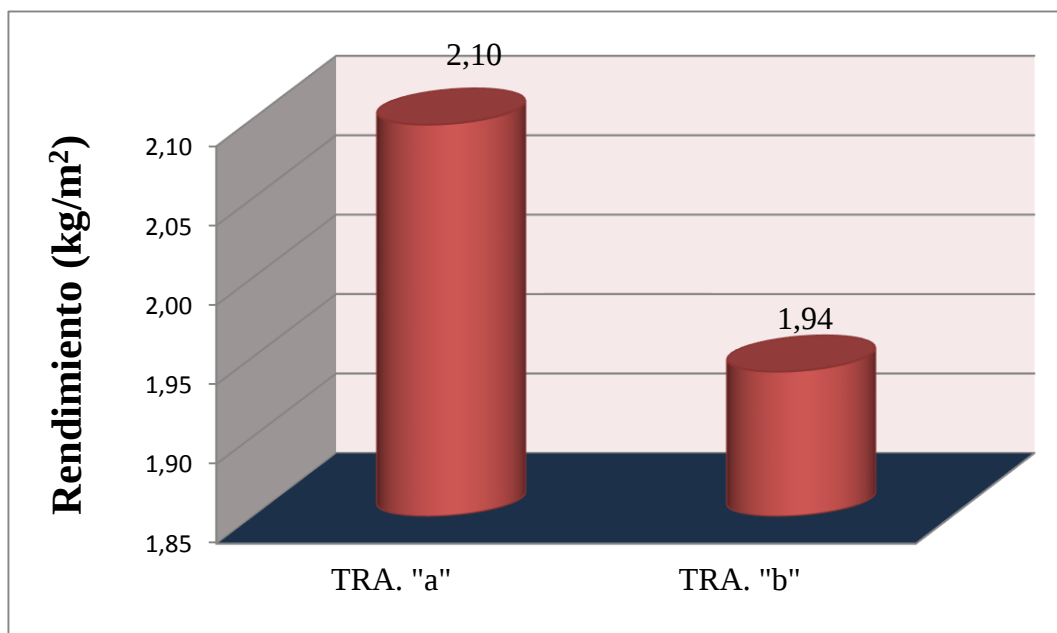
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados obtenidos que se detalla en el cuadro 11 de la prueba de hipótesis la $T_c = 0,20$ es menor que $T_t = 1,96$ entonces es posible afirmar que no existe diferencias significativas entre el sistema hidropónico NFT (TRA. "a") y el sistema hidropónico de raíz flotante (TRA. "b") para un nivel de significación del 5% de probabilidad en el rendimiento.

3.1.6.1. Comparación de medias para el Rendimiento

En el siguiente cuadro, se comparan gráficamente las medias de los diferentes sistemas hidropónicos NFT (TRA. "a") y raíz flotante (TRA. "b")

Figura 10. Comparación de medias para el Rendimiento



Fuente: Elaboración propia

Según la comparación de medias que se detalla en la figura 10, el mejor tratamiento fue el sistema hidropónico NFT (TRA. "a"), con un aproximado de 2,10 Kg/m² promedio en el peso de las hojas, seguidamente del sistema hidropónico de raíz flotante (TRA. "b"), con un aproximado de 1,94 Kg/m² promedio en el peso de las hojas.

Al respecto Ticona (2016), obtuvo resultados en el sistema hidropónico NFT de 1,61 Kg/m² de la de espinaca.

En la presente investigación se obtuvo resultados superiores en el sistema hidropónico NFT a comparación del estudio realizado por Ticona (2016), como también en el sistema hidropónico de raíz flotante, teniendo así un mayor rendimiento en el sistema hidropónico NFT de la presente investigación.

3.2. Análisis económico

A partir de los resultados obtenidos en el proceso de investigación y el respectivo análisis estadístico, es esencial realizar un análisis económico de los resultados, de tal forma dar recomendaciones benéficas o no benéficas de la presente investigación, combinados con los aspectos agronómicos.

El análisis económico nos permite proporcionar parámetros claros para determinar la rentabilidad o no de un tratamiento, facilitándonos algún cambio tecnológico en nuestro sistema de producción, en este caso el cultivo de espinaca (*Spinacea oleracea* L.).

3.2.1. Rendimiento ajustado

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

Cuadro 12. Rendimiento ajustado por campaña

Rendimiento	Sistema hidropónico NFT (Trat. "a")	Sistema hidropónico de raíz flotante (Trat. "b")
Rendimiento promedio en kg/m ²	2,10	1,94
Rendimiento Ajustado (-10%)	1,89	1,75

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 12, muestra el rendimiento ajustado obtenido para cada tratamiento, donde se puede apreciar que existe mayor rendimiento promedio del sistema de hidropónico NFT con 1,89 kg/m², seguido por el Sistema en raíz flotante, con 1,75 kg/m².

3.2.2. Número de campañas por año

Tomando en cuenta que la utilización del terreno y la instalación del sistema hidropónico para la producción de hortalizas en ambiente atemperados es intensiva, la reducción en el uso del mismo puede reportar mayor número de cosechas al año, por lo tanto, mayor producción. Otro factor determinante es el tiempo de desarrollo hasta la cosecha, el tiempo para el presente trabajo de investigación fue 62 días esto nos indica 6 campañas por año que se puede realizar y por ende mayor ingreso económico.

3.2.3. Beneficio bruto

El beneficio bruto se calcula multiplicando el rendimiento ajustado entre la superficie en m² del ambiente atemperado, por el precio promedio de kilogramo de espinaca (*Spinacea oleracea* L.) hidropónica, para el cálculo de beneficio bruto anual se multiplicó el beneficio bruto de una campaña, por el número de campañas al año.

Cuadro 13. Beneficio bruto anual

	Sistema hidropónico NFT (Trat. "a")	Sistema hidropónico de raíz flotante (Trat. "b")
Rendimiento promedio en kg/m ²	2,10	1,94
Rendimiento Ajustado (-10%)	1,89	1,75
Precio (Bs/kg)	21	21
Numero de Campañas Año	<u>6</u>	<u>6</u>
Beneficio Bruto (Bs/m ²)	39,62	36,68
Beneficio Bruto (Bs/2m ²)	79,25	73,37
Beneficio Bruto Año Bs/m ²	237,74	220,11
Beneficio Bruto Año Bs/2m ²	475,49	440,22

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 13. Se observa que los que mayor beneficio bruto obtuvo fue el sistema hidropónico NFT con un aproximado de 475,49 Bs/Año/2 m², seguido del sistema hidropónico de raíz flotante con un 440,81 Bs/Año/m².

3.2.4. Costos variables

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

Cuadro 14. Costos variables por tratamientos

	Sistema hidropónico NFT (Trat. "a")	Sistema hidropónico de raíz flotante (Trat. "b")
Costos variables/Campaña	22	20
Numero de campañas al año	6	6
Total Costos Fijos (Bs/Año)	132	120

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en el cuadro 14, en costo variable más alto fue el sistema hidropónico NFT con 132 Bs/Año/2 m² ya que lo que influyo fue el gasto de energía por la bomba de agua de 0,5 hp.

3.2.5. Costos fijos

Los costos fijos tienen una vida útil mayor a un año, son aquellos que se mantienen para cada campaña de producción y que no están relacionados con la producción final. Para este trabajo se han tomado en cuenta los costos de material de construcción e instalación de los dos sistemas y otros gastos, costos que fueron calculados por año.

Cuadro 15. Costos fijos por tratamientos

	Sistema hidropónico NFT (Trat. "a")	Sistema hidropónico de raíz flotante (Trat. "b")
Costo invernadero/Año	37,75	37,75
Costo Sistema Hidropónico (Bs/Año)	194,6	81,4
Total Costos Fijos (Bs/Año)	232,35	119,15

Fuente: Elaboración propia

3.2.6. Costos Totales

Los costos totales es la suma de los costos variables + los costos fijos, que son mostrados a detalle en el cuadro 16.

Cuadro 16. Costos totales por tratamientos

	Sistema hidropónico NFT (Trat. “a”)	Sistema hidropónico de raíz flotante (Trat. “b”)
Total Costos Fijos (Bs/Año)	232,35	119,15
Total Costos Variables (Bs/Año)	132	120
Costos Totales (Bs/Año)	364,35	239,15

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al cuadro 16, se observa que el sistema hidropónico NFT fue el de mayor costo con 364,35 Bs/Año, seguido del sistema hidropónico de raíz flotante con 239,15 Bs/Año.

3.2.7. Beneficio neto

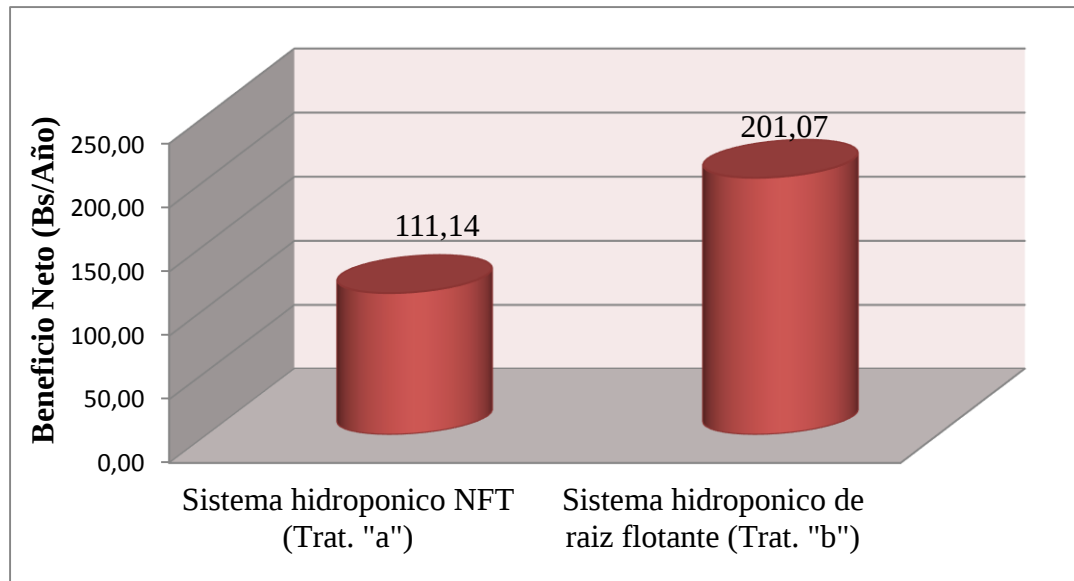
Los beneficios netos nos reflejan ingresos obtenidos luego de restar los costos totales, que se muestra en el cuadro 17.

Cuadro 17. Beneficio neto anual

	Sistema hidropónico NFT (Trat. “a”)	Sistema hidropónico de raíz flotante (Trat. “b”)
Beneficio Bruto Año Bs/2m ²	475,49	440,22
Costos totales (Bs/Año)	364,35	239,15
Beneficio Neto Año Bs/2m ²	111,14	201,07

Fuente: Elaboración propia

Figura 11. Beneficio neto por tratamientos



Fuente: Elaboración propia

Según el cuadro 17 y la figura 11, del análisis económico realizado el sistema hidropónico de raíz flotante resulto de ser el mejor tratamiento, alcanzando un beneficio neto de 201,07 Bs/Año, haciendo una diferencia del sistema hidropónico de raíz flotante que obtuvo un beneficio neto 111,14 Bs/Año.

3.2.8. Relación Beneficio / Costo (Bs/año)

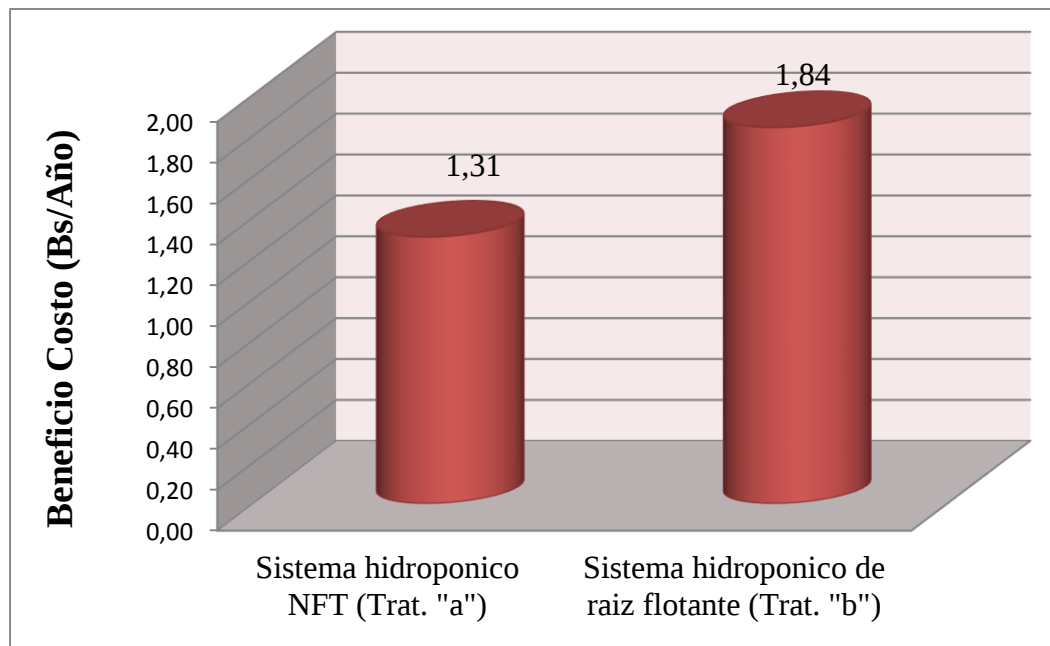
Es la relación que existe entre los beneficios brutos sobre los costos de producción, en el cuadro 18 se detallan la relación beneficio/costo anual.

Cuadro 18. Beneficio/costo

	Sistema hidropónico NFT (Trat. "a")	Sistema hidropónico de raíz flotante (Trat. "b")
Beneficio Bruto Año Bs/2m ²	475,49	440,22
Costos Totales (Bs/Año)	364,35	239,15
Beneficio Costo (Bs/Año)	1,31	1,84

Fuente: Elaboración propia

Figura 12. Beneficio costo por tratamientos



Fuente: Elaboración propia

Según al análisis económico realizado que se muestra en la figura 12 y el cuadro 18, indica que el sistema hidropónico NFT logró un beneficio/costo de 1,31 Bs/Año, lo cual significa que por cada boliviano invertido se logra tener de ganancia 0,31 Bs. adicional del capital invertido, seguidamente del sistema hidropónico de raíz flotante que alcanzó un beneficio/costo de 1,84 Bs/Año lo que indica que por cada boliviano invertido se logra tener una ganancia de 0,84 Bs.

Según Ticoná (2016) obtuvo una relación beneficio costo de 1,33 en el sistema hidropónico NFT por lo cual en la presente investigación el sistema hidropónico de raíz flotante es más rentable que el sistema hidropónico NFT.