

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



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE DOS VARIEDADES
DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE TÉ
DE HUMUS DE LOMBRIZ COMO ABONO FOLIAR BAJO UN SISTEMA
HIDROPÓNICO NFT**

WILMA TERESA CONDORI QUISPE
LA PAZ – BOLIVIA

2023

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

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE DOS VARIEDADES DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE TÉ DE HUMUS DE LOMBRIZ COMO ABONO FOLIAR BAJO UN SISTEMA HIDROPÓNICO NFT

Tesis de Grado presentada como requisito
Parcial para optar el Título de
Ingeniería en Agronomía

WILMA TERESA CONDORI QUISPE

Asesores:

M. Sc. Marcelo Tarqui Delgado.....

Ing. William Alex Murillo Oporto.....

Tribunal Examinador:

Ph. D. Roberto Miranda Casas

Ing. Milton Indalicio Macias Villalobos.....

Ing. Esther Tinco Mamani

APROBADA

Presidente tribunal examinador.....

LA PAZ – BOLIVIA

2023

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación con todo cariño a los seres que me dieron la vida Teresa Quispe de Condori y Juan Condori Surco, gracias a su apoyo constante incondicional en mi formación profesional unas de las metas propuestas en mi vida. A mis hermanos Sonia Condori Quispe gracias a su apoyo constante, Ruben Omar Condori Quispe, Miguel Angel Condori Quispe y Jose Carlos Condori Quispe.

AGRADECIMIENTOS

A MI UNIVERSIDAD

A la universidad Mayor de San Andrés y en especial a la Facultad de Agronomía por permitirme formarme profesionalmente y ser mi segundo hogar.

A MIS ASESORES

A mis asesores M. Sc. Marcelo Tarqui Delgado por sus valiosas orientaciones, sugerencias para poder realizar la presente investigación y al Ing. William Alex Murillo Oporto, gracias por sus valiosos conocimientos, por su amistad, confianza, tiempo valioso dedicado durante la realización de mi tesis.

A MIS REVISORES

A mis revisores Ph. D. Roberto Miranda Casas, Ing. Milton Indalicio Macias Villalobos, Ing. Esther Tinco Mamani por sus acertados asesoramientos, sugerencias, por su disponibilidad de tiempo y dedicación del presente trabajo de investigación.

CONTENIDO GENERAL

ÍNDICE GENERAL	I
ÍNDICE DE TABLAS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE ANEXOS	VII
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	X

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Planteamiento del problema	2
1.2.	Justificación	2
2.	OBJETIVOS	3
2.1.	Objetivo general.....	3
2.2.	Objetivos específicos.....	3
2.3.	Hipótesis nula	3
3.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
3.1.	Lechuga.....	4
3.1.1.	Origen.....	4
3.1.2.	Clasificación taxonómica	4
3.1.3.	Descripción botánica	5
3.1.4.	Valor nutricional.....	6
3.1.5.	Propiedades	7
3.1.6.	Exigencias del cultivo de la lechuga	7
3.1.6.1.	Temperatura del ambiente.....	7
3.1.6.2.	Temperatura de la solución nutritiva.....	7
3.1.6.3.	Calidad de agua	8
3.1.6.4.	Alcalinidad o acidez de la solución nutritiva (pH)	8
3.1.6.5.	Presión osmótica de la solución nutritiva (PO)	9
3.1.6.6.	Conductividad eléctrica de la solución nutritiva (CE).....	10
3.1.6.7.	Luminosidad del ambiente.....	10
3.1.7.	Requerimientos nutricionales	10
3.1.8.	Plagas y enfermedades	11

3.1.9. Producción de la lechuga a nivel mundial y nacional.....	11
3.1.9.1. Mundial	11
3.1.9.2. Nacional.....	12
3.1.10. Comercialización	12
3.2. Hidroponía	13
3.2.1. Historia	14
3.2.1.1. Pasado	14
3.2.1.2. Presente	15
3.2.1.3. Futuro	15
3.2.2. Ventajas y desventajas.....	16
3.2.3. Tipos de sistemas hidropónicos.....	16
3.2.3.1. Cultivo de flujo laminar (NFT).....	16
3.2.3.2. Sistema flotante.....	17
3.2.3.3. Sistema (DFT)	18
3.2.4. Nutrición mineral.....	18
3.2.4.1. Rol fisiológico de los macronutrientes	19
3.2.5. Solución nutritiva	23
3.3. Fertilización foliar.....	23
3.3.1. Categorías de fertilización foliar	25
3.3.2. Siete secretos de relevancia en la fertilización foliar	26
3.3.3. Factores que afectan la fertilización foliar.....	28
3.4. Humus de lombriz o vermicompost.....	30
3.4.1. Ventajas del humus de lombriz.....	34
3.4.2. Propiedades del humus de lombriz.....	35
3.4.2.1. Propiedades físicas	35

3.4.2.2. Propiedades químicas	35
3.4.2.3. Propiedades biológicas.....	35
3.4.3. Descripción del té de humus	36
4. MATERIALES Y MÉTODOS	38
4.1. Localización	38
4.1.1. Ubicación geográfica	38
4.2. Materiales	38
4.2.1. Material vegetal	38
4.2.2. Material para la elaboración de té de humus de lombriz	38
4.2.3. Material del sistema NFT	38
4.2.4. Material de contenedor	38
4.2.5. Material de campo	39
4.2.6. Sales nutritivas	39
4.2.7. Material de gabinete	39
4.3. Metodología	39
4.3.1. Procedimiento experimental	39
4.3.2. Diseño experimental	42
4.3.2.1. Modelo lineal aditivo	42
4.3.2.2. Descripción de los factores.....	43
4.3.2.3. Descripción de los tratamientos.....	43
4.3.3. Croquis experimental de la investigación	44
4.3.4. Características del área experimental	45
4.3.5. Variables de respuestas para el comportamiento productivo de lechuga....	45
4.3.5.1. Área foliar (cm ²).....	45
4.3.5.2. Peso fresco del vástago (g/planta)	46

4.3.5.3. Peso de raíz (g/planta)	46
4.3.5.4. Altura del vástago (cm).....	46
4.3.5.5. Número de hojas	47
4.3.5.6. Rendimiento en peso fresco (Kg/m ²)	47
4.3.5.7. Análisis beneficio - costo	47
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
5.1.1. Análisis de varianza del área foliar (cm ² /planta).....	48
5.1.2. Análisis de varianza del peso fresco del vástago (g/planta)	50
5.1.3. Análisis de varianza del peso de raíz (g/planta)	52
5.1.4. Análisis de varianza de la Altura del vástago (cm/planta).....	55
5.1.5. Análisis de varianza de número de hojas por planta	57
5.1.6. Rendimiento de la variable peso fresco del vástago (Kg/m ²)	59
5.1.7. Análisis costo – beneficio	62
5.3.7.1. Rendimiento ajustado.....	62
5.3.7.2. Beneficio bruto	63
5.3.7.3. Costos variables.....	64
5.3.7.4. Costos fijos.....	64
5.3.7.5. Costo total	65
5.3.7.5. Relación beneficio - costo	65
6. CONCLUSIONES.....	67
7. RECOMENDACIONES	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación botánica de la lechuga.....	5
Tabla 2. Composición nutritiva de distintos tipos de lechugas en 100 g (comestible) .	6
Tabla 3. Requerimientos nutricionales para lechuga en ppm o mg/L.....	11
Tabla 4. Elementos utilizados por las plantas.	19
Tabla 5. Tolerancia de concentración de nutrimentos en aplicaciones foliares.....	24
Tabla 6. Efecto de la luz sobre la absorción foliar de potasio.....	29
Tabla 7. Valores de referencia para absorción de elementos de vía foliar	30
Tabla 8. Análisis de humus de lombriz.....	32
Tabla 9. Descripción de los tratamientos	44
Tabla 10. Prueba Duncan para el área foliar (cm ² /planta).....	49
Tabla 11. Prueba Duncan para peso de raíz (g/planta).....	53
Tabla 12. Prueba Duncan para número de hojas por planta.....	58
Tabla 13. Rendimiento en peso fresco del vástago (Kg/m ²).....	59
Tabla 14. Rendimiento promedio y rendimiento ajustado	63
Tabla 15. Beneficio bruto	63
Tabla 16. Costos variables.....	64
Tabla 17. Costos fijos.....	64
Tabla 18. Costo total	65
Tabla 19. Relación beneficio – costo.....	65
Tabla 20. Análisis de la varianza del área foliar	89
Tabla 21. Análisis de la varianza del peso fresco del vástago	89
Tabla 22. Análisis de la varianza del peso de raíz	89
Tabla 23. Análisis de la varianza de la altura del vástago.....	90
Tabla 24. Análisis de la varianza de número de hojas	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área foliar (cm ² /planta).....	50
Figura 2. Peso de raíz (g/planta)	54
Figura 3. Número de hojas por planta	59
Figura 4. Rendimiento en peso fresco (Kg/m ²).....	62

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis de agua	77
Anexo 2. Análisis de humus de lombriz.....	78
Anexo 3. Cálculos de fertilizantes para 1 litro de agua.....	80
Anexo 4. Datos obtenidos del área foliar (cm ² /planta)	83
Anexo 5. Datos obtenidos del peso fresco del vástago (g/planta).....	84
Anexo 6. Datos obtenidos del peso de raíz (g/planta).....	85
Anexo 7. Datos obtenidos de la altura de vástago (cm)	86
Anexo 8. Datos obtenidos de número de hojas.....	87
Anexo 9. Temperatura máxima y mínima del ambiente	88
Anexo 10. Análisis de varianza	89
Anexo 11. Cálculo para rendimiento Kg/m ²	91
Anexo 12. Cálculo para la cantidad de semilla requerida.....	94
Anexo 13. Consumo de agua.....	94
Anexo 14. Calculo de cantidad de sales nutritivas para 3536 lt de agua	95
Anexo 15. Actividades realizadas durante la investigación	96

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene el objetivo de evaluar el comportamiento productivo de dos variedades de lechuga (Waldman's Green y White Boston) a diferentes concentraciones de té de humus de lombriz como abono foliar bajo un sistema hidropónico de flujo laminar de nutrientes (NFT), el trabajo fue realizado en el Centro Experimental de Cota Cota dependiente de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, que se encuentra situado a 15 Km al sureste del centro de la ciudad de La Paz en la zona de Cota Cota, provincia Murillo del departamento de La Paz, a 3445m.s.n.m. Geográficamente se encuentra a 68°03'44'' de Longitud Oeste y 16°33'04'' de Latitud Sur.

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con dos factores: El factor A variedades (Waldman's Green y White Boston) y el factor B diferentes concentraciones de té de humus de lombriz como abono foliar (sin aplicación foliar, 10 %, 20 % y 30 %). Realizando la interacción de los dos factores de estudio se obtuvo ocho tratamientos con tres repeticiones. Contándose con los siguientes tratamientos: T1(Waldman's Green sin aplicación foliar), T2 (Waldman's Green con 10 % de té de humus de lombriz), T3 (Waldman's Green con 20 % de té de humus de lombriz), T4 (Waldman's Green con 30 % de té de humus de lombriz), T5 (White Boston sin aplicación foliar), T6 (White Boston con 10 % de té de humus de lombriz), T7 (White Boston con 20 % de té de humus de lombriz) y T8 (White Boston con 30 % de té de humus de lombriz).

Además se planteó las siguientes variables de respuesta: Área foliar, peso fresco del vástago (conjunto de tallo y hojas), peso de la raíz, altura del vástago, número de hojas, rendimiento y análisis beneficio - costo.

La investigación duró 69 días, registrando una temperatura promedio del ambiente igual a 36 °C máximo y 7°C mínimo, con un caudal de circulación de 1,8 L/min, con una altura de la lámina de agua de los canales de cultivo de 5 mm.

En cuanto a la variable área foliar, se observó que los tratamientos con mayor área foliar fue el tratamiento dos (Waldman's Green + 10 % de concentración de té de humus de lombriz) con un valor promedio de 190,1 (cm²/planta) y el tratamiento 8

(White Boston + 30 % de concentración de té de humus de lombriz) con un valor promedio de 171,8 (cm²/planta).

En lo que respecta al peso fresco del vástago, los tratamientos con mayores pesos fue el tratamiento dos (Waldman's Green + 10 % de concentración de té de humus de lombriz) con un valor promedio de 92 (g/planta) y el tratamiento seis (White Boston + 10 % de concentración de té de humus de lombriz) con un valor promedio de 107 (g/planta).

En la variable peso de la raíz, los promedios mayores fue el tratamiento dos (Waldman's Green + 10 % de concentración de té de humus de lombriz) con un valor de 23 (g/planta) y el tratamiento seis (White Boston + 10 % de concentración de té de humus de lombriz) con un valor promedio de 31 (g/planta).

Mientras que la variable altura del vástago, se reportó que los tratamientos con mayor altura fue el tratamiento dos (Waldman's Green + 10 % de concentración de té de humus de lombriz) con un valor de 23,6 (cm) y el tratamiento cinco (White Boston sin aplicación foliar) con un valor de 24,0 (cm).

La variable número de hoja, el que presentó mayor número de hojas fue el tratamiento uno (waldman's Green sin aplicación foliar) con un valor de 18 hojas seguidamente el tratamiento cinco (White Boston sin aplicación foliar) con un valor de 26 hojas y el tratamiento 7 (White Boston + 20 % de concentración de té de humus de lombriz) con un valor de 26 hojas.

También se observó que los tratamientos con mayores rendimientos en peso fresco, fue el tratamiento dos (waldman's Green + 10 % de concentración de té de humus de lombriz) con un valor promedio de 3,77 (Kg/m²) y el tratamiento seis (White Boston + 10 % de concentración de té de humus de lombriz) con un valor promedio de 4,38 (Kg/m²).

Y por último, los tratamientos que presentaron mayores beneficios – costos, fue el tratamiento dos (Waldman's Green + 10 % de concentración té de humus de lombriz) con un valor promedio de 1,3 Bs y el tratamiento seis (White Boston + 10 % de concentración té de humus de lombriz) con un valor promedio de 1,5 Bs.

ABSTRACT

The present research work has the objective of evaluating the productive behavior of two varieties of lettuce (Waldman's Green and White Boston) at different concentrations of worm humus tea as foliar fertilizer under a laminar nutrient flow (NFT) hydroponic system.), the work was carried out at the Cota Cota Experimental Center dependent on the Faculty of Agronomy of the Universidad Mayor de San Andrés, which is located 15 km southeast of the center of the city of La Paz in the Cota Cota area. , Murillo province of the department of La Paz, at 3445m.s.n.m. Geographically it is located at 68°03'44'' West Longitude and 16°33'04'' South Latitude.

A completely randomized design (DCA) was used with two factors: Factor A varieties (Waldman's Green and White Boston) and factor B different concentrations of earthworm humus tea as foliar fertilizer (without foliar application, 10 %, 20 % and 30%). Performing the interaction of the two study factors, eight treatments with three repetitions were obtained. Counting on the following treatments: T1 (Waldman's Green without foliar application), T2 (Waldman's Green with 10 % worm humus tea), T3 (Waldman's Green with 20 % worm humus tea) , T4 (Waldman's Green with 30 % worm casting tea), T5 (White Boston without foliar application), T6 (White Boston with 10 % worm casting tea), T7 (White Boston with 20 % worm casting tea) and T8 (White Boston with 30 % worm casting tea).

In addition, the following response variables were considered: leaf area, fresh weight of the shoot (set of stem and leaves), root weight, height of the shoot, number of leaves, yield and benefit-cost analysis.

The investigation lasted 69 days, recording an average temperature of the environment equal to a maximum of 36°C and a minimum of 7°C, with a circulation flow of 1,8 L/min, with a height of the water level of the culture channels of 5 mm.

Regarding the leaf area variable, it was observed that the treatments with the highest leaf area were treatment two (Waldman's Green + 10 % concentration of worm humus tea) with an average value of 190,1 (cm²/plant) and treatment 8 (White Boston + 30 % concentration of earthworm humus tea) with an average value of 171,8 (cm²/plant).

Regarding the fresh weight of the shoot, the treatments with the highest weights were treatment two (Waldman's Green + 10 % concentration of worm humus tea) with an average value of 92 (g/plant) and treatment six (White Boston + 10 % concentration of earthworm humus tea) with an average value of 107 (g/plant).

In the root weight variable, the highest averages were treatment two (Waldman's Green + 10 % concentration of earthworm humus tea) with a value of 23 (g/plant) and treatment six (White Boston + 10 % concentration of earthworm humus tea) with an average value of 31 (g/plant).

While the stem height variable, it was reported that the treatments with the highest height were treatment two (Waldman's Green + 10 % concentration of worm humus tea) with a value of 23.6 (cm) and treatment five (White Boston without foliar application) with a value of 24.0 (cm).

The leaf number variable, the one with the highest number of leaves was treatment one (waldman's Green without foliar application) with a value of 18 leaves followed by treatment five (White Boston without foliar application) with a value of 26 leaves and treatment 7 (White Boston + 20% concentration of worm humus tea) with a value of 26 leaves.

It was also observed that the treatments with the highest yields in fresh weight were treatment two (waldman's Green + 10 % concentration of worm humus tea) with an average value of 3,77 (Kg/m²) and treatment six (White Boston + 10% concentration of earthworm humus tea) with an average value of 4,38 (Kg/m²).

And finally, the treatments that presented the greatest benefits - costs, were treatment two (Waldman's Green + 10 % concentration of earthworm humus tea) with an average value of 1,3 Bs and treatment six (White Boston + 10 % worm humus tea concentration) with an average value of 1,5 Bs.

1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación aborda la evaluación del comportamiento productivo de dos variedades de lechuga Waldman's Green y White Boston a diferentes concentraciones de té de humus de lombriz como abono foliar bajo un sistema hidropónico NFT; cuando se menciona té de humus de lombriz o también llamado té de vermicompost se refiere al producto líquido obtenido a partir del lombricompost y cuando se menciona sistema hidropónico NFT es “la técnica de la película de nutrientes”.

Se realizó la investigación porque la contaminación incrementa cada vez más por la mala disposición de residuos orgánicos, representando un riesgo para la salud del ser humano, la cual puede evitarse, si la fuente donde se genera los residuos son procesados de manera adecuada; como ejemplo el lombricompost que a partir de este se puede obtener el té de humus de lombriz que puede ser aplicado como abono foliar, para incrementar el rendimiento de las lechugas producidas bajo un sistema hidropónico NFT; los suelos erosionados con niveles de contaminación cada vez más altos y a la alcanzable lucha de miles de personas en busca de un aporte positivo al medio ambiente, la hidroponía brinda nuevas alternativas de cultivos limpios y sanos.

Para lograr incrementar el rendimiento de las lechugas producidas bajo un sistema hidropónico NFT se atomizó con té de humus de lombriz por la tarde a las 6:00 pm, realizando la primera aplicación a los 41 días de crecimiento; la segunda aplicación se realizó a los siete días después de la primera aplicación.

Es relevante el trabajo de investigación desde el ámbito social porque es importante satisfacer las demandas alimentarias del ser humano que busca alimentos de buena calidad y cantidad, desde ese punto de vista la hidroponía nos ofrece una buena alternativa para obtener buenos alimentos y adicionando el té de lombricompost como abono foliar brinda nueva alternativa para incrementar el rendimiento del cultivo de lechuga.

En el ámbito económico es fundamental porque debido a la gran cantidad de desechos orgánicos es tal, tan intensamente grande que su procesamiento puede generar muchos y miles de fuentes de trabajo en distintas ocupaciones en particularmente en la lombricultura, para así reducir de manera sustancial el desempleo.

De esa manera está directamente relacionada con el cuidado del medio ambiente, porqué al mencionar té de lombricompost está directamente relacionada con el humus de lombriz, que en términos extensivos se menciona que el alimento de las lombrices son los desechos orgánicos, enfocando un tema de gran importancia del mundo actual, el calentamiento global.

1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad existe la necesidad de aumentar la producción de alimentos para satisfacer las demandas alimentarias de la población boliviana, implica la utilización de prácticas como la “fertilización foliar” que sirve para incrementar el comportamiento productivo agronómico de la lechuga producidos bajo un sistema hidropónico NFT traducida al español “técnica de película de nutrientes”, se caracteriza la hidroponía por sus especiales características de ahorro de agua brindando nuevas posibilidades donde se puede producir alimentos ricos en nutrientes necesarios para el desarrollo humano.

1.2. Justificación

En la presente investigación busca obtener una concentración adecuada del té de humus de lombriz como abono foliar, en la producción de lechugas producidas en un sistema hidropónico NFT con el objetivo de incrementar el comportamiento productivo. Porqué en la en la actualidad es necesario buscar nuevas alternativas para mejorar la productividad del cultivo, una de las técnicas más difundidas en la nutrición es la fertilización foliar que demostró ser muy útiles para la corrección de deficiencia de nutrientes, además ayuda a minimizar el uso de los fertilizantes químicos y optar por un producto accesible y de bajos costos, dando así la propuesta de adquirir productos limpios y sanos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar el comportamiento productivo de dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) a diferentes concentraciones de té de humus de lombriz como abono foliar bajo un sistema hidropónico NFT.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar cual tratamiento tuvo mejor comportamiento productivo de las variedades de lechuga Waldman's Green y White Boston al aplicar diferentes concentraciones de té de humus de lombriz como abono foliar.
- Realizar un análisis económico de beneficio - costo de los ocho tratamientos en estudio.

2.3. Hipótesis nula

No existe diferencia significativa estadística en el comportamiento productivo de las dos variedades de lechuga Waldman's Green y White Boston al aplicar diferentes concentraciones de té de humus de lombriz como abono foliar, en el sistema hidropónico NFT.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. Lechuga

La lechuga (*Lactuca sativa* L.), en sus diferentes formas y colores, es una de las hortalizas más comunes y consumidas en todo el mundo, aunque su principal producción se concentra en zonas más templadas y subtropicales. En la actualidad se cultiva al aire libre e invernaderos, en suelo o en forma hidropónica; esta última evita las limitaciones que provocan las condiciones climáticas, luminosas y de suelo. (Saabedra, 2017).

En los últimos años ha venido agrandando su consumo cada día es más popular. El crecimiento en el número de restaurantes de comida rápida ha sido un factor determinante para un mayor consumo de este producto. Su crecimiento también se ha visto reflejado en el aumento de los tipos de lechuga que se consumen (Theodoropoulos et al., 2009).

3.1.1. Origen

Originaria de la India, según la enciclopedia Sopena, fue domesticada en el Próximo Oriente a partir de la especie (*Lactuca serriola* L.) alcanzando pronto una diversidad extraordinaria como atestigua Teofrasto (372 a.C. 287 a.C.), que habla de la *Lactuca sativa* L., de la *Ulva lactuca* L. y de la lechuga silvestre (*Lactuca serriola* L.) de la lechuga blanca comenta.” Es la más dulce y tierna. De esta planta hay otras de tres clases: la del tallo aplanado, la de tallo redondo y la laconia. La lechuga silvestre tiene la hoja más corta que la cultivada y, cuando ha adquirido su pleno desarrollo, está erizada de espinas. El tallo también es más corto, mientras que el jugo es amargo y medicinal. Crece en los campos, se dice que su jugo elimina la hidropesía, aleja las cataratas de los ojos y suprime las úlceras de los ojos echando en leche de mujer. (Azcoytia, 2012).

3.1.2. Clasificación taxonómica

La lechuga pertenece a la familia Asteraceae más grande del reino vegetal, la Asteraceae, conocida anteriormente como Compositae. La lechuga presenta una gran diversidad, dado principalmente por los diferentes tipos de hojas y hábitos de

crecimiento de las plantas. Esto ha llevado a diversos autores a distinguir variedades botánicas en la especie, existiendo varias que son importantes como cultivos hortícolas en distintas regiones del mundo (Saabedra, 2017). En el tabla 1 se presenta la clasificación botánica de la lechuga.

Tabla 1. Clasificación botánica de la lechuga

Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Asterales
Familia:	Asteraceae
Subfamilia:	Cichorioideae
Tribu:	Lactuceae
Género:	<i>Lactuca</i>
Especie:	<i>Lactuca sativa</i> L.

Fuente: (Saabedra, 2017)

3.1.3. Descripción botánica

Posee una raíz pivotante, con más o menos ramificada según el tipo de iniciación y el tipo de suelo. Las raíces desarrollan en su mayoría en la capa superficial del suelo (en los primeros 20-30 cm), aunque ciertas raíces pueden descender hasta 1 m de profundidad (Pino, 2020).

Sus hojas adoptan, al comienzo de su desarrollo, la forma de roseta, para cerrarse más tarde y formar un «cogollo» más o menos apretado, según variedades. Las hojas son lampiñas, ligeramente dentadas y de formas variadas. A medida que se van cubriendo unas a otras desaparece su contacto directo con la luz, por lo que pierden el color verde. Por otra parte este color verde variable, ocasionalmente teñido con tonalidades rojizas o violáceas, es característico de cada variedad. Atendiendo a su textura, las hojas pueden ser mantecosas o crujientes, con aspecto ondulado, liso o rizado (Japon, 2019).

Una vez que el periodo vegetativo llega a su madurez, se produce la elongación del tallo, que puede alcanzar a 1 m de altura, y el periodo reproductivo comienza. Un tallo simple termina en una inflorescencia, la cual es una densa panícula corimbosa

compuesta por muchos capítulos, cada uno consistiendo en varios floretes, que varían entre 12 a 20. (Saabedra, 2017).

El fruto, al que con frecuencia se llama semilla, es un aquenio de forma alargada y con varias estrías longitudinales. Es de color blanco o negro, terminando en punta, de 3 a 4 mm de largo y 1mm de ancho (Japon, 2019).

3.1.4. Valor nutricional

El valor nutricional es el conjunto de cualidades nutritivas de los alimentos, que se estiman objetivamente en glúcidos, lípidos, vitaminas, minerales y oligoelementos. Estas cualidades se deben distinguir de las propiedades nutricionales de los alimentos cocinados o transformados por la industria alimentaria (Arrabal, 2014). En el tabla 2 se detalla la composición nutritiva de distintos tipos de lechugas en 100 g (comestible).

Tabla 2. Composición nutritiva de distintos tipos de lechugas en 100 g (comestible)

Descripción	Cantidad
Agua (g)	88,9
Carbohidratos (g)	20,1
Proteínas (g)	8,4
Grasas (g)	1,3
Calcio (g)	0,4
Fósforo (mg)	138,9
Vitamina C (mg)	125,7
Hierro (mg)	7,5
Niacina (mg)	1,3
Riboflavina (mg)	0,6
Tiamina (mg)	0,3
Vitamina A (U.I)	1,155
Calorías (cal)	18

Fuente: Dirección de ciencia y tecnología, (2000) citado por, (Calsin, 2019)

3.1.5. Propiedades

Entre sus muchas propiedades se destaca por retrasar el envejecimiento celular y es especial si se come las hojas verdes, mejora la circulación, previene enfermedades cardiovasculares, la aparición de los coágulos, combate la retención de líquido debido a su bajo contenido de sodio y su alto aporte de agua además de que disminuye el colesterol en la sangre al consumir de 3 a 4 veces por semana, además combate al insomnio ya que calma el sistema nervioso, mejora el dolor pre menstrual, reduce los calambres si se bebe en infusión, ayuda a baja de peso por su efecto laxante lo que le convierte en un alimento ideal para todas las dietas (Soltero, 2018).

3.1.6. Exigencias del cultivo de la lechuga

3.1.6.1. Temperatura del ambiente

La germinación requiere entre 18 y 21°C; fuera de estas temperaturas, aquella se reduce notoriamente. Por otro lado, la producción de lechuga de calidad se obtiene con temperaturas de 5-12°C de noche y 17-28°C de día, siendo 22°C la óptima así también afecta el ciclo del vegetal que puede ser de 70 días en verano (desde la siembra) hasta 150 días en invierno (Gioconi, 2004).

Las temperaturas superiores producen deterioro de la lechuga por crear cabezas más sueltas y con tendencia a emisión de tallo floral o "subida". Sin embargo, estas temperaturas son generales para su crecimiento (Saabedra, 2017).

Tarigo et al., (2004) indica. "Las temperaturas elevadas generan plantas débiles, favorecen la aparición de quemaduras en los bordes de las hojas, induce floración prematura, generan sabores amargos por la acumulación de látex en su sistema vascular, específicamente en las lechugas tipo cabeza, afecta la formación del repollado. Es de resaltar que la planta de lechuga es resistente a las bajas temperaturas, aunque ante los efectos de una helada se generan daños irreversibles disminuyendo así su valor comercial" (Ávila, 2015).

3.1.6.2. Temperatura de la solución nutritiva

La temperatura de la solución nutritiva influye en la absorción de agua y nutrimentos. La temperatura óptima para la mayoría de las plantas es de aproximadamente 22°C;

la baja temperatura de la solución nutritiva tiene mayor efecto en la absorción de fósforo que en la de nitrógeno y agua. Con temperaturas menores a 15°C se presentan deficiencias principalmente de calcio, fósforo, y hierro (Chavez et al., 2006).

Jensen encontró que la utilización de un refrigerador de agua de tanque de nutrientes podría ser efectiva para mantener la temperatura de la solución nutritiva entre 21-23°C. Este enfriamiento de la solución podría prevenir la subida a flor de la lechuga en las regiones desérticas y tropicales (Resh, 2001).

3.1.6.3. Calidad de agua

La calidad del agua es un pre-requisito para determinar las cantidades y tipos de fertilizantes que se deben utilizar en la preparación de la solución nutritiva, ya que según sus propiedades químicas, se realizan los ajustes necesarios para la solución nutritiva tenga un adecuado pH. Las principales propiedades del agua que se deben tomar en cuenta para la preparación de la solución nutritiva, son las siguientes: el pH, las sales disueltas, (aniones, cationes, micronutrientes y elementos tóxicos) (Chavez et al., 2006).

Respecto a la calidad del agua, deberán usarse agua con bajos contenidos de sales. Los contenidos elevados de calcio o magnesio (mayores a 30 ppm en cada caso), obligarán a realizar correcciones en la formulación de la solución nutritiva. Por su parte, elementos como el sodio o cloro e forma excesiva podrán ser tóxicos para la planta. En todos los casos se recomiendan la realización de análisis de agua antes de comenzar con estos sistemas, además de análisis cíclicos, en especial cuando la fuente es subterránea (Gilsanz, 2007).

3.1.6.4. Alcalinidad o acidez de la solución nutritiva (pH)

Dado que el pH es una función logarítmica, el cambio de una unidad en el pH supone un cambio de diez veces en la concentración del H⁺. Por tanto, cualquier cambio de unidad en el pH puede tener un amplio efecto en la disponibilidad de iones para las plantas. La mayoría de las plantas prefieren el nivel de pH superior, entre 6 y 7, como pH óptimo para la absorción de los nutrientes (Resh, 2001).

La acides debe ser neutra o los valores de pH más adecuados son aquellos comprendidos entre 6,0 y 7,5 (Sánchez, 2018).

Antes de preparar la solución nutritiva, el pH del agua debe de estar a 5,5; después de hacerlo, se mide nuevamente y se hacen los ajustes necesarios, hasta que quede en 5,0; en este caso de que sea mayor a 5,5; nuevamente se añade un ácido fuerte (Chavez et al., 2006).

Comprobar el pH de la solución de nutrientes y ajustar, para ajustar el pH se utiliza la inyección automática de ácido nítrico (HNO_3), ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido fosfórico (H_3PO_4) o hidróxido de potásico (KOH). Un alto pH (más de 7,0) provoca una precipitación de Fe^{++} , Mn^{++} , $\text{PO}_4^{\ominus 4}$, Ca^{++} y Mg^{++} a sales insolubles y no disponibles (Resh, 2001).

En algunas ocasiones es necesario incrementar el pH, para lo cual se requiere incluir fertilizantes de reacción básica, como lo son: el nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) o el nitrato de potasio (KNO_3), aunque también se puede utilizar el hidróxido de potasio KOH, el bicarbonato de potasio (KHCO_3), hidróxido de sodio (Na OH) o el bicarbonato de sodio (NaHCO_3); estos últimos se deben evitar, en lo posible, a que el ión sodio, hasta cierto punto, es un ión indeseable en la solución nutritiva (Chavez et al., 2006).

3.1.6.5. Presión osmótica de la solución nutritiva (PO)

La presión osmótica es una propiedad físico-química de las soluciones, la cual depende de la cantidad de partículas o solutos disueltos. Una solución de nutrientes depende principalmente del porcentaje de acumulación de los iones extraños que no son utilizados por las plantas de forma inmediata. Tales acumulaciones dan como resultado una elevación de concentración de presión osmótica (Resh, 2001).

En la medida que la presión osmótica aumenta, las plantas deben invertir más energía para absorber el agua y los nutrimentos, por lo cual la presión osmótica no debe elevarse. En el invierno éstas tienen mejor desarrollo con alta presión osmótica que en el verano. Una medida indirecta y empírica para determinar la presión osmótica es la conductividad eléctrica, que sirve para indicar la concentración total de sales disueltas en el agua (Chavez et al., 2006).

3.1.6.6. Conductividad eléctrica de la solución nutritiva (CE)

La conductividad eléctrica se expresa en un mho. Para simplificar la conductividad se expresa, a menudo, como milimhos/cm, con el alcance deseado de 2,00 a 4,00. Los niveles de sales por encima de 4 milimhos/cm pueden dar lugar a un marchitamiento, deteniendo el desarrollo y desecando los frutos. Un mMho/cm = 1miliSiemen/cm (Ms/cm). La concentración total de elementos en una solución nutritiva deberá de ser de 1.000 y 1.500 ppm, de forma que la presión osmótica facilite el proceso de absorción por las raíces. Esto correspondería a las lecturas del contenido total de sales, entre 1,5 y 3,5 mMho (Resh, 2001).

El valor será más alto cuanto más fácil se mueve la corriente a través del mismo. Esto significa que a mayor CE, mayor es la concentración de sales. Se recomienda que la CE de un sustrato sea baja, en lo posible menor a 1dS m-1. Una CE baja facilita el manejo de la fertilización y se evitan problemas por fitotoxicidad en el cultivo (Barbaro et al., sf).

3.1.6.7. Luminosidad del ambiente

Montesdeoca (2008) "indica que la productividad del cultivo de lechuga así como sus características de color, sabor y textura, dependen en gran medida de la luminosidad solar, requiriendo aproximadamente 12 horas luz por día" (Ávila, 2015).

En ese sentido se debe cubrir con una malla Raschel de entre 35 y 50 % de sombra, dependiendo de la localidad y de la época del año. En zonas muy luminosas y cálidas se debe usar mayor sombreamiento (Saabedra, 2017).

3.1.7. Requerimientos nutricionales

Está demostrado que los elementos esenciales para el desarrollo de todas las plantas son dieciséis, todos ellos desempeñan funciones muy importantes en la vida de la planta y cuando están presentes en cantidades muy limitadas, pueden producir graves alteraciones y reducir notablemente el crecimiento; algunos de estos nutrientes son usados por las plantas en mayor cantidad, es por eso que se pueden clasificar como macronutrientes y micronutrientes (Gauggel, 2011). En el tabla 3 se muestra los requerimientos nutricionales para lechuga en ppm o mg/L.

Tabla 3. Requerimientos nutricionales para lechuga en ppm o mg/L.

N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
200	50	210	200	50	113	5	0,5	0,1	0,1	0,5	0,05

Fuente: (Resh, 2001)

3.1.8. Plagas y enfermedades

Los principales problemas en las plantas son las plagas y enfermedades. Las plagas son producidas por insectos, moluscos, pájaros, animales y nematodos (organismos que se pueden ver a simple vista). En las enfermedades, sin embargo, es más difícil de detectar la causa porque son producidos por microorganismos: hongos, bacterias, virus (Muñoz, 2015).

Las enfermedades causadas por los hongos son: Furarium (*Fusarium oxysporum*), mildiu en lechuga (*Bremia lactucae*), oidio (*Erysiphe cichoracearum*), pudrición gris (*Botrytis cinérea*), mancha foliar por Cercospora (*Cercospora longissima*), mancha foliar por Septoria (*Septoria lactucae*), podredumbre blanca (*Sclerotinia sclerotiorum* y *Sclerotinia minor*), podredumbre de pie (*Rhizoctonia solani*), pudrición radicular (*Pythium spp.*).

Las enfermedades causadas por bacterias son: Tizón bacteriano (*Pseudomonas cichorii*), mancha foliar marginal (*Pseudomonas marginalis*), mancha bacteriana (*Xanthomonas campestris*), pata negra (*Erwinia carotova*).

Las Enfermedades causadas por virus son: Vena ancha de la lechuga, virus del bronceado del tomate y virus de la mancha necrótica del *impatiens*.

Las Plagas son: Nematodos (*Meloidogyne sp*), Chizas (*Ancognata scarabaelodes*), gusano Alambre (*Agrotis lineatus*), babosas (*Milax gagates*), pulgones o áfidos, trips (*Frankliniella spp*), trozador (*Spodoptera sp*), minador (*Liriomyza huidobrensis*).

3.1.9. Producción de la lechuga a nivel mundial y nacional

3.1.9.1. Mundial

En el mundo los países con mayor producción de lechuga fueron: China, Continental fue el principal productor de lechuga en el mundo con 14.318.667 toneladas (51,8 %),

seguido por Estados Unidos de América con 4.402.375 toneladas (15,9 %) y India con 1.121.379 toneladas (4,1 %), por lo que estas 3 naciones representaron el 71,7 % de la producción mundial. Además, China, Continental (606.194 hectáreas), India (176.644 hectáreas) y Estados Unidos de América (107.690 hectáreas) fueron los países con mayor superficie cosechada, con el 49,4 %, 14,4 % y 8,8 % del total mundial, respectivamente, teniendo en conjunto el 72,6 % de la superficie mundial de este cultivo (Axaycatl, 2019).

3.1.9.2. Nacional

En el país hay dos tipos de comercialización de lechugas las formales e informales. Dentro de las formales tenemos los centros de acopios como mercados mayoristas, supermercados; en cambio el área informal va desde la venta directa de lechugas a pequeños comerciantes.

“La hidroponía es un método autosustentable y amigable con el medio ambiente con el que se producen plantas de alto valor nutricional con soluciones minerales en vez de suelo”, comentó a La Razón Jaime Candia, gerente general de Ecofresh, que instaló en Achumani un invernadero de 500 metros cuadrados con una capacidad de producción de hasta 2.000 lechugas por semana. El cultivo de hortalizas frescas, sanas y abundantes sin necesidad de usar tierra es un modelo de agricultura urbana comercial que va tomando forma en La Paz luego de haber incursionado en Santa Cruz y Cochabamba. En el país, varias empresas emplean esta técnica, como La Huerta y Valle Verde en La Paz, Hidro Natura en Santa Cruz e Hidroponía Boliviana en Cochabamba (Ibañes, 2019).

3.1.10. Comercialización

Para la comercialización, las lechugas se embalan individualmente en bolsas de plástico. Algunos agricultores dejan a la planta un trozo de raíz cuando las envasan, con la esperanza de incrementar su duración en el mercado con respecto a aquellas que no llevan raíz. Sin embargo, a los consumidores no les agrada la presencia de las raíces (Resh, 2001).

El precio de distribución oscila de Bs 5,70 a 6,50 la unidad y el de venta al público entre Bs 7,70 y 8,50. “La lechuga sembrada de forma tradicional cuesta Bs 9,50 y tiene un peso de entre 400 y 500 gramos; la hidropónica cuesta unos Bs 8, pesa de 250 a 350 gramos y contiene todos los elementos necesarios para la buena alimentación del ser humano”, afirmó el emprendedor (Ibañes, 2019).

3.2. Hidroponía

El término hidroponía se genera de dos palabras griegas: Hidro (agua) y ponos (labor o trabajo). La unión de estas palabras significa trabajar en agua (Brenes & Jiménez, 2002).

Es la técnica que más se utiliza para producir hortalizas en invernadero. Este sistema de producción requiere un continuo abastecimiento de nutrimentos, el cual se suministra por medio de una solución nutritiva (SN) que contiene los elementos esenciales para el óptimo desarrollo de los cultivos (Favela et al., 2016).

El cultivo de hidroponía, es una modalidad en el manejo de plantas, que permite su cultivo sin suelo. Mediante esta técnica se producen plantas principalmente de tipo herbáceo, aprovechando sitios o áreas no convencionales, sin perder en vista las necesidades de las plantas como luz, temperatura, agua y nutrientes. En sistemas hidropónicos el rendimiento de los cultivos pueden duplicar o más de los cultivos en suelo. Un cultivo hidropónico realizado en áreas confinada y climatizada, es un sistema altamente repetible, en consecuencia se ha constituido en unas herramientas valiosas para la investigación y la enseñanza. Hoy la hidroponía se vislumbra como una solución a la creciente disminución de las zonas agrícolas, productos de contaminación, la desertificación, el cambio climático y el crecimiento desproporcionado de las ciudades. Además, de ser una de las más fascinantes ramas de las ciencia agrícola (Beltramo & Gemenez, 2015).

Los cultivos hidropónicos o hidroponía pueden ser definidos como la ciencia del crecimiento de las plantas sin utilizar el suelo, aunque usando un medio inerte, tal como la grava, arena, turba, vermiculita, pumita o serrín, a los cuales se añade una solución de nutrientes que contiene todos los elementos esenciales necesitados por la planta para su normal crecimiento y desarrollo. Puesto que muchos de estos métodos

hidropónicos emplean algún tipo medio de cultivo, se les denomina a menudo “cultivo sin suelo” mientras que el cultivo solamente en agua sería el verdadero hidropónico (Resh, 2001).

Según Sylvia (1997) "en estos sistemas el medio de crecimiento y/o soporte de la planta está constituido por sustancias de diverso origen, orgánico o inorgánico, inertes o no inertes es decir con tasa variable de aportes a la nutrición mineral de las plantas. Podemos ir desde sustancias como perlita, vermiculita o lana de roca, materiales que son consideradas propiamente inertes y donde la nutrición de la planta es estrictamente externa, a medios orgánicos realizados con mezclas que incluyen turbas o materiales orgánicos como corteza de árboles picada, cáscara de arroz etc. que interfieren en la nutrición mineral de las plantas. Seguidamente se presenta una lista de materiales que pueden ser empleados como sustratos" (Gilsanz, 2007).

3.2.1. Historia

3.2.1.1. Pasado

La primera noticia científica escrita, próxima al descubrimiento de los constituyentes de las plantas, data de 1600, cuando Belga Jan Van Helmont mostró en su clásica experiencia que las plantas obtienen sustancias a partir del agua; plantó un tallo de sauce de 5 libras en un tubo con 200 libras del suelo seco al que cubrió para evitar el polvo. Después de regarlo durante cinco años había aumentado a 160 libras de su peso, mientras que el suelo apenas había perdido dos onzas. Su conclusión de que las plantas obtienen del agua las sustancias para su crecimiento era correcta; no obstante, le faltó comprobar que ellas también necesitan dióxido de carbono y oxígeno del aire. (Resh, 2001).

En 1699, John Woodward cultivó plantas en agua y encontró que el crecimiento de ellas era el resultado de ciertas sustancias en el agua obtenidas del suelo, esto al observar que las plantas crecían peor en agua destilada que en fuentes de agua no tan purificadas. En 1804, De Saussure expuso el principio de que las plantas están compuestas por elementos químicos obtenidos del agua, suelo y aire (Oasis, s.f.).

Otros trabajos de investigación habían demostrado por aquella época que las plantas podían cultivarse en un medio inerte humedecido con una solución acuosa que contuviese los minerales requeridos por las plantas. El siguiente paso fue eliminar completamente el medio y el cultivar las plantas en la solución que contenía dichos minerales; este último fue conseguido por dos científicos alemanes, Sachs (1860) y Knop (1861), lo cual fue el origen de la “nutriculture”, usándose aún hoy en día técnicas similares en los estudios en laboratorios de fisiología y nutrición vegetal (Resh, 2001).

Uno de los primeros éxitos de la hidroponía ocurrió durante la segunda guerra mundial cuando las tropas estadounidenses que estaban en el pacífico, pusieron en práctica métodos hidropónicos a gran escala para proveer de verduras frescas a las tropas en guerra con Japón en islas donde no había suelo disponible y era extremadamente caro transportarlas (Oasis, s.f.).

3.2.1.2. Presente

Con el desarrollo de los plásticos, los cultivos hidropónicos dieron otro gran paso adelante. Los plásticos libraron a los agricultores de las costosas construcciones, unidades a las bancadas de hormigón y tanques utilizados anteriormente. Los cultivos hidropónicos han llegado a ser una realidad para los cultivadores en invernadero, virtualmente en todas las áreas climáticas, existiendo grandes instalaciones hidropónicas a través del mundo, tanto para el cultivo de flores como de hortalizas (Resh, 2001).

3.2.1.3. Futuro

La alternativa de cultivo sin tierra será una opción real para producir alimentos, lo que garantizará el autoconsumo y producción alimentaria en las épocas difíciles de contingencias agroclimáticas y problemas ecológicos sostuvo Gloria Samperio Ruíz, presidenta de la Asociación Hidropónica Mexicana. La hidroponía ofrece una alternativa de producir alimentos sin tener que esperar a la lluvia o estar sujetos a los fenómenos de sequía y exceso de agua, fenómenos que han encarecido el desabasto de alimentos en todo el mundo (Ramírez, 2018).

La hidroponía es una ciencia joven, habiendo sido usada bajo una base comercial desde hace solamente cuarenta años; no obstante, aún en este relativamente corto período, ha podido adaptarse a diversas situaciones, desde los cultivos al aire y en invernadero a los altamente especializados en submarinos atómicos para obtener verduras frescas para la tripulación, eso es una ciencia espacial pero al mismo tiempo puede ser utilizado en países subdesarrollados de tercer mundo para proveer una producción intensiva de alimentos en áreas limitadas. Su única restricción son las fuentes de agua potable y nutrientes, aunque en áreas donde aquélla no existe, los cultivos hidropónicos pueden utilizar agua de mar por medio de la desalinización (Resh, 2001).

3.2.2. Ventajas y desventajas

Las ventajas en el uso de los sistemas hidropónicos pueden resumirse en los siguientes aspectos: Menor número de horas de trabajo y más livianas, no es necesario la rotación de cultivos, no existe la competencia por nutrientes, las raíces se desarrollan en mejores condiciones de crecimiento, mínima pérdida de agua, mínimo problema con las malezas, reducción en aplicación de agroquímicos y el sistema se ajusta a áreas de producción no tradicionales. Las desventajas en el uso de los sistemas hidropónicos pueden resumirse en los siguientes aspectos: Costo inicial alto, se requiere conocimientos de fisiología y nutrición, desbalances nutricionales causan inmediato efecto en el cultivo y se requiere agua de buena calidad (Gilsanz, 2007).

3.2.3. Tipos de sistemas hidropónicos

3.2.3.1. Cultivo de flujo laminar (NFT)

Según Gonzáles (2008). "La técnica hidropónica de cultivo con flujo laminar de nutrientes, conocida como NFT por sus siglas en inglés (Nutrient Film Technique), se originó en Inglaterra, con el fin de aumentar la productividad del sector de producción hidropónica mediante el uso total del espacio, crear un sistema cerrado donde recirculará la solución nutritiva, aprovechando al máximo el recurso hídrico y favorecer la absorción en los sistemas radiculares de las plantas" (Brenes & Jiménez, 2002).

Según Resh (2001). Para poder tener éxito con el mayor número de plantas deberán observarse los siguientes requisitos:

A. Aireación de las raíces. Esta puede conseguirse de varias formas. La primera, forzando la aireación (con una bomba o compresor), y se utiliza para hacer burbujear el aire dentro de la solución de nutrientes a través de una tubería perforada que se coloca en el fondo de la bancada o contenedor. La segunda forma será haciendo circular la solución de nutrientes por medio de una bomba a través de las bancadas, de forma que deba volver al tanque de nutrientes por un nuevo goteo.

B. Oscuridad en las raíces. Las plantas pueden funcionar normalmente si sus raíces están expuestas a la luz del día, siempre que podamos conseguir un 100 por 100 de humedad relativa de ésta; no obstante, la luz dará lugar al crecimiento de las algas, lo cual interferirá con el crecimiento de las plantas, puesto que originará a una competencia en la toma de nutrientes, reducirá la acidez de la solución, creará colores, competirá con el oxígeno durante la noche e introducirá productos tóxicos a través de su descomposición, los cuales interferirán normalmente en el crecimiento de éstas. Para eliminar el crecimiento de las algas se construyen las bancadas o contenedores con material opaco.

C. Soporte de las plantas. Las plantas pueden ser sostenidas utilizando una bandeja de malla que se coloque sobre la solución de nutrientes. Aunque se obtenían muy buenas cosechas con los primeros sistemas NFT, a experiencia ha demostrado que la formación del etileno dentro de los canales daba lugar a daños en las raíces, reduciendo esencialmente las cosechas de los tomates. Esta formación de etileno hacía precisa una modificación en la técnica para mejorar la ventilación.

3.2.3.2. Sistema flotante

El sistema flotante es el más sencillo de realizar, de bajo costo y no demanda el uso de energía extra. Consta de un recipiente en donde se coloca la solución nutritiva y sobre ella flotando la plancha de espuma que soporta las plantas. En este sistema es necesario realizar un cambio de solución semanalmente o al menos renovar parte de ella. Además se requiere la aireación del sistema por medio del agite de la solución diariamente. La desventaja de este sistema consiste en la necesidad de formulación frecuente de la solución nutritiva, la necesidad de airear el medio y prever la

contaminación del soporte de espuma por algas que se encuentran su fuente de alimento en la solución nutritiva, incentivadas por el acceso de la luz (Gilsanz, 2007).

El contenedor que aloja la solución nutritiva debe ser opaco para impedir la entrada de luz, ya que de lo contrario prosperarían algas en el interior. Asimismo, y por el mismo motivo, debe evitarse que queden áreas sin cubrir en la superficie de la solución. Es preciso garantizar la remoción de la solución nutritiva para permitir la entrada de oxígeno, la uniformidad en la concentración de nutrientes y controlar la temperatura (Castañares, s.f.).

3.2.3.3. Sistema (DFT)

El sistema DFT, se cataloga como un híbrido entre los sistemas cultivo de flujo laminar NFT y sistema flotante, presenta recirculación de la solución nutritiva igual que el NFT, por medio de una bomba, eliminando la necesidad de aireación y presenta la disposición de una plancha sobre la superficie de la solución nutritiva con las mismas ventajas y desventajas del sistema flotante. En este sistema pueden ser instalados preponderadamente los mismos cultivos que el sistema flotante: cultivos de hoja y plantas aromáticas (Gilsanz, 2007).

3.2.4. Nutrición mineral

En la nutrición mineral de las plantas no existe una diferencia fisiológica entre las plantas que crecen en cultivos hidropónicos y aquellas que lo hacen en el suelo. En el suelo, tanto los compuestos orgánicos como inorgánicos, deben ser descompuestos en elementos inorgánicos tales como el calcio, magnesio, nitrógeno, potasio, fósforo, hierro y otros, antes que ellos estén a disposición de las plantas; estos elementos están adheridos a las partículas del suelo y se intercambian en la solución de éste, donde son absorbidos por las plantas. En los cultivos hidropónicos, las raíces de las plantas son humedecidas con una solución de nutrientes que contienen estos elementos; por tanto, el proceso de utilización de los minerales por las plantas es el mismo (Resh, 2001).

Adams (1994) y Rincón (1997), "indica, la planta no absorbe nutrimentos en la misma cantidad durante el ciclo, ya que lo hace según la etapa fenológica y las condiciones

climática, por lo que el equilibrio iónico de la solución nutritiva se adapta al ritmo de absorción de la planta" (Chavez et al., 2006).

Las plantas toman el carbono del CO₂ del aire, el oxígeno y el hidrógeno lo toman del agua, por tanto, estos macroelementos no se les adicionarán (Zárate, 2014). En la siguiente tabla 4 se muestran los nutrientes utilizados por las plantas, símbolo o forma, forma en la que se absorben por la planta.

Tabla 4. Elementos utilizados por las plantas.

Elementos	Símbolo o forma	Forma en la que se absorben por la planta
Nitrógeno	N	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ ,
Fósforo	P ₂ O ₅	H ₂ PO ₄ , H PO ₄
Potasio	K ₂ O	K ⁺
Calcio	Ca	Ca ⁺⁺
Magnesio	Mg	Mg ⁺⁺
Azufre	S	SO ₄ ⁼
Hierro	Fe	Fe ⁺⁺ , Fe ⁺⁺⁺
Manganeso	Mn	Mn ⁺⁺
Zinc	Zn	Zn ⁺⁺
Cobre	Cu	Cu ⁺⁺
Molibdeno	Mo	Mo O ⁼
Boro	B	Borato
Cloro	Cl	Cl ⁻

Fuente: (Zárate, 2014)

3.2.4.1. Rol fisiológico de los macronutrientes

Nitrógeno (N). El nitrógeno es un nutriente esencial para los seres vivos, ya que es uno de los constituyentes principales de los aminoácidos, proteínas, enzimas, nucleoproteína, ácidos nucleicos, pared celular y clorofila. Debido a la importancia del nitrógeno en las plantas, junto al fósforo (P) y al potasio (K) se lo clasifica como macronutriente, el nutriente que en general más influye en el rendimiento y la calidad del producto a obtener en la actividad agropecuaria (Perdomo et al., sf).

Para una producción con mayor rentabilidad y buena calidad con valor nutricional, uno de los requisitos fundamentales es balancear los nutrientes que requiere el cultivo de lechuga y de los 16 nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas, el nitrógeno ejerce el mayor efecto sobre el crecimiento y rendimiento, es el único nutriente que se puede ser absorbido en tres formas: aniónica (NO_3^-), catiónica (NH_4^+), molecular [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] y como aminoácidos (Catari, 2019).

Interviene en la síntesis de las proteínas, la clorofila y el metabolismo vegetal. La deficiencia de nitrógeno se manifiesta, inicialmente, por la reducción del crecimiento vegetativo, con hojas de color verde pálido grisáceo. Cuando esta se agudiza las hojas exteriores adultas adquieren un color pálido y mueren. Los cogollos son de tamaño pequeño y en deficiencias severas pueden llegar a no formarse (Chilón, 1997).

El exceso de nitrógeno provoca un gran desarrollo vegetativo que retrasa el acollado y favorece la proliferación de hongos, en especial *Botrytis sp.* Durante el acollado es imprescindible asegurar un nivel alto, ya que es cuando la planta más lo demanda (Fajardo, 2016).

Potasio (K). Favorece la síntesis de carbohidratos, así como el movimiento de estas sustancias y su acumulación en ciertos órganos de reserva. Interviene en el metabolismo del Nitrógeno favoreciendo la síntesis de aminoácidos y proteínas. Actúa como activador enzimático. Ajustes en la apertura de los estomas y relaciones con el agua (Chilón, 1997).

El potasio mejora el rendimiento y la calidad de los cultivos de diferente manera. Por ejemplo, aumenta el contenido de azúcar en las frutas, el tamaño de las frutas en hortalizas, el contenido de proteínas en los cereales, ayuda a mantener una vida útil más larga de la cosecha, mejora la resistencia de las plantas a las enfermedades y la sequía (Cuy, 2021).

Según Gutiérrez (2010) las plantas que cubren las necesidades de potasio son más resistentes a condiciones adversas como el frío, la sequía, los ataques de plagas y enfermedades, así como la manipulación, el transporte, conservación y frescura de la lechuga. Deficiencias moderadas reducen el crecimiento. Los síntomas se inicial en

las hojas exteriores más viejas que presentan una clorosis en la periferia de los folíolos, que se destaca sobre el resto que se mantiene de color verde. Las hojas se muestran rizadas y abollonadas. Cuando la deficiencia es más acusada aparecen puntos necróticos sobre las manchas necróticas, que se van extendiendo en toda la superficie foliar. El aspecto general de la planta es alargado y con escasa vegetación (Fajardo, 2016).

Fósforo (P). Es un componente de ciertas enzimas y proteínas, adenosina trifosfato (ATP), ácido ribonucleico (ARN) y ácido desoxirribonucleico (ADN); el ATP participa en varias reacciones de transferencia de energía, el ARN y el ADN son componentes de la información genética; también el P forma parte del ácido fítico, principal forma de P en las semillas, intensifica el crecimiento radicular (Chavez et al., 2006).

El fósforo es absorbido por las plantas, principalmente como ion ortofosfato primario (H_2PO_3) aunque también se absorbe como ion fosfato secundario (HPO_3) (Erica, 2020).

Según Gutiérrez (2010) el fósforo ejerce una acción estimulante del desarrollo radicular y de la formación del cogollo. (Rincón, 2005) la deficiencia del fósforo se manifiesta inicialmente por una coloración verde oscura, con tintes púrpuras que comienza en el borde del folio, en el haz de la hoja y más intenso en las nerviaciones del envés. El crecimiento se detiene y se retrasa el acogollado. Cuando la deficiencia es acusada, las hojas exteriores se endurecen y toman una coloración púrpura; en fases avanzadas la deficiencia evoluciona a necrosis total de la hoja (Fajardo, 2016).

Calcio (Ca). Es absorbido por las plantas como ión calcio (Ca^{+2}). Las leguminosas son plantas que demandan mucho calcio de la solución del suelo para el proceso de nodulación. Debido a interacciones entre calcio, potasio, magnesio, su velocidad de absorción puede disminuir cuando existen altas concentraciones de potasio y/o magnesio en la solución del suelo. Su absorción puede ocurrir por mecanismos pasivos (como la transpiración), o por mecanismos activos (proceso que involucra gasto de energía por la planta, al realizar absorción). La mayor parte del calcio, dentro de las plantas, se encuentra en forma soluble, o asociado a coloides citoplasmáticos poco estables, como carboxilos, fosforilos, e hidroxifenoles. También puede precipitar

dentro de las vacuolas celulares, como fosfatos, carbonato y oxalato de calcio. El calcio es un elemento relativamente inmóvil dentro de la planta (Kass, 2017).

Rincón (2005) indica que los primeros síntomas de deficiencia de calcio se presentan por una reducción del crecimiento, el cual se inicia visualmente en las hojas jóvenes que crecen en forma de roseta, con presentación de una coloración más oscura que lo normal; alguna de ellas muestran forma de gancho. En estados avanzados las hojas aparecen totalmente cloróticas y los órganos más próximos a las regiones meristemáticas se ven fuertemente afectados; cesa el crecimiento de los mismos, lo que da la impresión que la planta ha sido cortada a esa altura. Las hojas y los tallos de los ápices se necrosan y mueren (Fajardo, 2016).

Magnesio (Mg). Las plantas lo absorben de la solución del suelo como ión magnesio (Mg^{+2}). Este elemento tiene relaciones antagónicas con el calcio y el potasio. Si la cantidad de magnesio es baja en relación con esos dos elementos en forma catiónica, disminuye su velocidad de absorción por las raíces de las plantas (Kass, 2017).

Es vital para la formación de la clorofila y en consecuencia en la realización de la actividad fotosintética. Interviene el balance de cationes, siendo antagónico con el K, Ca y Na (Chilón, 1997).

Gutiérrez (2010) indica que no es frecuente su deficiencia, en el caso de las soluciones nutritivas de hidroponía si se aseguran 2-2,2 milimoles/litro del catión magnesio. El elemento debe de estar bien equilibrado con el potasio y el calcio, puesto estos dos cationes puede inhibir su absorción. Según (Rincón, 2005) los primeros síntomas se hacen visibles en las hojas exteriores, puesto que es un elemento móvil. Al inicio, en las hojas jóvenes aparecen clorosis intervenal que va desde el centro de las hojas hasta los bordes. En estado adulto de la planta se produce un punteado necrótico no generalizado que se extiende formando manchas necróticas. En estado de carencia severa la mayoría de las hojas presentan coloración amarilla con el nervio central de color verde claro (Fajardo, 2016).

Azufre (S). Las plantas absorben azufre del suelo en forma oxidada, como sulfato (SO_4)⁻². También pueden absorber azufre gaseoso vía foliar, directamente de la atmósfera, como dióxido de azufre (SO_2). Algunos aminoácidos como la cisteína y

metionina pueden ser absorbidos por las plantas. Estos aminoácidos son formas orgánicas de azufre derivadas de la humificación de la materia orgánica del suelo (Kass, 2017).

(Davis et al., 1997) indican que cuando hay deficiencia de azufre las hojas de la lechuga se tornan de color verde amarillento y son tiesas y pequeñas. Las hojas jóvenes tienden a ser afectadas más seriamente y la planta mantiene forma de roseta. La deficiencia de azufre es improbable en la mayoría de las regiones de producción de lechuga, debido a las emisiones del dióxido de azufre y a la utilización de fertilizantes que contienen el elemento, tal como sulfato y superfosfato de amonio. Esto puede ocurrir en áreas con precipitación muy altas, especialmente si los suelos son gruesos y ácidos. El daño agudo inicia con un color marrón oscuro, manchas en las hojas, que se encrespan hacia arriba y caen. Las hojas se vuelven gradualmente amarillas, después blanquecinas y al final mueren (Fajardo, 2016).

3.2.5. Solución nutritiva

Steiner (1968) indica, una solución nutritiva consta de agua con oxígeno y de todos los nutrimentos esenciales en forma iónica y, eventualmente de algunos compuestos orgánicos tales como los quelatos de hierro y de algunos otros micronutrientes que puede estar presente (Chavez et al., 2006).

La formulación de nutrientes se da normalmente en ppm de la concentración de cada uno de los elementos esenciales. Una parte por millón es una parte de cada uno de ellos en un millón de partes de otro; esto puede ser una medida de peso, por ejemplo, $1\mu\text{g/g}$ (un microgramo por gramo); una medida de peso y volumen, por ejemplo, 1mg/l (un miligramo por litro), o un volumen utilizado como medida, por ejemplo, $1\mu\text{l/l}$ (un microlitro por litro) (Resh, 2001).

3.3. Fertilización foliar

La fertilización foliar es la aplicación de nutrientes a través de las hojas, para corregir, aumentar y suplir la falta o deficiencia de algunos elementos que no lograron ser absorbidos de manera eficiente por las raíces de la planta por condiciones varias (pH del suelo, estrés por temperatura, humedad, enfermedades radiculares, presencia de

plagas, desequilibrios de nutrientes en el suelo) (Brandt, s.f.). Los temas relacionados a fertilización foliar son complejos y variados, aunque existe mucha información, se encuentra dispersa y en muchos casos poco accesible. El conocimiento de las bases y fundamentos de esta herramienta agronómica es muy importante fundamentalmente para todos los técnicos y profesionales (Melendez & Molina, 2002).

Los abonos foliares nos ayuda a corregir rápidamente deficiencias nutricionales en la planta, además nos ayuda a mejorar el sistema de defensa de nuestras plantas ante el ataque de plagas o enfermedades. Estos abonos foliares tienen un efecto de choque en las plantas porque sus efectos se pueden apreciar con rapidez (Toni, 2022).

En la siguiente tabla 5 se aprecia la tolerancia de concentración de nutrimentos en aplicaciones foliares.

Tabla 5. Tolerancia de concentración de nutrimentos en aplicaciones foliares

Nutrimento	Fertilizante	Kg/400 L agua (*)
Nitrógeno	Urea	3 – 5
	NH ₄ NO ₃ , (NH ₄) ₂ HPO ₄ , (NH ₄) ₂ SO ₄	2 – 3
	NH ₄ CL, NH ₄ H ₂ PO ₄	2 – 3
Fósforo	H ₃ PO ₄	1,5 – 2,5
Potasio	KNO ₃ , K ₂ SO ₄ , KCL	3 – 5
Calcio	CaCl ₂ , Ca(NO ₃) ₂	3 – 6
Magnesio	Mg SO ₄ , Mg(NO ₃) ₂	3 – 12
Hierro	Fe SO ₄	2 – 12
Manganeso	Mn SO ₄	2 – 3
Zinc	Zn SO ₄	1,5 – 2,5
Boro	Sodio borato	0,25 – 1
Molibdeno	Sodio molibdeno	0,1 – 1,15

Fuente: (*) 400 L, cantidad superficie para 1ha de cultivo. Tomado de (Fagera et al., 1997). Citado por (Melendez & Molina, 2002)

Por lo tanto, la fertilización foliar efectiva (excelente calidad), apoyado en una asesoría técnica responsable (dosificación, elemento nutricional requerido y etapa fisiológica indicada) y una correcta aplicación (equipos y forma de apropiado), promueve un mejor

estado sanitario de las plantas en general y el incremento en el rendimiento de los cultivos (Brandt, s.f.).

3.3.1. Categorías de fertilización foliar

De acuerdo con el propósito que se persigue, la fertilización foliar se puede dividir en seis categorías según (Melendez & Molina, 2002).

Fertilización correctiva. Es aquella en la cual se suministran elementos para superar deficiencias evidentes, generalmente se realiza en un momento determinado para la fenología de las plantas y su efecto es de corta duración cuando las causas de la deficiencia no son corregidas.

Fertilización preventiva. Se realiza cuando se conoce de un determinado nutrimento es deficiente en el suelo y que a través de esta forma de aplicación se resuelve el problema; un ejemplo de esto es la aplicación de Zn y B en café.

Fertilización sustitutiva. Se pretende suplir las exigencias del cultivo exclusivamente por vía foliar, un buen ejemplo el manejo del cultivo de piña. En la mayoría de los casos es poco factible suplir a las plantas con todos sus requerimientos nutritivos utilizando exclusivamente la vía foliar, debido a la imposibilidad de aplicar dosis altas de macronutrientes. En el cultivo de café el uso de solamente fertilizantes foliares sin abonamiento al suelo (seis aplicaciones al año), se ha obtenido una producción 18% en relación con la fertilización al suelo.

Fertilización complementaria. Consiste en aplicar una fracción del abono al suelo otra al follaje, generalmente se utiliza para suplir micronutrientes y es uno de los métodos más utilizados en una gran cantidad de cultivos.

Fertilización complementaria en estado reproductivo. Puede realizarse en aquellos cultivos anuales en los cuales durante la floración y llenado de las semillas, la fuerza metabólica ocasionada por ellos, reduce la actividad radicular lo suficiente como para limitar la absorción de iones requeridos por la planta.

Fertilización estimulante. Consiste en la aplicación de formulaciones con NPK, en las cuales los elementos son incluidos en bajas dosis, pero en proporciones fisiológicamente equilibradas, las cuales inducen un efecto estimulador sobre la

absorción radicular. Este tipo de abonamiento es recomendado en plantaciones de alta productividad, de buena nutrición y generalmente se realiza en períodos de gran demanda nutricional, o en períodos de tenciones hídricas.

3.3.2. Siete secretos de relevancia en la fertilización foliar

Se presentan los 7 secretos de altísima relevancia en la fertilización foliar, es fundamental conocerlos, para lograr visualizar y obtener el máximo beneficio de este tipo de nutrición según (Brandt, s.f.).

Todos los fertilizantes deber ser hidrosolubles o solubles en agua. Esta condición es fundamental, es la única forma en la cual el fertilizante tiene la oportunidad real de ser absorbido por las hojas (por cualquiera de las tres vías posibles: los estomas, los poros transcuticulares y las grietas de la cutícula) es importante aclarar que estas tres vías no producen cera, pero si contienen agua en su interior, por lo tanto, para garantizar el ingreso de cualquier fertilizante foliar, este debe ser soluble en agua (o de lo contrario no es viable su ingreso). Los poros transcuticulares son la principal vía de ingreso de la nutrición foliar, debido a la abundancia comparando con el número de estomas y grietas cuticulares.

Todos los fertilizantes foliares deben tener como un tamaño inferior o igual al diámetro promedio de los poros transcuticulares. Esta condición se hace fundamental, ya que el diámetro medio de los poros transcuticulares es de 0,35 nanómetros (nm) en promedio, por lo que el diámetro máximo de un fertilizante foliar debe ser de este mismo tamaño o menor. Cualquier fertilizante con tamaño mayor a 0,35 nm (como es el caso de los quelatos EDTA, EDDHA, DTPA, HEDTA, NTA, algunos aminoácidos de gran tamaño y ácidos húmicos), no será capaz de atravesar dichos poros para poder garantizar que ingrese a la planta.

El floema es un tejido restrictivo. Es pertinente recordar y tener presente siempre que el floema es un tejido que solo permite el ingresa del agua, azúcares, fitohormonas y nutrientes. La savia elaborada (la que se transporta por el floema), está compuesta básicamente por agua, azúcares (más del 80% de la savia elaborada en base seca son azúcares), fitoreguladores (incluidos los aminoácidos, nucleótidos y aminos), algunos minerales disueltos y ácidos orgánicos. Es importante aclarar que los

aminoácidos no se encuentran habitualmente en el floema y aparecen en él circunstancialmente, por algunas situaciones especiales (sólo ocurre para algunos aminoácidos y en concentraciones muy bajas).

La efectividad de la translocación de un fertilizante foliar depende su movilidad real en el floema. Los fertilizantes foliares con base a azúcares, tendrán una mayor y más efectiva posibilidad de translocarse internamente (hacia el punto de utilización del mismo), ya que el mas del 80% de la sabia elaborada en base seca, son azúcares; y por lo tanto el tejido floemático al identificar azúcares en su estructura, los movilizará mucho más fácil y rápidamente. Los fertilizantes foliares con base en grupos carboxílicos, amino, ligno-sulfonatos y quelatos deben ser tranformados por la planta en moléculas que puedan ser identificadas por el floema lo que implica un consumo de energía por parte de la planta, para poder llevarlos a azúcares disponibles. Los fertilizantes con base en sales (nitratos, sulfatos), aunque algunos son hidrosolubles y de tamaño pequeño, en su mayoría ingresan fácilmente por los poros cuticulares: son altamente reactivos, por lo que una vez que ingresan a la hoja, tienden a reaccionar con los diferentes ácidos orgánicos que se producen al interior de ellas (por ejemplo con el ácido oxálico), y de esta forma, se bloquea y no se logra la movilidad de los elementos a través del floema hacia los diferentes puntos de crecimiento.

Los análisis foliares no son garantía ni reflejo de la efectividad del fertilizante foliar empleado. Existe la creencia de que un análisis foliar, realizando cierto tiempo después de la aplicación de los fertilizantes foliares, mostrará la efectividad del ingreso y translocación del mismo en la planta. Nada más lejos de la realidad. La explicación de esta situación tiene 2 componentes: muchos de los fertilizantes foliares que debido a su alto peso molecular y gran tamaño no pueden ser absorbidos por las hojas, quedan adheridos o pegados a estas; y al momento de hacer dicho análisis foliar, los resultados presentarán alto contenido de nutrientes o elementos al anterior de la planta. En muchas ocasiones, en los cuales se realizan la aplicación de fertilizantes foliares a los cultivos, los elementos suministrados foliarmente logran ingresar a las hojas; sin embargo, dada la naturaleza química de la fuente y sistemas complejantes, estos nutrientes aún no se transforman en formas disponibles para ser transportados por el floema y se quedan en la hoja (incluidas las vacuolas), y por lo tanto, marcan

presencia del nutriente en un análisis foliar, pero realmente no se logra la translocar (o lo hace de manera muy lenta e ineficiente) a los puntos de crecimiento.

La evaluación de la efectividad real del uso de un fertilizante foliar se debe realizar mediante variables de crecimiento, rendimiento y calidad de los cultivos.

Por lo tanto, y luego de muchos años de experiencia sobre el tema de evaluación de efectividad de la fertilización foliar, se ha definido que la manera más adecuada y contundente de hacer dicha evaluación, es la valoración sobre variables claras y sencillas de medir, como es el caso de variables de crecimiento, producción o calidad, que estén asociados/relacionadas directamente con la acción de los fertilizantes foliares (o de los nutrientes) que se están aplicando.

Los fertilizantes foliares se aplican de forma preventiva. Es fundamental tener presente que el momento de la aplicación de los fertilizantes foliares debe hacerse de forma preventiva (y complementaria a la nutrición edáfica), y no cuando se presenten los síntomas de deficiencias de nutrientes. La fertilización foliar es muy efectiva como parte del plan de nutrición de un cultivo, y puede apoyar en etapas tempranas frente a deficiencias rápidamente detectadas; pero definitivamente no es una solución definitiva frente a situaciones críticas y síntomas avanzados. En otras palabras, los fertilizantes foliares actúan como preventivos, no como curativos.

3.3.3. Factores que afectan la fertilización foliar

Los factores que afectan a la fertilización foliar son las siguientes según (Melendez & Molina, 2002).

Asociados con la planta. La presencia de tricomas, pelos o pubescencias superficiales en las hojas y frutos aumentan la absorción de soluto debido a dos factores diferentes, primero al aumentar la superficie de contacto de líquido por la reducción de la tensión superficial, como el resultado de una fragmentación del tamaño de las gotas en contacto con las hojas y segundo debido a que en la base de estas estructuras el espesor de las cutículas es menor. Las plantas tienen un sistema de control que les permite reducir o detener la absorción de un determinado nutrimento cuando este se encuentra en un nivel adecuado en la planta.

Por otro lado, en presencia metabólicos y en ausencia de luz se afecta notablemente la absorción foliar de nutrimentos como muestra la tabla 6 efecto de la luz y de un desacoplante de la respiración sobre la absorción foliar de potasio en segmentos de hojas de maíz.

Tabla 6. Efecto de la luz sobre la absorción foliar de potasio.

Tratamiento	Absorción de potasio (um g ⁻¹ MF h ⁻¹)
Testigo	Sin luz con luz
2,4D (10-5 M)	0,2 2,0
Porcentaje de inhibición	91 46

Fuente: Tomado de (Rains, 1968)

La exposición a la radiación solar y de las tenciones hídricas provocadas por la deshidratación, tiene un efecto directo en el aumento del espesor de las cutículas y en una reducción de la permeabilidad de la misma.

Asociados con el ambiente. Con el aumento de la temperatura hacia ciertos límites se incrementa la absorción de nutrimentos.

En general, el incremento de la humedad relativa tiene un efecto positivo sobre la absorción foliar de nutrimentos debido a su efecto sobre el espesor de la camada de aire limítrofe sobre la hoja, permitiendo de esta manera mantener los solutos aplicados en la solución y con ello facilitando su penetración en las hojas, por el contrario una aplicación que se realice en horas del día donde la humedad relativa sea muy baja, tiene el riesgo de provocar en el caso de que la concentración de la solución sea alta o moderada, esto como resultado de un rápido secado de la solución sobre la superficie de la hoja. Por otro lado, el factor viento y radiación puede afectar la penetración de nutrimentos debido al efecto de estos elementos sobre la cobertura del líquido en la superficie de las hojas y sobre el grosor de la cutícula que se asocia con el incremento de la radiación (Artal, 2020).

Asociación con la solución. La absorción y transporte de nutrimentos a través de las hojas depende grandemente del tipo y movilidad del elemento que se trate. En la tabla

7 se observa los nutrimentos que se absorben por el follaje con una velocidad notablemente diferente.

Tabla 7. Valores de referencia para absorción de elementos de vía foliar

Elemento	Tiempo (para que ocurra un 50% de absorción)
Nitrógeno (urea)	0,5 a 2 h
Fósforo	5 a 10 días
Potasio	10 a 24 h
Calcio	10 a 24 h
Magnesio	10 a 24 h
Azufre	5 a 10 días
Cloruro	5 a 4 días
Hierro	10 – 20 días
Manganeso	1 – 2 días
Zinc	1 – 2 días
Molibdeno	10 a 20 días

Fuente: (Melendez & Molina, 2002)

3.4. Humus de lombriz o vermicompost

La palabra “humus” es muy antigua, data de 2.000 años A.C. y se la designa su uso a la civilización griega, su significado etiológico en griego antiguo es “cimiento”. Para ellos el humus era aquel, material orgánico de color marrón oscuro, de consistencia pastosa que resulta de la descomposición de los restos vegetales y animales que se encuentran en el suelo; su contenido y aplicación en el terreno produce mejores cosechas por esto atribuían gran importancia desde el punto de vista de fertilidad (Agroflor, 2022).

El lombricompost (humus) es un producto granulado, oscuro, liviano e inoloro; rico en enzimas y sustancias hormonales; posee un alto contenido de microorganismos, lo que hace superior a cualquier otro tipo de fertilizante orgánico conocido (Peñaherrera, 2021).

Es el grado superior de la descomposición de la materia orgánica. Superando al compost en cuanto abono, siendo ambos orgánicos. La materia orgánica se descompone por vía aeróbica o por vía anaeróbica. El compost, es obtenido de manera natural por descomposición aeróbica (con oxígeno) de residuos orgánicos con restos vegetales, animales, excrementos y purines por medio de la reproducción masiva de bacterias que están presentes en forma natural en cualquier lugar (Martínez, 2017).

(Somarriba et al., 2004). Menciona que el humus es rico en hormonas, sustancia producidas por el metabolismo secundario de las bacterias que estimulan los procesos biológicos de la planta. Estos agentes reguladores del crecimiento son: Las auxinas, que provocan el alargamiento de las células de los brotes, incrementa la floración, la cantidad y dimensiones de los frutos; las giberelinas, que favorecen el desarrollo de las flores, la germinabilidad de las semillas y aumenta la dimensión de algunos frutos; las citoquininas, retardan el envejecimiento de los tejidos vegetales, facilita la formación de los tubérculos y la acumulación de los almidones (Hérendez, 2019).

Según Torres & Hidalgo (2017), el humus es un abono rico en hormonas, sustancias producidas por el metabolismo secundario de las bacterias que estimulan los procesos biológicos de la planta. Estos agentes de reguladores de crecimiento son:

- Las auxinas, que provocan el alargamiento de las células de brotes, incrementa la floración, la calidad y dimensión de los frutos.
- Las Giberelinas, que favorecen el desarrollo de las flores, la germinabilidad de las semillas y aumenta la dimensión de algunos frutos.
- Las Citoquininas, retardan el envejecimiento de los tejidos vegetales, facilitan la formación de los tubérculos y la acumulación de almidones en ellos.

Cuando se emplea vermicompost o humus de lombriz maduro como fertilizante, no hay problema de sobredosificación debido a exceso de nutrientes ya que estos se liberan gradualmente a diferencia de los que sucede con métodos de fertilizantes industriales (Mikolic et al., 2018).

En el siguiente tabla 8, se muestra el análisis de humus de lombriz en varios laboratorios de Chile, Ecuador, Italia, España. Arrojan los siguientes resultados que debemos considerar como promedio (Agroflor, 2022).

Tabla 8. Análisis de humus de lombriz

Elemento	Unidad	Rango	
pH		6,8	7,2
Materia Orgánica	%	30	50
CaCO3	%	8	14
Ceniza	%	27	67
Carbono Orgánico	%	8,7	38,8
Nitrógeno Total	%	1,5	3,35
Amonio NH4/N	%	20,4	6,1
Nitrato NO3/N	%	79,6	97,0
N-NO3	ppm	2,18	1,693
Capacidad de Intercambio catiónico CIC	meq/100 grs	150	300
Relación ácidos húmicos/fúvicos		1,43	2,06
P total	ppm	700	2,500
K total	ppm	4,400	7,700
Ca total	%	2,8	8,7
Mg total	%	0,2	0,5
Mn total	ppm	260	576
Cu total	ppm	85	460
Zn total	ppm	87	404
Capacidad de retención de agua	c.c./kilo seco	1,300	1,500
Actividad fitohormonal	1 mgr/1 de CHS	0,01	
Actividad específica	M2/gr	700 m2	800 m2
Relación C/N		9	13
Flora microbiana	Millones/gr.s.s.	20,000	50,000

Fuente: (Agroflor, 2022)

➤ **Ácidos húmicos y ácidos fúlvicos**

Los ácidos húmicos y ácidos fúlvicos son complejas agrupaciones macromoleculares en las que las unidades fundamentales son compuestos aromáticos de carácter fenólico procedentes de la descomposición de la materia orgánica y compuestos nitrogenados, tanto cíclicos como alifáticos (Payeras, 2012).

Las principales propiedades respecto al "pH" que definen a los Ácidos Húmicos, son insoluble en agua, solubles en medio básico y que precipitan en medio ácido y respecto a las principales propiedades al "pH" que definen a los Ácidos Fúlvicos, son solubles en agua tanto en medio ácido como medio básico, y por tanto, no precipitan en medio ácido (Zaragoza, 2012).

Los ácidos húmicos son un grupo de moléculas heterogéneas presentes en los suelo, siendo la parte activa de la materia orgánica. Están compuestos por una mezcla de moléculas carbónicas complejas que se forman por descomposición y oxidación de materia orgánica. Las sustancias húmicas presentan hasta el 80 % del TOC (carbono orgánico total) del suelo. Mejoras en el crecimiento microbiano. Proporcionan una fuente de carbono que sirve como fuente de alimento para los microbios , en segundo lugar, debido a sus gran tamaño, proporcionan una fuente de colonización para la microflora (Artal, 2020).

Las principales características de los ácidos húmicos son las siguientes: Actúan directamente sobre la nutrición de las plantas; liberan nutrientes fijadoras en el suelo, estabilizan el pH, aumenta la permeabilidad del suelo y su aireación, poniendo a su disposición de las raíces más CO₂ para su correcta respiración; produce agregados con otras partículas inorgánicas, evitando el encharcamiento del suelo; evita la retrogradación del fósforo y la potasa formando humatos y humofosfatos, mejorando el estado nutricional de la planta (Payeras, 2012).

Otras características importantes a mencionar son: Tienen cargas positivas y negativas, alto peso molecular, mayor capacidad de intercambio catiónico, mayor capacidad de retención de agua, promueven la actividad microbiana, ayuda a crear una estructura del suelo que facilita la infiltración del agua, quelatan las toxinas, ayuda a estabilizar los efectos de cambios en la temperatura del suelo, disminuye la velocidad

de evaporación del agua, en suelos arcillosos ayuda a mejorar la estructura del suelo, en suelos arenosos con bajas cantidades de materia orgánica ayuda a aumentar el intercambio de cationes de macro y micro nutrientes (Artal, 2020).

Los ácidos fúlvicos procede de la palabra "fulvus", amarillo, en referencia al color que suele mostrar. Los efectos son principalmente en la parte subterránea de las plantas, ya que posee un extraordinario poder estimulante en la raíz. Por esta razón son utilizados como enraizantes. Posee la capacidad de formar quelatos con otros elementos nutritivos, aumentando su biodisponibilidad por la planta (Payeras, 2012).

3.4.1. Ventajas del humus de lombriz

Según (Narváez, s.f.), las ventajas de su utilización de humus de lombriz son:

- Produce el aumento del tamaño de la planta, protege de enfermedades y cambios bruscos de humedad y temperatura durante todo el año.
- Su elevada solubilización, debido a la composición enzimática y bacteriana, proporciona una rápida asimilación por las raíces de las plantas.
- Contiene cuatro veces más nitrógeno, veinticinco veces más fosforo, y dos veces y medio más potasio que el mismo peso de estiércol bovino.
- Posee una elevada carga microbiana del orden de los 20 mil millones por gramo, contribuyendo a la protección de la raíz de bacterias y nematodos.
- Produce hormonas como el ácido indol acético y ácido giberélico, los cuales estimulan el crecimiento y las funciones vitales de las plantas.
- Evita y combate la clorosis férrica, facilita la eficacia del trabajo mecánico en el campo, aumenta la resistencia de las heladas y favorece la formación de micorrizas.
- Al tener un pH neutro no presenta problemas de dosificación ni de fototoxicidad, por lo cual es posible aumentar la dosis recomendada.
- Puede ser aplicado en toda época del año extendiéndose sobre la superficie del terreno, regando posteriormente para que la flora bacteriana se incorpore rápidamente al suelo.

- Posee una alta superficie específica, lo cual se traduce en una mayor superficie de contacto que permite retener más agua, disminuyendo así la frecuencia de riego.
- Tomando en cuenta que el humus capta agua, que presenta un tamaño de partícula pequeña y baja plasticidad y cohesión, hace que sea un excelente sustrato de germinación, ya que permite que las semillas germinen y emerjan sin encontrar a su paso barreras mecánicas que eviten o retrasen su salida a la superficie.
- La actividad residual de humus se mantiene en el suelo hasta cinco años.

3.4.2. Propiedades del humus de lombriz

3.4.2.1. Propiedades físicas

Posee propiedades coloidales, aumenta la porosidad, aireación, infiltración y retención del agua del suelo. Mejora la estructura, dándoles menor densidad aparente a los suelos pesados y compactos aumentando la unión de todas las partículas en los suelos arenosos, mejora la permeabilidad y aireación, reduce la erosión del suelo, incrementa la capacidad de retención de humedad, confiere color oscuro al suelo reteniendo calor (Diaz, 2002).

Es un material suelto de textura granulada. Su uso puede ayudar a mejorar las condiciones físicas del suelo, especialmente en suelos arcillosos, favoreciendo un buen desarrollo de las raíces de las plantas (Brechelt, s.f.).

3.4.2.2. Propiedades químicas

Incrementa nuestra disponibilidad de nitrógeno, Fosforo y Azufre y, fundamentalmente, actúa favorablemente respecto al nitrógeno; incrementa también la eficiencia de fertilización, particularmente con el Nitrógeno; estabiliza la reacción del suelo debido a su alto poder buffer; inactiva los residuos de plaguicidas debido a su capacidad de absorción; inhibe el crecimiento de hongos y bacterias patógenas (Diaz, 2002).

3.4.2.3. Propiedades biológicas

Contiene una elevada carga enzimática y bacteriana, lo cual beneficia en la solubilización de nutrientes y permite su absorción por los sistemas de raíces. La carga

de microorganismos contenida en el humus de lombriz permite hacer una reactivación biológica del suelo, donde van contenidos especies de microorganismos que ayudan en la nutrición de los cultivos. En este sentido, después de su aplicación se recomienda regar para que la flora bacteriana se incorpore rápidamente al suelo (Fertilab, 2022).

Los microorganismos que colaboran en los procesos de formación de suelo, solubilizan nutrientes para ponerlos a disposición de las plantas y previene el desarrollo de las altas poblaciones de otro microorganismos causantes de enfermedades en las plantas (Brechelt, s.f.).

Estimula la bioactividad, al tener los mismos microorganismos benéficos del suelo pero en mayor cantidad, creando un medio antagónico para algunos patógenos existentes, neutraliza sustancias tóxicas como restos de herbicidas, insecticidas, etc. Solubiliza elementos nutritivos poniéndolos en condiciones de ser aprovechados por las plantas gracias a la presencia de las enzimas que incorpora y sin las cuales no sería posible ninguna reacción bioquímica (Hernández, 2019).

Bollo (1999) La gran abundancia microbiana de los vermicompostajes viene dada, principalmente, por el mismo proceso de elaboración, en donde los sustratos pasan a través del sustrato digestivo de la lombriz, la cual posee una flora microbiana que alcanza unos 500 mil millones de microorganismos (Durán, 2007).

3.4.3. Descripción del té de humus

Se le conoce como; té de lombriz, humus líquido, té de vermicompost, té de humus, té de caca de lombriz o incluso el "oro líquido". Está desarrollado a partir de humus de lombriz al que se le pasa agua, que después es oxigenada. Gracias a la oxigenación extra del agua, se produce una floración de los microorganismos y un gran aporte de Nitrógeno, Potasio, Calcio, Magnesio y Fosfato además de otros muchos elementos (Bio Noa Autoflower, 2021).

Una razón para aplicar el té de humus de lombriz a tus plantas es la rápida absorción por parte de la planta, a diferencia del humus sólido, que es un proceso de liberación lenta. Al igual que tú tomas suplemento en forma líquida, las plantas reciben sus suplementos en forma líquida también en una asimilación rápida (Lombritec, 2020).

Con respecto al té humus de lombriz Villanueva (2016) puntualiza que es una preparación que convierte el humus sólido en un abono líquido en el proceso de hacerse té, el humus suelta sus nutrientes al agua y así son disponibles para el cultivo, cabe acentuar la importancia del humus de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) (Ticona, 2021).

Cuando se pulveriza el humus de lombriz líquido sobre las hojas y el follaje, los microbios causantes de las enfermedades malas vuelven a estar en inferioridad frente a los microbios buenos, lo que provoca que no puedan repoblarse hasta un punto de hacerse en toda la planta. El té de humus de lombriz también ayuda a la planta a crear la cutícula, la capa cerosa en la parte superior de su epidermis. Esta superficie cerosa protege las hojas de las inclemencias del clima (hielo, calor extremo) y reduce los ataques de ciertos microorganismos insectos dañinos (Lombritec, 2020).

3.5. Costo – beneficio

Según Rosebud (2005). El Análisis Costo-Beneficio (ACB) tiene como objetivo determinar si un proyecto es económicamente eficiente y qué tan eficiente es (si las modificaciones en el objetivo pudieran incrementar su eficiencia). Por tanto, la principal ventaja del ACB, es que permite la comparación directa de los costos y beneficios (Rivera & Mendoza, 2009).

Los costos variables son aquellos costos que pueden variar dependiendo de la cantidad de bienes o servicios que una empresa produce. Esto significa que, cuando mayor sea el volumen de producción, mayor será el valor de los costos variables (Torres, 2022).

El costo fijo son todos los pagos mínimo invariables e imprescindibles que debe hacer una empresa o negocio periódicamente para continuar funcionando. Estos costos siempre se deben pagar, independientemente del nivel de producción (Maejo, 2021).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Localización

4.1.1. Ubicación geográfica

El presente trabajo de investigación se realizó en el Centro Experimental de Cota Cota, dependiente de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, se encuentra situado a 15 Km al sureste del centro de la ciudad de La Paz en la zona de Cota Cota, provincia Murillo del departamento de La Paz, a 3445m.s.n.m. Geográficamente se encuentra a 68°03'44'' de Longitud Oeste y 16°33'04'' de Latitud Sur.

4.2. Materiales

4.2.1. Material vegetal

Las semillas utilizadas fueron: Semilla de lechuga variedad White Boston (señorita o mantecosa) y semilla de lechuga variedad Waldman's Green (crespa).

4.2.2. Material para la elaboración de té de humus de lombriz

Los materiales utilizados para realizar el té de humus de lombriz fueron: Humus de lombriz (adquirido del Centro Experimental de Cota Cota, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés), fibra nylon, oxigenador de pecera, recipiente, balanza analítica y agua.

4.2.3. Material del sistema NFT

Los materiales utilizados en el sistema NFT fueron: Fierro angular, llave stillson, bomba de agua de 1 Hp, tanque de agua de 1200 lt, tubos PVC de 75 mm, codo PVC de 75 mm, tapón hembra de 75 mm, remachador, pegamento para PVC, taladro, Banner, llave de paso, emisor de 2 mm, micro tubo de 2 mm, remaches y tubo "T" de PVC de 75 mm.

4.2.4. Material de contenedor

Los materiales del contenedor fueron: Oxigenador de pecera, agrofilm, madera, fierro angular, clavos, esponja (poliuretano), malla raschel, plastaformo y cautín.

4.2.5. Material de campo

Los materiales de campo utilizados fueron: Balanza analítica, pH-metro, conductímetro, cuaderno de registro, termómetro de temperaturas máximas y mínimas, atomizador y cinta métrica.

4.2.6. Sales nutritivas

Las sales nutritivas utilizadas fueron: Fertilizante 16-16-16, nitrato de potasio KNO_3 , nitrato de calcio $Ca(NO_3)_2$, sulfato de magnesio $MgSO_4$ y micronutriente Cosmo Quel.

4.2.7. Material de gabinete

Los materiales utilizados en gabinete fueron: Planilla de datos, calculadora, lapiceros, computadora, impresora, papel resma bond y engrapadora.

4.3. Metodología

Se realizó bajo un enfoque cuantitativo, es decir se utiliza la recolección de datos para probar la hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías. Cada paso descrito a continuación en la metodología fue fundamental para llegar a los resultados con su posterior conclusión y recomendación.

4.3.1. Procedimiento experimental

➤ Adecuación del sistema hidropónico.

El Centro Experimental de Cota Cota ya contaba con las estructuras en "A", tanque recolector, canales de cultivo, sistema de distribución para riego, bomba eléctrica de 1 Hp y tubería recolectora. Estas estructuras en "A" se pusieron a una pendiente de 2 por 100 desde el terminal de la entrada, de orientación de norte a sur, para que la sombra de un lado no se proyecte sobre el otro. Para los canales de cultivo de tubo PVC de 75 mm cortados por la mitad en la parte superior se puso banner que seguidamente efectuaron pequeños cortes de forma circular con un diámetro de 3 cm.

➤ Refrigeración de las semillas.

Se colocó las semillas sobre un papel húmedo para asegurar la humedad constante de las semillas, inmediatamente se introdujo en un frigorífico a 3°C durante 48 horas,

con una cantidad de 450 semillas de White Boston y 900 semillas de Waldman's Green. Todo este procedimiento se realizó para romper la dormancia de todas las semillas.

➤ **Elaboración de bandeja de flotantes y cubos de propagación.**

Para la elaboración de bandejas flotantes, se realizó unos orificios de 2,5 cm de radio en el plastaformo que tenía un espesor de 3,0 cm para luego desinfectarla con lavandina al 5 %.

Los cubos de propagación se realizaron con esponja de 3,0 cm de espesor y con un diámetro 2,5 cm; cada cubo de propagación tenía un pequeño agujero en el centro aproximado de 0,6 cm de diámetro con una profundidad de 2,0 cm, con su posterior desinfección de los cubos de propagación con vinagre blanco al 50 % y la saturación extrema de agua.

➤ **Germinación.**

Para la germinación de las semillas se colocó los cubos de propagación empapados con agua en una bandeja de plástico e inmediatamente se colocó 3 semillas de White Boston por cada cubo de propagación y 5 semillas de Waldman's Green por cada cubo de propagación. Las bandejas de plástico junto con los cubos de propagación y las semillas se introdujeron en una caja de madera para así someterlas a oscuridad durante 72 horas. Se atomizó con agua cada día para mantener la humedad de las esponjas y asegurar la germinación.

➤ **Traslado de semillas germinadas al contenedor.**

El Centro Experimental de Cota Cota ya contaba con el contenedor construido con unas dimensiones de 90 cm de ancho, 104 cm de largo con 15 cm de alto; solo se hizo unas pequeñas reparaciones y desinfección al 5 % con lavandina una vez desinfectado el contenedor se llenó 56 litros de agua. Luego se trasladó los cubos de propagación y a las bandejas de plastaformo al contenedor llena de agua desde ese momento se regó 2 veces al día para asegurar la correcta salida de los cotiledones. Se mantuvo los contenedores con agua durante 11 días.

➤ **Aplicación de solución nutritiva al 50 %.**

Una vez que los cotiledones ya estaban perfectamente formados y saliendo las primeras hojas verdaderas se dejó de regar dos veces al día, para aplicar 50 % de solución nutritiva que contenía los siguientes fertilizantes 16-16-16, nitrato de calcio, sulfato de magnesio, nitrato de potasio y micronutrientes Cosmo Quel para 56 litros de agua; los cálculos se muestran en anexo 3. Se mantuvo la solución nutritiva al 50 % durante 9 días.

➤ **Limpieza de sistema hidropónico.**

Para la limpieza de los canales del cultivo se desinfectó con lavandina al 5 % para asegura de que no aparezca enfermedades en las plantas de lechuga variedad White Boston y variedad Waldman´s Green.

➤ **Establecimiento de plántulas al sistema hidropónico.**

Las plántulas de lechuga variedad White Boston y variedad Waldman´s Green con 3 a 4 hojas verdaderas con una altura promedio de 6 cm, se trasladó al área de producción que contenía los siguientes fertilizantes: Fertilizantes 16-16-16, nitrato de calcio, sulfato de magnesio, nitrato de potasio y micronutrientes Cosmo Quel. Los cálculos se muestran en anexo 3.

➤ **Elaboración de té de humus de lombriz.**

Para la elaboración de té de humus de lombriz se utilizó una relación de 1:1 es decir por 1 kilo de humus de lombriz se usa 1 litro de agua. Se puso el vermicompost o humus de lombriz en una fibra de nylon posteriormente sumergiéndolo en agua fría oxigenando con un respiradero de pecera por 48 horas (Aguilar, 2016).

➤ **Aplicación foliar de té de humus de lombriz.**

La primera aplicación foliar se realizó a los 41 días de crecimiento y la segunda aplicación foliar una semana después de la primera aplicación foliar. Las aplicaciones foliares se realizó con un atomizador a unas concentraciones de aplicación de 10 % te de humus de lombriz + 90 % agua, 20 % te de humus de lombriz + 80 % agua, 30 % te de humus de lombriz + 70 % agua y el testigo sin aplicación foliar.

➤ **Cosecha.**

La cosecha se realizó a los 69 días desde el tratamiento pre-germinativo, las plantas con un tamaño y porte adecuado para su comercialización. Se hizo la toma de datos para responder las variables de respuesta como es el área foliar, peso fresco del vástago, peso de la raíz, altura del vástago, rendimiento y análisis beneficio – costo.

➤ **Post-cosecha y comercialización.**

Luego de la cosecha se cortó en la base del cuello con un estilete para retirar las raíces junto con la esponja adherida, se retiró las hojas malogradas. Por último, paso se embolsó las lechugas en bolsas de celofán clasificados por variedades e introducirlos en unas cajas de plástico ya listas para la comercialización.

4.3.2. Diseño experimental

El diseño experimental aplicado para evaluar la investigación fue diseño completamente al azar (DCA) con dos factores, compuesto por ocho tratamientos y tres repeticiones, con un total de 24 unidades experimentales y con 12 muestras por cada tratamiento.

4.3.2.1. Modelo lineal aditivo

Donde el modelo lineal aditivo es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Observación cualquiera

μ = Media general

α_i = Efecto del i – ésimo nivel del factor A

β_j = Efecto del j – ésima nivel del factor B

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Interacción del i – ésimo nivel del factor A con el j – ésimo nivel del factor B.
Interacción A x B.

$\varepsilon_{a ij}$ = Error (a) parcela grande

4.3.2.2. Descripción de los factores

Los factores de estudio fueron dos variedades de lechuga y abono foliar.

Factor A: Variedades de lechuga

a1: Waldman's Green

a2: White Boston

Factor B: Abono foliar

b1: Sin aplicación foliar

b2: 10 % té de humus de lombriz más 90 % de agua.

b3: 20 % té de humus de lombriz más 80 % de agua.

b4: 30 % té de humus de lombriz más 70 % de agua.

4.3.2.3. Descripción de los tratamientos

Los ocho tratamientos se distribuyeron de la siguiente manera:

T1 = a1b1 = Waldman's Green sin aplicación foliar.

T2 = a1b2 = Waldman's Green con 10 % té de humus de lombriz más 90 % de agua.

T3 = a1b3 = Waldman's Green con 20 % té de humus de lombriz más 80 % de agua.

T4 = a1b4 = Waldman's Green con 30 % té de humus de lombriz más 70 % de agua.

T5 = a2b1 = White Boston sin aplicación foliar.

T6 = b2b2 = White Boston con 10 % té de humus de lombriz más 90 % de agua.

T7 = b2b3 = White Boston con 20 % té de humus de lombriz más 80 % de agua.

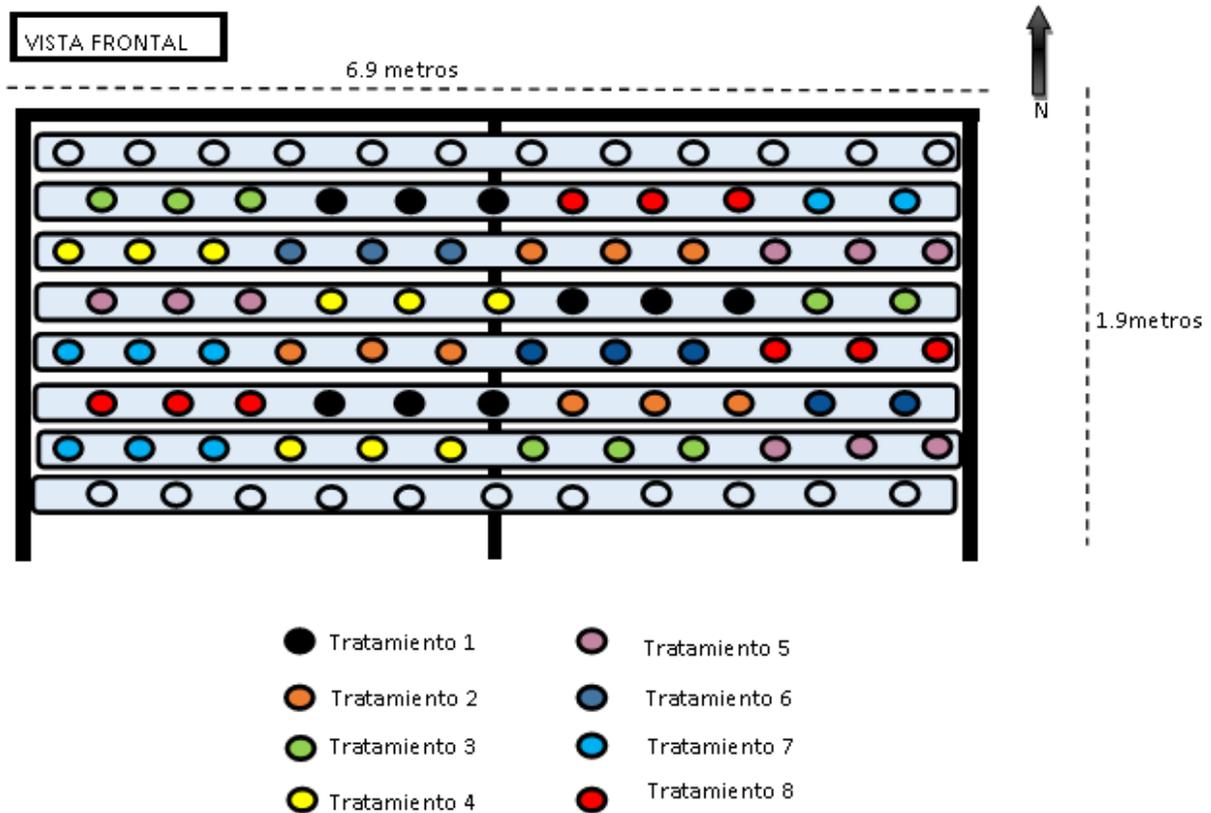
T8 = b2b4 = White Boston con 30 % té de humus de lombriz más 70 % de agua.

Tabla 9. Descripción de los tratamientos

Factor A: Variedades	Factor B: Concentración de aplicación	Tratamiento
Waldman's Green	Sin aplicación foliar	T1 = a1b1
	Concentración de aplicación 10 %	T2 = a1b2
	Concentración de aplicación 20 %	T3 = a1b3
	Concentración de aplicación 30 %	T4 = a1b4
White Boston	Sin aplicación foliar.	T5 = a2b1
	Concentración de aplicación 10 %	T6 = a2b2
	Concentración de aplicación 20 %	T7 = a2b3
	Concentración de aplicación 30 %	T8 = a2b4

4.3.3. Croquis experimental de la investigación

Imagen del croquis experimental de la investigación



4.3.4. Características del área experimental

- Alto de la estructura en “A” 1,96 m
- Ancho de la estructura en “A” 2,2 m
- Largo de la estructura en “A” 6,9 m
- Área 7,7 m²
- Separación entre tubos 30 cm
- Distancia entre plantas 20 cm
- Número de plantas por largo de tubo 34 plantas
- Número de plantas por unidad experimental 8 plantas
- Número de repeticiones 3
- Número de unidades experimentales 24 U. E.
- Número total de plantas 272 planta

4.3.5. Variables de respuestas para el comportamiento productivo de lechuga.

Las variables de respuesta para el comportamiento productivo de lechuga fueron: Área foliar, peso fresco del vástago, peso de la raíz, altura del vástago y número de hojas estas se evaluaron después de la cosecha y antes de ser comercializadas.

Las variables de respuesta: Rendimiento en peso fresco y análisis beneficio - costo se analizaron en gabinete, con la base de datos obtenidos en campo y para el análisis beneficio - costo se sistematizaron cuidadosamente todos costos.

4.3.5.1. Área foliar (cm²)

Es bien conocido que la magnitud del ÁF define la capacidad de la cubierta vegetal para interceptar la radiación fotosintéticamente activa (RFA), la cual es la fuente primaria de energía utilizada por las plantas para la fabricación de tejidos y elaboración de compuestos alimenticios (Warnock et al., 2006).

Es por ese motivo que se determinó la variable área foliar el 3 de enero del año 2021 con la aplicación Easy Leaf Area Free para dispositivos Android, que mide en cm². Para el muestreo se tomó en cuenta, tres hojas por planta una grande, una mediana y una pequeña; teniendo en total cuatro muestras por unidad experimental, con tres repeticiones obteniendo un total de doce muestras por tratamiento.

4.3.5.2. Peso fresco del vástago (g/planta)

El cuerpo de las plantas vasculares está marcadamente polarizado y conformado por dos porciones básicas, que viven en ambientes diferentes: un vástago orientado hacia la luz, que vive en el ambiente aéreo, compuesto por tallo y hojas, y una raíz, órgano de fijación y absorción que vive en el suelo. Este tipo de cuerpo vegetativo se llama corno y se presenta en pteridófitas y espermatófitas, que por eso se llaman también cormófitos (Morfología de la planta , 2021).

Para poder obtener el peso fresco del vástago se pesó el 3 enero del año 2021 con una balanza analítica, después de la cosecha, que fue realizado a primeras horas de la mañana por la humedad adecuada y consistencia firme que presentaban las lechugas; teniendo en total cuatro muestras por unidad experimental, con tres repeticiones obteniendo un total de doce muestras por tratamiento.

4.3.5.3. Peso de raíz (g/planta)

La raíz es un órgano que se ubica en la parte interior de la planta, crece generalmente dentro de la tierra, por lo que es subterránea, rara vez crece en el aire o en el agua, carece de nudos y entrenudos, de yemas y de hojas. Sus ramificaciones nacen de los tejidos profundos de la raíz (Warnock, et al., 2006).

El peso de la raíz se realizó el 3 de enero del año 2021; separando la raíz del vástago con un estilete cuidadosamente para no dañar a las hojas. Una vez teniendo la raíz se retiró la esponja que estaba adherida a ella, para finalmente pesar la raíz obteniendo cuatro muestras por unidad experimental, con tres repeticiones obteniendo un total de doce muestras por tratamiento.

4.3.5.4. Altura del vástago (cm)

La medición de la altura del vástago por planta de la variedad Waldman's Green y White Boston se realizó el 3 de enero de año 2021 al momento de la cosecha con la medición directa con un flexómetro desde el cuello de la raíz hasta la parte más alta de la planta de lechuga; teniendo en total cuatro muestras por unidad experimental, con tres repeticiones obteniendo un total de doce muestras por tratamiento.

4.3.5.5. Número de hojas

Para obtener el Número de hojas por planta se realizó en la fecha 3 de enero del año 2021 mediante el conteo desde las primeras hojas con desarrollo completo a excepción de aquellas que recién emergían de la roseta de la lechuga variedad Waldman's Green y la variedad White Boston teniendo un total de cuatro muestras por unidad experimental, con tres repeticiones obteniendo un total de doce muestras por tratamiento.

4.3.5.6. Rendimiento en peso fresco (Kg/m²)

El rendimiento de un cultivo depende de su capacidad de crecimiento y la producción de asimilatos y de que parte de ellos destina a los órganos de interés económico. El crecimiento resulta del aprovechamiento de la luz solar en la fabricación de los componentes constituyentes y funcionales de los distintos órganos de la planta (Córdova, et al., 2015).

Para calcular el rendimiento en peso fresco de la lechuga variedad Waldman's Green y la variedad White Boston en kilogramo por metro cuadrado se pudo calcular a partir de los datos obtenidos del peso fresco del vástago que se obtuvo en la fecha 3 de enero del año 2021.

4.3.5.7. Análisis beneficio - costo

Para realizar el análisis beneficio – costo de los ocho tratamientos en estudio se anotaron cuidadosamente todos los costos que se invirtieron durante la investigación comenzando en la compra de semillas de las variedades Waldman's Green y la variedad White Boston concluyendo con el transporte para la comercialización del producto.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Comportamiento productivo de las dos variedades de lechuga.

Las variables descritas a continuación fueron importantes para alcanzar el objetivo general y los objetivos específicos planteados.

5.1.1. Análisis de varianza del área foliar (cm²/planta)

En anexo 10 (tabla 20), se observa los resultados de análisis de varianza para la variable área foliar (cm²/planta) de las dos variedades de lechuga (Waldman's Green y White Boston) al ser aplicados con diferentes concentraciones de té de humus de lombriz como abono foliar.

Se llegó a determinar que el factor A existen diferencias significativas estadísticas entre las variedades Waldman's Green y White Boston en el área foliar. En el factor B no existen diferencias significativas estadísticas entre las diferentes concentraciones de té de humus de lombriz sobre el área foliar de las variedades Waldman's Green y White Boston. La interacción de variedades x concentraciones de té de humus de lombriz como abono foliar no existen diferencias significativas estadísticas lo que indica que estos dos factores en estudio son independientes en el área foliar.

Con un coeficiente de variación (CV) de 11 % que indica que los resultados experimentales existen una variabilidad aceptable, por lo tanto el manipuleo de los datos es confiables.

Por lo tanto el factor A (variedades) presentó diferencias estadísticas significativas, deduciendo que el área foliar de la lechuga variedad Waldman's Green es diferente a White Boston porque las características morfológicas, genéticas son muy distintas.

Arias (2009), citado por Quispe (2015) señala que la variedad Waldman's Green son de hoja abierta de tamaño mediano, de color verde oscuro, las hojas son onduladas de tipo escarolada, el aspecto es tipo Grand Rapids de hojas más largas y más oscuras.

Aruquipa (2008), menciona que el cultivar representativo White Boston es una planta de tamaño mediano a grande con hojas de borde rizado, su textura es suave, un tanto

aceitosa al tacto, y las hojas inferiores son de un color verde amarillento, debido a lo cual esta clase en algunos países se llama “lechuga mantequilla” o “seda”.

Mientras que el factor B (concentraciones) salió no significativo, esto demuestra que la aplicación de té de humus de lombriz como abono foliar no influye en nada sobre los resultados promedios de área foliar.

Prueba Duncan de la variable área foliar (cm²/planta)

En la tabla 10, se puede apreciar la prueba Duncan alfa = 0,05 para el área foliar de las variedades Waldman's Green y White Boston.

Tabla 10. Prueba Duncan para el área foliar (cm²/planta)

Variedad	Media	n	E.E.	
Waldman's Green	180,7	12	5,32	A
White Boston	160,9	12	5,32	B

En el tabla 10, se observa dos grupos diferentes de variedades donde Waldman's Green presentó mayor área foliar con un valor promedio de (180,7 cm²/planta) y el que presentó menor área foliar fue White Boston con un valor promedio de (160,9 cm²/planta) estas diferencias significativas se deben a las características morfológicas, genéticas que presentan las variedades como ser la White Boston que posee hojas de un verde más claro, y las hojas externas no son completamente envolvente; su textura es suave, un tanto aceitosa al tacto y las hojas inferiores son de un color verde amarillento y la Waldman's Green con hoja abierta de tamaño mediano, el color es verde oscuro, las hojas son onduladas de tipo escarolada.

Rodriguez (2018), menciona que la prueba de rangos múltiples con respecto a la área foliar, la técnica 2, es decir la TR (técnica de raíz flotante) muestra que esta técnica logra mayor área foliar con un valor promedio de 78,1 cm², en comparación a la técnica 1, es decir la NFT (la técnica de película de nutrientes) con un valor promedio de 74,7 cm², concluyendo que la técnica influye en gran medida en el área foliar de la lechuga variedad White Boston producidas bajo un sistema hidropónico.

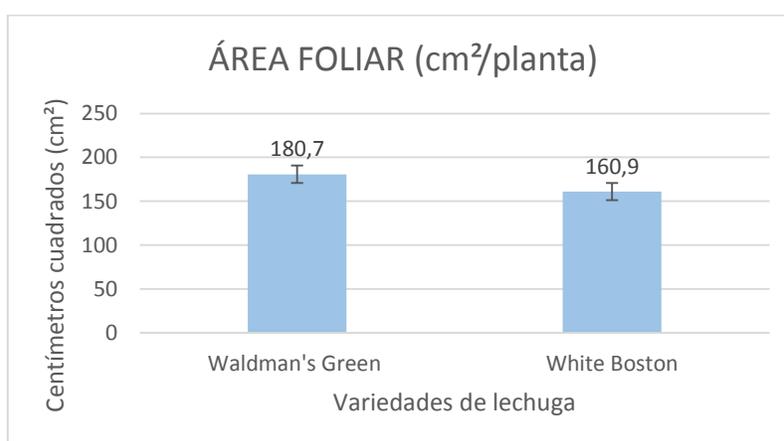
Mientras que López (2019), en su investigación realizada en Perú en la provincia

Chincheros – Apurímac mostrando resultados de área foliar indicando que en la zona (Chuparo) el mayor valor fue de 179,5 cm² en la variedad 1 (Waldman's Green) y el menor valor fue de 115,3 cm² en la variedad v3 (White Boston); mientras que en la zona (La Victoria) el mayor valor fue de 223,7 cm² en la v2 (Great Lakes) y el menor valor fue de 133,0 cm² en la v3 (White Boston).

Figura de la variable área foliar (cm²/planta)

En la figura 1, se puede apreciar la variable área foliar (cm²/planta) de las variedades Waldman's Green y White Boston.

Figura 1. Área foliar (cm²/planta)



Como se puede apreciar en la figura 1. Se exhibe la comparación de promedios medios en centímetros cuadrados para el área foliar de las plantas al aplicar diferentes concentraciones de té de humus de lombriz como abono foliar. Donde la variedad Waldman's Green obtuvo mayor valor promedio con 180,7 (cm²/planta), seguida por la variedad White Boston con un menor valor promedio con 160,9 (cm²/planta) de área foliar.

5.1.2. Análisis de varianza del peso fresco del vástago (g/planta)

En anexo 10 (tabla 21), se observa los resultados de análisis de varianza para la variable peso fresco del vástago (g/planta) de las dos variedades de lechuga (Waldman's Green y White Boston) al ser aplicados con diferentes concentraciones de té de humus de lombriz como abono foliar.

Se llegó a determinar que el factor A no existen diferencias significativas estadísticas entre las variedades Waldman's Green y White Boston sobre el peso fresco del vástago de lechuga. En el factor B no existen diferencias significativas estadísticas entre las diferentes concentraciones de té de humus de lombriz como abono foliar sobre el peso fresco del vástago de las variedades Waldman's Green y White Boston. La interacción de variedades x concentraciones de té de humus de lombriz como abono foliar no existen diferencias significativas estadísticas lo que indica que estos dos factores en estudio son independientes en el peso fresco del vástago de la planta. Con un coeficiente de variación (CV) de 24 % que indica que en los resultados experimentales existe una variabilidad aceptable, por lo tanto el manipuleo de los datos es confiables.

El Factor A (variedades), dio como resultado no significativo deduciendo que los promedios del peso fresco del vástago son similares de las dos variedades de lechuga.

Como se puede observar en anexo 5, los tratamientos con mayores pesos frescos del vástago fue el tratamiento dos (Waldman's Green + 10 % de concentración de té de humus de lombriz) con un valor promedio de 92 (g/planta) y el tratamiento seis (White Boston + 10 % de concentración de té de humus de lombriz) con un valor promedio de 107 (g/planta). Y los tratamientos con menores pesos frescos del vástago fue el tratamiento uno (Waldman's Green sin aplicación foliar), tratamiento tres (Waldman's Green + 20 % de concentración de té de humus de lombriz), tratamiento cuatro (Waldman's Green + 30 % de con concentración de té de humus de lombriz) con un valor promedio de 79 (g/planta) y el tratamiento ocho (White Boston + 30 % de concentración de té de humus de lombriz) con un valor promedio de 95 (g/planta).

Según Medrano (2017) indica que con la solución de FAO se tiene como resultado un promedio de 90 g, el más elevado en comparación a los otros resultados, en la solución la Molina se tuvo un resultado intermedio de 65 g, solución Boliviana tuvo el menor resultado en promedio de 53 g con respecto al peso fresco del cultivo de la lechuga variedad Waldman's Green.

En cambio Calsina (2015), reportó que la lechuga variedad Waldman's Green presenta los promedios de peso fresco de planta para el efecto de sistemas son

diferentes en todos los casos, formándose 2 grupos. Es así que el mayor peso fresco de la planta se registra para el sistema tubo PVC (94 gramos), significativamente mayor que el sistema de bandeja flotante (84 gramos)

También Aruquipa (2008), indica que las cuatro variedades de lechugas producidas en sustrato líquido obtuvieron los siguientes resultados de materia verde; la variedad Borde Morado con 144 g/planta, la variedad White Boston con 123 g/planta, la variedad Waldman's Green con 96 g/planta y la variedad Grand Rapids con 94 g/planta.

Con respecto al factor B (concentraciones) se obtuvo un resultado no significativo, esto demuestra que al aplicar té de humus de lombriz como abono foliar no influye en el incremento de peso fresco del vástago del cultivo de lechuga.

5.1.3. Análisis de varianza del peso de raíz (g/planta)

En anexo 10 (tabla 22), se observa los resultados de análisis de varianza para la variable peso de raíz (g/planta) de las dos variedades de lechuga (Waldman's Green y White Boston) al ser aplicados con diferentes concentraciones de té de humus de lombriz como abono foliar.

Se llegó a determinar que el factor A si existen diferencias significativas estadísticas entre las variedades Waldman's Green y White Boston sobre el peso de raíz de lechuga. En el factor B no existen diferencias significativas estadísticas entre las diferentes concentraciones de té de humus de lombriz como abono foliar sobre el peso de raíz de las variedades Waldman's Green y White Boston. La interacción de variedades x concentraciones de té de humus de lombriz como abono foliar no existen diferencias significativas estadísticas lo que indica que estos dos factores en estudio son independientes en el peso de raíz de la planta.

Con un coeficiente de variación (CV) de 13 % que indica que los resultados experimentales existen una variabilidad aceptable, por lo tanto el manipuleo de los datos es confiables.

Para el factor A (variedades) presentó diferencias significativas estadísticas, demuestra que el peso de la raíz de la lechuga variedad Waldman's Green es diferente a White Boston porque las características morfológicas, genéticas son muy diferentes.

Siácara (2014), menciona que la White Boston son las más cultivadas en el sistema hidropónico, ya que destaca su mejor calidad en relación a las cultivadas en suelo y al aire libre. Las lechugas “mantecosas” forman una cabeza central, sus hojas son de textura suave de alta palatabilidad; son precoces en relación a otros tipos de lechuga existiendo variedades de otoño-invierno y primavera verano.

Mientras que Nano (2015) señala que la Planta Waldman’s Green es desenvuelta cuando esta tierna, medianamente compacta cuando está madura, de hojas alargadas espatuladas, poco ampolladas, con nervadura central semigruesa y de bordes escarolados. De color verde oscuro.

Con respecto al factor B (concentraciones) dio como resultado no significativo, esto indica que al aplicar té de humus de lombriz como abono foliar no contribuyó al peso de raíz de la planta.

Prueba Duncan de la variable peso de raíz (g/planta)

En la tabla 11 se puede apreciar la prueba Duncan alfa = 0,05 para el peso de raíz de las variedades Waldman's Green y White Boston.

Tabla 11. Prueba Duncan para peso de raíz (g/planta)

Variedad	Media	n	E.E.	
White Boston	27	12	0,93	A
Waldman's Green	21	12	0,93	B

En el tabla 10, se observa dos grupos diferentes de variedades donde White Boston presentó mayor peso de raíz con un valor promedio de (27 gramos/planta) y el que presentó menor peso de raíz fue Waldman's Green con un valor promedio de (21 gramos/planta) estas diferencias es debido a que las características genéticas, morfológicas que son diferentes.

Según Ramirez (2022), se ensayaron los estimulantes Phyto Root, Más Raíz, Raíz Forte y el testigo evaluándose en el cultivo de lechuga cultivada en el sistema hidropónico de raíz flotante. Indicando que en el análisis estadístico existe diferencia significativa entre los tratamientos ensayados teniendo valores de 19 gramos (Phyto

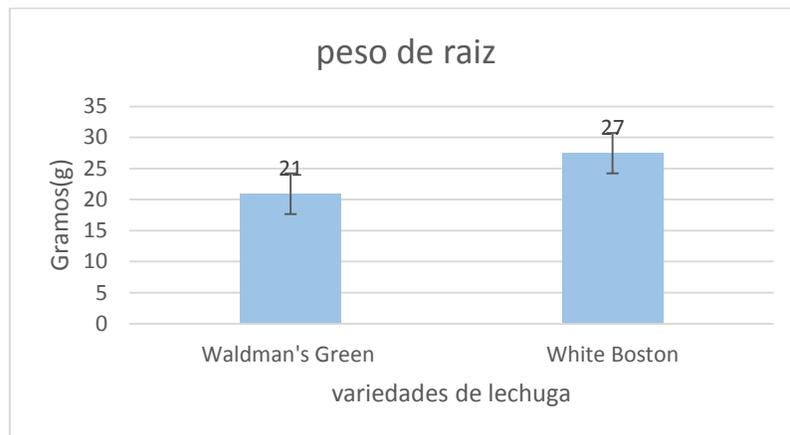
Root); 18 gramos (Más Raíz); 17 gramos (Raíz Forte) y 16 gramos (testigo).

Sepulvera (2021), menciona que se observa un mayor promedio para el tratamiento órganomineral con 15 gramos por planta, seguido por el tratamiento mineral con 14 gramos por planta y el menor de desempeño lo obtuvo el tratamiento orgánico con 9 gramos por planta.

Figura de la variable peso de raíz (g/planta)

En la figura 2, se puede apreciar la variable peso de raíz (g/planta) de las variedades Waldman's Green y White Boston.

Figura 2. Peso de raíz (g/planta)



En la figura 2, se aprecia dos variedades de lechuga la variedad Waldman's Green y la variedad White Boston indicando que el mayor peso de raíz presenta la lechuga variedad White Boston con (27 g/planta) y con un menor Peso de Raíz presentó la lechuga variedad Waldman's Green con (21 g/planta) esta diferencia del peso de la raíz es debido a las diferentes características morfológicas, genéticas que estas presentan.

De acuerdo a Resh (1987), indica que cuando hay un buen suministro de nutrientes las raíces tienden a ser cortas o están relacionadas con el área foliar, aunque también una fuerte radiación también provoca una disminución del tamaño de raíces, lo que puede evidenciar en la técnica NFT en zonas de fuerte radiación y ambiente seco, donde se puede evidenciar hasta un decremento de un 30 % de volumen radicular.

5.1.4. Análisis de varianza de la Altura del vástago (cm/planta)

En anexo 10 (tabla 23), se observa los resultados del análisis de varianza para la variable altura del vástago (cm) de las dos variedades de lechuga (Waldman's Green y White Boston) al ser aplicados con diferentes concentraciones de té de humus de lombriz como abono foliar.

Se observó que en el factor A no existen diferencias significativas estadísticas entre las variedades Waldman's Green y White Boston sobre la altura del vástago del vástago. En el factor B no existen diferencias significativas estadísticas entre las diferentes concentraciones de té de humus de lombriz como abono foliar sobre la altura del vástago de las variedades Waldman's Green y White Boston. La interacción de variedades x concentraciones de té de humus de lombriz como abono foliar no existen diferencia significativa estadística lo que indica que estos dos factores en estudio son independientes en la altura del vástago de la planta.

Con un coeficiente de variación (CV) de 8% indica que los resultados experimentales existen una variabilidad aceptable, por lo tanto el manipuleo de los datos es confiables.

Con respecto al factor A (variedades), dio como resultado no significativo concluyendo que los promedios de Altura del Vástago de las dos variedades son similares.

Como se puede observar en anexo 7, los tratamientos con mayores alturas del vástago fue el tratamiento dos (Waldman's Green + 10 % de concentración de té de humus de lombriz) con un valor promedio de 23,6 (cm/planta) y el tratamiento cinco (White Boston sin aplicación foliar) con un valor promedio de 24,0 (cm/planta). Y los tratamientos con menor alturas del vástago fue el tratamiento tres (Waldman's Green + 20 % de concentración de té de humus de lombriz), con un valor promedio de 23,1 (cm/planta) y el tratamiento ocho (White Boston + 30 % de concentración de té de humus de lombriz) con un valor promedio de 20,8 (cm/planta).

Quispe (2015), menciona que los resultados de la altura de planta de las diferentes variedades de lechuga estudiadas la que lidera en la altura de planta es la Maravilla 4 estaciones (29,1 cm), seguido por la variedad Romana Blanca Hortaneta (24,3 cm),

Waldmans Green (22,9 cm), Crespa Morada (22,4 cm), Red Sald Bow (21,6 cm), Crespa Punta Morada (20,4 cm).

Según Aruquipa (2008), indica que las cuatro variedades de lechugas producidas en sustrato líquido obtuvieron los siguientes resultados de altura de planta; la variedad Borde Morado con 27,5 cm, la variedad White Boston con 20,3 cm, la variedad Waldman's Green con 18,5 cm y la variedad Grand Rapis con 16,1 cm.

Mientras que en la investigación realizada por Medrano (2017) menciona que las soluciones aplicadas en los tratamientos tuvieron un efecto diferente en la variable de altura de planta en el cultivo de lechuga, se muestra que con la aplicación de la solución nutritiva FAO presenta la mejor Altura de planta con 20,2 cm, solución la Molina un promedio de altura de 16,5 cm y por último la solución Boliviana con un promedio de 15,7 cm lo que nos indica que esta solución fue con menor resultado que obtuvo con respecto a la variable altura de la lechuga Waldman's Green.

En la variable altura de la planta esta fue influenciada principalmente por las altas temperaturas registradas del ambiente.

Como indica Pino (2020), que el crecimiento en longitud de las hojas está ligado principalmente a la temperatura, mientras que el ancho a la intensidad luminosa. Temperaturas elevadas estimulan el crecimiento en longitud, mientras que mayor intensidad lumínica influye aumentando el ancho de las mismas.

En ese sentido se debe cubrir con una malla Raschel de entre 35 y 50 % de sombra, dependiendo de la localidad y de la época del año. En zonas muy luminosas y cálidas se debe usar mayor sombreado (Saabedra, 2017).

Una condición de luz débil y temperaturas elevadas llevaría a la formación de hojas etioladas. Los días cortos favorecen la formación de cabeza, mientras que otras situaciones como temperaturas demasiado elevadas, giberelinas, y exceso de fertilización nitrogenada conduce a la formación de una cabeza laxa (Pino, 2020).

Montesdeoca (2008) "indica que la productividad del cultivo de lechuga así como sus características de color, sabor y textura, dependen en gran medida de la luminosidad solar, requiriendo aproximadamente 12 horas luz por día" (Ávila, 2015).

Para el factor B (concentración) dio como resultado no significativo, esto demuestra que al aplicar diferentes concentraciones de té de humus de lombriz como abono foliar no influenció en promedio de la altura del vástago.

5.1.5. Análisis de varianza de número de hojas por planta

En anexo 10 (tabla 24), se observa los resultados de análisis de varianza para la variable número de hojas de las dos variedades de lechuga (Waldman's Green y White Boston) al ser aplicados con diferentes concentraciones de té de humus de lombriz como abono foliar.

Se llegó a determinar que en el factor A existen diferencias significativas estadísticas entre las variedades de Waldman's Green y White Boston sobre el número de hojas de lechuga. En el factor B no existen diferencias significativas estadísticas entre las diferentes concentraciones de té de humus de lombriz como abono foliar sobre el número de hojas de variedades Waldman's Green y White Boston. La interacción de variedad x concentraciones de té de humus de lombriz como abono foliar no existen diferencias significativas estadísticas lo que indica que estos dos factores en estudio son independientes en número de hojas de la lechuga por planta.

Con un coeficiente de variación (CV) de 6 % que indica que los resultados experimentales existen una variabilidad aceptable, por lo tanto el manipuleo de los datos es confiables.

Para el factor A (variedades) dio como resultado significativo, lo que indica que el número de hojas de la lechuga variedad Waldman's Green es diferente a White Boston porque son genéticamente y morfológicamente diferentes.

White Boston tiene hojas de un verde más claro, y las hojas externas no son completamente envolvente; su textura es suave, un tanto aceitosa al tacto y las hojas inferiores son de un color verde amarillento, debido a lo cual esta clase se llama "lechuga mantequilla" o "seda" en algunos países. Waldman's Green con hoja abierta de tamaño mediano, el color es verde oscuro, las hojas son onduladas de tipo escarolada (Casseres, 1966).

Mientras que en factor B (concentración) el resultado fue diferencia no significativa, esto demuestra que al aplicar té de humus de lombriz como abono foliar no contribuyo para obtener mayor número de hojas.

Prueba Duncan para la variable número de hojas por planta

En la tabla 12 se puede apreciar la prueba Duncan alfa = 0,05 para el número de hojas por planta de las variedades Waldman's Green y White Boston.

Tabla 12. Prueba Duncan para número de hojas por planta

Variable	Media	n	E.E.	
White Boston	24	12	0,08	A
Waldman's Green	16	12	0,08	B

En el tabla 12, se observa dos grupos diferentes de variedades donde White Boston presentó mayor número de hojas con un valor promedio de 24 hojas por planta y el que presentó menor número de hojas fue Waldman's Green con un valor promedio de 16 hojas por planta estas diferencias significativas se deben a las características morfológicas y genéticas.

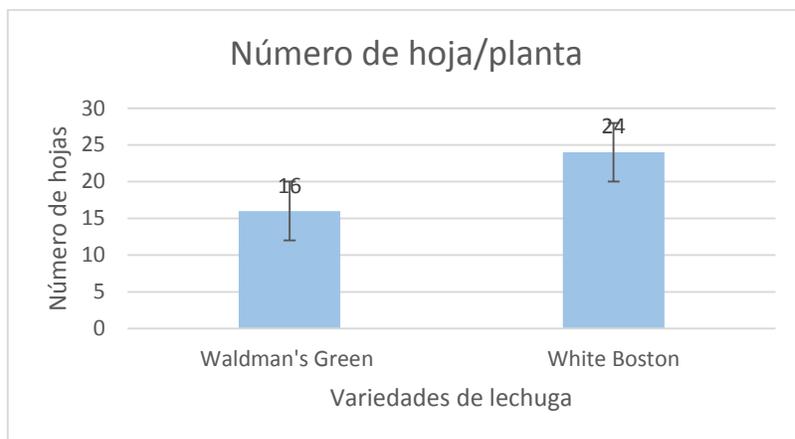
Aruquipa (2008), citado por Quispe (2015), obtuvo resultados de 18 hojas para el cultivar Grand Rapids y 19 hojas para el cultivar Waldman's Green, esto en la ciudad del alto. Pero Quispe en su estudio con el cultivo de lechuga variedad Waldmans Green alcanzó un promedio de 17 hojas por planta.

Por otro lado Aruquipa (2008), indica que la variedad con mayor número de hojas es la White Boston tanto en sustratos sólidos como en líquidos con 35 y 34 hojas respectivamente; en cambio los que tuvieron menor número de hojas son Grand Raid (18 hojas) y Waldman's Green (19 hojas) cultivadas en sustrato líquido.

Nano (2015), indica que la variedad White Boston obtuvo un mayor promedio de Número de Hojas con 32 hojas por planta seguido por la variedad Gran Rapids TBR con 24 hojas por planta y el que resultó con menor número de hojas, fue Waldman's Green con 23 hojas por planta.

Figura de la variable número de hojas por planta

Figura 3. Número de hojas por planta



Como se ve en la figura 3, el que posee mayor promedio de número de hojas por planta fue la lechuga variedad White Boston con un valor de 24 hojas y el que presentó menor promedio de número de hojas fue la lechuga variedad Waldman's Green con un valor de 16 hojas por planta.

5.1.6. Rendimiento de la variable peso fresco del vástago (Kg/m²)

Tabla 13. Rendimiento en peso fresco del vástago (Kg/m²)

Tratamientos	Promedios (Kg/m ²)
T1	3,2
T2	3,8
T3	3,5
T4	3,3
T5	3,4
T6	4,4
T7	4,2
T8	3,9

En la tabla 13, con una desviación estándar de 0,4 (Kg), muestra promedios del rendimiento en peso fresco de los ocho tratamientos en estudios de las variedades Waldman's Green y White Boston. Obteniendo un mayor rendimiento al aplicar 10% de concentración de té de humus de lombriz y un menor rendimiento fue el testigo es decir al que no se le aplicó té de vermicompost. Para la variedad Waldman's Green el tratamiento dos presentó mayor rendimiento con un valor de (3,8 Kg/m²) y el que presentó el menor rendimiento fue el tratamiento uno con un valor de (3,2 Kg/m²); mientras que para la variedad White Boston el tratamiento seis presentó mayor rendimiento con un valor de (4,4 Kg/m²) y el que presentó menor rendimiento fue el tratamiento cinco con un valor de (3,4 Kg/m²).

Según Aruquipa (2008), los rendimientos comerciales de las cuatro variedades de lechugas estudiadas presentan significancias. En este sentido la variedad Borde Morado presenta mayor rendimiento (4,8 Kg/m²) seguido por la variedad White Boston con (4,0 Kg/m²). Por otro lado la variedad Grand Rapid y Waldman's Green mostraron rendimientos similares con (3,0 y 3,1 Kg/m²) respectivamente.

Al respecto Quispe (2015), demuestra que la variedad Maravilla 4 Estaciones con 5,1 Kg/m² tiene mayor rendimiento; mientras que tuvieron menor rendimiento las variedades Waldman's Green (4,8 Kg/m²), Crespa Morada (4,7 Kg/m²), Red Salad (4,6 Kg/m²), Romana Blanca Hortaneta (4,6 Kg/m²) y Crespa Punta Morada (4,4 Kg/m²).

Mientras que Terceros (2019), menciona que la variedad White Boston obtuvo el mayor rendimiento con 3.0 Kg/m², seguido de la variedad Grand Rapids con 2,5 Kg/m² y finalmente la variedad Waldman's Green con 2,1 Kg/m².

En la investigación realizada presentó un leve incremento sustancial del tratamiento dos (Waldman's Green + 10 % de concentración de té de humus de lombriz) y el tratamiento seis (White Boston + 10 % de concentración de té de humus de lombriz) se debe a las características que posee el té de lombricompost.

Bio Noa Autoflower (2021), menciona que el té de lombricompost gracias a la oxigenación extra del agua, se produce una floración de los microorganismos y un gran

aporte de Nitrógeno, Potasio, Calcio, Magnesio y Fosfato además de otros muchos elementos.

Mientras que Melendez & Molina (2002), insinúa que se tiene que tener en cuenta la velocidad de absorción de los nutrientes que se absorben por el follaje. El Nitrógeno se destaca por su rapidez de absorción necesitando de 0,5 a 2 horas para que el 50 % de lo aplicado penetre a las plantas los demás elementos requieren tiempos diferentes y se destaca el fósforo por su lenta absorción, requiriendo hasta 10 días para que el 50 % sea absorbido. Como se puede observar en tabla 7.

Lombritec (2020), indica que una razón para aplicar té de humus de lombriz en tus plantas es la rápida absorción de nutrientes por parte de las plantas. Además también ayuda a las plantas a crear la cutícula, la capa cerosa en la parte superior de su epidermis. Esta superficie cerosa protege las hojas de las incidencias del clima (hielo, calor extremo).

También Pinedo (2015), plantea que el uso de productos biológicos aumenta el peso fresco de las plantas, pues se incrementa la producción de fotosintatos.

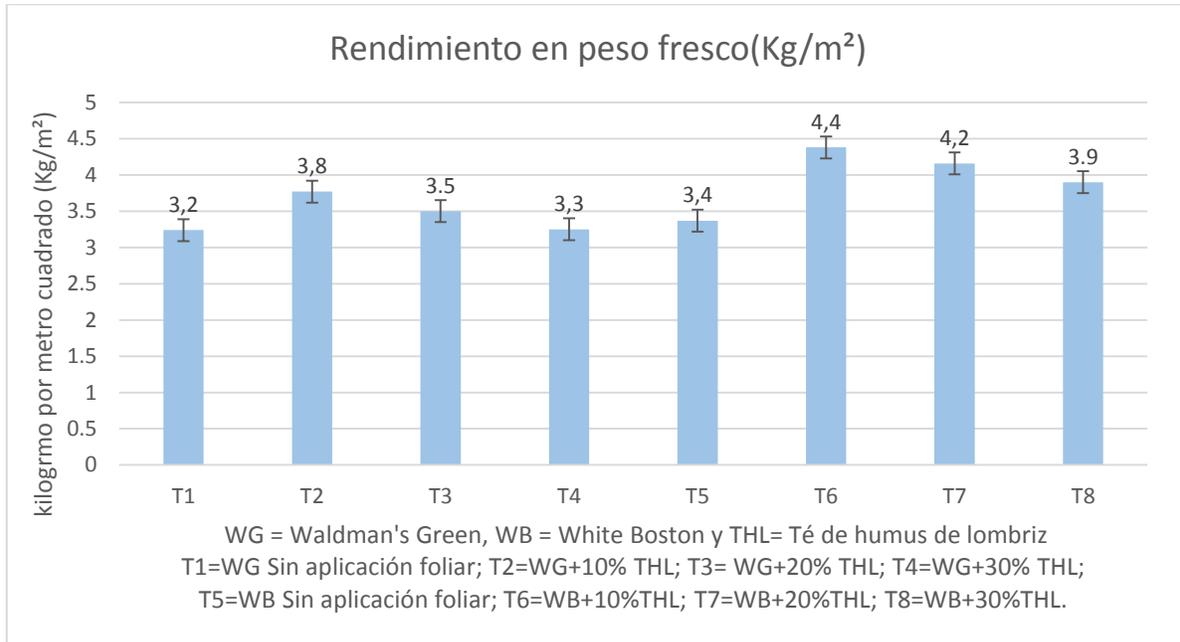
Pero en investigaciones realizadas en años pasados demostraron buenos resultados al aplicar té de humus de lombriz como abono foliar.

Como indica Aguilar (2016), que al cultivo de col de Bruselas se le aplicaron cuatro concentraciones de té de humus como fertilizante foliar que fueron al 0 %, 25 %, 50 % y al 75 %, recomendando la aplicación de té de humus a una concentración del 25 % ya que presentó mayor rendimiento.

Mientras que Callisaya (2016), evaluó los niveles de fertilización foliar en sistema hidropónico NFT (la técnica de película de nutrientes), dirigidas de la siguiente manera: 0 %, 20 %, 40 % y 60 % de té de humus de lombriz, obteniendo mejor rendimiento al aplicar 20 % de té de vermicompost como fertilizante foliar con un valor promedio de 156,8 gramos por planta del cultivo de acelga obteniendo mejor rendimiento en comparación con los demás tratamientos.

Figura de la variable rendimiento en peso fresco (Kg/m²)

Figura 4. Rendimiento en peso fresco (Kg/m²)



En la figura 4. Se evidencia que el que tuvo mayor rendimiento en peso fresco en ambas variedades Waldman's Green y White Boston fue los tratamientos que fueron aplicados a unas concentraciones de 10% de té de humus de lombriz como abono foliar y el que tuvo menor rendimiento fue los tratamientos sin aplicación foliar.

5.1.7. Análisis costo – beneficio

El análisis costo – beneficio es una herramienta financiera que mide la relación que existe entre los costos y beneficios asociados a un proyecto de inversión, tal como la creación de una nueva empresa o el lanzamiento de un nuevo producto, con el fin de conocer su rentabilidad (Arturo, 2019).

5.3.7.1. Rendimiento ajustado

En la siguiente tabla 14 se observa el rendimiento promedio y rendimiento promedio ajustado al 10 % de pérdida que pueden ocurrir desde la siembra hasta la cosecha.

Tabla 14. Rendimiento promedio y rendimiento ajustado

Tratamiento	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Rnd prom. Kg/m ²	3,24	3,77	3,05	3,25	3,37	4,38	4,16	3,09
Rnd ajustado	2,9	3,4	3,2	2,9	3,0	3,9	3,7	3,5

5.3.7.2. Beneficio bruto

En la tabla 15 se muestra el beneficio bruto por año y beneficio bruto por año ajustado para los ocho tratamientos en estudio

Tabla 15. Beneficio bruto

Tratamiento	T1	T2	T3	T4
Rendimiento promedio. Kg/m ²	3,24	3,77	3,5	3,25
Rendimiento ajustado	2,9	3,4	3,2	2,9
precio bs/kg	18	18	18	18
Beneficio bruto	110,81	128,93	119,7	111,15
Beneficio ajustado	99,73	116,04	107,73	100,04
Número de campanas anual	9	9	9	9
Beneficio bruto año	997,27	1160,4	1077,3	1000,4
Beneficio bruto ajustado año	897,54	1044,4	969,57	900,32

Tratamiento	T5	T6	T7	T8
Rendimiento promedio. Kg/m ²	3,37	4,38	4,16	3,9
Rendimiento ajustado	3,0	3,9	3,7	3,5
precio bs/kg	18	18	18	18
Beneficio bruto	115,25	149,796	142,27	133,38
Beneficio ajustado	103,73	134,82	128,04	120,04
Número de campanas anual	9	9	9	9
Beneficio bruto año	1037,3	1348,16	1280,4	1200,4
Beneficio bruto ajustado año	933,56	1213,35	1152,4	1080,4

5.3.7.3. Costos variables

En la tabla 16 se tomaron en cuenta cuidadosamente todos los costos que se invirtieron durante la producción, esto dependerá de la cantidad de lechugas que se quiera producir.

Tabla 16. Costos variables

Detalle	costo total	costo por tratamiento total (Bs)
Insumos	30	3,75
Semilla	2	0,25
Luz	60,3	7,54
Agua	17,68	2,21
Transporte	20	2,5
Fertilizantes químicos	117,39	14,7
Humus de lombriz	5	0,625
Mano de obra	408	51
Costos variables/ciclo	660,37	82,5
Numero de campañas	9	9
Costos variables total/año	5943,3	742,9

5.3.7.4. Costos fijos

En la tabla 17 muestran los costos fijos es decir que estos valores no cambiarán debido a que estos costos no dependen de la cantidad de producción de lechugas.

Tabla 17. Costos fijos

COSTOS FIJOS	costo total	costo/tratamiento
Alquiler de ambiente atemperado	150	18,75
Sistema hidropónico NFT	120	15
Costo fijo total	270	33,75

5.3.7.5. Costo total

En la tabla 18 se sumaron los costos variables, costos fijos y los imprevistos al 5% por año.

Tabla 18. Costo total

COSTO TOTAL	costo total	costo total / tratamiento
Costo variable total	5943,3	742,9
Costo fijo total	270	33,75
Imprevistos 5 %	310,67	38,83
Costo total anual	6524,0	815,5

5.3.7.5. Relación beneficio - costo

En la siguiente tabla 19 se observa el beneficio neto que es la diferencia de costo total anual y beneficio bruto.

Tabla 19. Relación beneficio – costo

Tratamiento	T1	T2	T3	T4
Beneficio bruto ajustado año	897,54	1044,37	969,57	900,32
Costo total Bs/año	815,50	815,50	815,50	815,50
B/C	1,1	1,3	1,2	1,1
Tratamiento	T5	T6	T7	T8
Beneficio bruto ajustado año	933,56	1213,35	1152,40	1080,38
Costo total Bs/año	815,50	815,50	815,50	815,50
B/C	1,1	1,5	1,4	1,3

En la tabla 19, se observa que los promedios de relación beneficio – costo de los ocho tratamientos en estudios de las variedades Waldman’s Green y White Boston.

Para la variedad Waldman’s Green el tratamiento dos (Waldman’s Green + 10 % de té de humus de lombriz) presentó mayor beneficio - costo con un valor de (1,3 Bs) y el que presentó el menor beneficio costo fue el tratamiento uno (Waldman’s Green + sin

aplicación foliar) y cuatro (Waldman's Green +30 % de té de humus de lombriz) con un valor de (1,1 Bs); mientras que para la variedad White Boston el tratamiento seis (White Boston +10 % de té de humus de lombriz) presentó mayor beneficio - costo con un valor de (1,5 Bs) y el que presentó menor beneficio - costo fue el tratamiento cinco (White Boston + sin aplicación foliar) con un valor de (1,1 Bs).

Las siguientes investigaciones indican que la variedad White Boston supera a la variedad Waldman's Green en cuanto comportamiento productivo y también en la relación beneficio – costo producidas en un sistema hidropónico independiente mente del lugar de producción, la estación del año.

Terceros (2019), menciona que la lechuga variedad White Boston obtuvo mayor rendimiento en la relación Beneficio/costo variable con un valor promedio de 2,4 Bs y el que obtuvo menor rendimiento fue la lechuga variedad Waldman's Green con un valor promedio de 1,6 Bs.

Según Aruquipa (2008) argumenta que los datos obtenidos todos los tratamientos presentan valores mayores a 1, lo que nos indica que son rentables. Con valores de Gran Rapid (1,4 Bs), Waldman's Green (1,4 Bs), White Boston (1,9 Bs) y Borde Morado (2,5 Bs).

Quispe (2015) menciona que los datos obtenidos no todos los tratamientos presentan valores mayores a 1, lo que indica que Waldman's Green (1,0 Bs), Maravilla 4 estaciones (1,1 Bs), Crespa Morada (1,0 Bs) son rentables, por otra parte las variedad Red Salad Bowl (1,0 Bs), Romana Banca Hortelana (1,0 Bs) y Crespa Punta Morada (1,0 Bs) no representan rentabilidad.

6. CONCLUSIONES

En el presente trabajo de investigación realizada en el centro experimental de Cota Cota titulada "Evaluación del Comportamiento Productivo de Dos Variedades de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) a Diferentes Concentraciones de Té De Humus de Lombriz Como Abono Foliar Bajo un Sistema Hidropónico NFT" se concluye en lo siguiente:

- En las variables de respuestas como ser área foliar, peso fresco del vástago (conjunto de tallo y hoja), peso de raíz, altura del vástago, número de hojas. Los análisis de varianza realizados prestaron resultado no significativo para el factor B (concentraciones) esto significa al aplicar té de humus de lombriz como abono foliar no tuvieron ningún efecto en dichas variables. Y para el factor A (variedades) presentaron resultados significativos estadísticos debido a las características morfológicas y genéticas que son muy distintas; excepto la variable de respuesta peso fresco del vástago que presentó un resultado no significativo.
- Para la variedad Waldman's Green el tratamiento dos (Waldman's Green + 10 % de té de humus de lombriz) presentó mayor beneficio - costo con un valor de (1,3 Bs) y el que presentó el menor beneficio costo fue el tratamiento uno (Waldman's Green + sin aplicación foliar) y cuatro (Waldman's Green +30 % de té de humus de lombriz) con un valor de (1,1 Bs); mientras la variedad White Boston el tratamiento seis (White Boston +10 % de té de humus de lombriz) presentó mayor beneficio - costo con un valor de (1,5 Bs) y el que presentó menor beneficio - costo fue el tratamiento cinco (White Boston + sin aplicación foliar) con un valor de (1,1 Bs).

7. RECOMENDACIONES

La evaluación del comportamiento productivo de las dos variedades de lechuga White Boston y Waldman's Green a diferentes concentraciones de té de humus de lombriz como abono foliar bajo un sistema hidropónico NFT traducida al español "la técnica de la película de nutrientes", se recomienda lo siguiente:

- Se recomienda no realizar la fertilización con abono foliar con té de humus de lombriz debido a que los resultados obtenidos salieron no significativos es decir con o sin aplicación los rendimientos serán casi lo mismo.
- Se propone producir la lechuga variedad White Boston bajo un sistema hidropónico porque fue el que presentó mejor comportamiento productivo.
- Se sugiere hacer un mejor control de la temperatura del ambiente para incrementar el comportamiento productivo ya que en el momento de la investigación se registró altas y bajas temperaturas; algunas hojas presentaban quemaduras en los bordes y el prematuro crecimiento del tallo floral en ambas variedades.

BIBLIOGRAFÍA

- Agroflor. (6 de diciembre de 2022). Manual de lombricultura. Obtenido de <http://www.lombriagroflor>
- Aguilar, A. (2016). Efecto de té de humus y biol como fertilizante foliar en el cultivo de col de bruselas (*Brassica oleracea* var. gemmifera) en ambiente controlado en el Centro Experimental de Cota Cota. (tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andres, La Paz.
- Arrabal, A. (8 de Abril de 2014). Larousse mejores trucos de cocina.
- Artal. (2020). Información técnica, Ácidos húmicos y fúlvicos, sus funciones en la plantas. Smart agriculture.
- Arturo. (14 de septiembre de 2019). Crece Negocio. Obtenido de <http://www.crecenegocios.com/analisis - costo>
- Aruquipa, R. (2008). Producción de cuatro variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo dos sustratos (sólido y líquido) en el municipio del alto. Universidad Mayor de San Andres, Facultad de agronomía, Carrera de Ingeniería Agronómica, La Paz.
- Ávila, E. (2015). Manual lechuga . Bogotá : Cámara de Comercio de Bogotá.
- Axaycatl, O. (02 de marzo de 2019). Blog Agricultura. Obtenido de Estadísticas mundiales de producción de lechuga: <https://blogagricultura.com/paises-productores-lechuga-2019>
- Azcoytia, C. (18 de mayo de 2012). Historia de la lechuga . Obtenido de Historia de la cocina y la gastronomía: <https://www.historiacocina.com/es/lechuga>
- Barbaro, L., Karlanian, M., & Mata, D. (s.f.). Importancia del pH y la conductividad eléctrica (CE) en sustratos para las plantas. Instituto de floricultura.
- Beltramo, J., & Gemenez, D. (2015). Cultivo en hidroponía . Buenos Aires: Univesidad de la Plata, Facultad de Ciencias Agrarias .

- Bio Noa Autoflower. (8 de Septiembre de 2021). Obtenido de info@huertourbanogrow.com
- Brandt. (s.f.). Los 7 secretos de la nutrición foliar. En Fertilizantes foliares de cuarta generación (págs. 2, 3, 4, 5, 6, 7,8, 9,10). Medellín: Brandt Consolidated, Rio Claro Tecnología en Agricultura.
- Brechelt, A. (s.f.). Manual práctico para la lombricultura. Fundación Agraria y Medio Ambiente, Inc FAMA.
- Brenes, L., & Jiménez, M. F. (2002). Manual de producción hidropónica para hortalizas de hoja en sistema NFT (Nutrient Film Technique). Costa Rica: TEC. Tecnológico de Costa Rica.
- Callisaya, P. (2016). Evaluación de dos variedades de acelga (*Beta vulgaris* var. *civla* L.) bajo tres niveles de fertilizante foliar orgánico en sistema hidropónico NFT, en Cota Cota. (Tesis de grado). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz.
- Calsin, M. (2019). Efectos de abonos orgánicos foliares en las características de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) en condiciones de invernadero. Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias, Puno.
- Calsina, M. (2015). Evaluación de dosis de caldo de humus de lombriz en dos sistemas hidropónicos para la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en ambiente protegido. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería Agronómica, La Paz, Bolivia.
- Casseres, E. (1966). Producción de hortalizas. Lima, Perú: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA.
- Castañares, L. (s.f.). ABC de la hidroponía. Buenos Aires, Argentina: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Catari, R., Huanca, C., & Fernández, M. (2019). Evaluación de niveles de nitrógeno en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el sistema hidropónico NFT hydroponic System, in the city of El Alto - La Paz . Apathapi, 2.

- Chavéz, Esteban; Rangel, Pablo; Mendoza, Adalberto;. (2006). Manual para la preparación de soluciones nutritivas . Torreón : Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Chilón, E. (1997). Fertilidad de suelos y nutrición de plantas. La Paz: CIDAT.
- Córdova, N., Carreño, F., & Llerena, R. (2015). Comportamiento del crecimiento y rendimiento del cultivo de trigo. Scielo.
- Cuy, S. (2 de noviembre de 2021). Agricultura, nutrición vegetal, suelos, todos los artículos. Obtenido de https://cropaia.com/es/blog/potasio_en_las_plantas
- Díaz, E. (2002). Guía de lombricultura. lombricultura una alternativa de producción. Agencia de Desarrollo Económico y Comercio Exterior.
- Durán, L. (2007). Caracterización física, química y microbiológica de vermicompostaje producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. Agronomía Costarricense.
- Erica. (3 de septiembre de 2020). Blog gardencenterejea. Obtenido de Fosforo en las planta : https://blog.gardencenterejea.com/fosforo_planta
- Fajardo, S. (2016). Modelo tecnológico para el cultivo de lechuga bajo buenas prácticas agrícolas en el Oriente Antioqueño. Medellín.
- Favela, E., Preciado, P., & Benavides, A. (2016). Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Torreón: Universidad Autónoma Agraria Antoni Narro.
- Fertilab. (29 de diciembre de 2022). Obtenido de <https://www.fertilab.com.mx>
- Gauggel, A. (2011). Requerimientos nutricionales del cultivo. Obtenido de Zamorano: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1340/2/02.pdf>
- Gilsanz, J. (2007). Hidroponía . Uruguay : Programa nacional de producción hortícola.
- Gioconi, V. (2004). Cultivo de hortaliza . Santiago: Universitaria.
- Hernández, M. (2019). Instalación de lombricario para la obtención de humus y lixiviado para la aplicación en el cultivo de la rosa. Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias Agrícolas.

- Ibañes, M. (10 de Abril de 2019). Los cultivos hidropónicos llegan a La Paz. La Razón, pág. 1.
- Japon, J. (2019). La lechuga. Madrid: Hojas Divulgadoras del Ministerio de Agricultura.
- Kass, D. (2017). Fertilidad de suelos. Universidad Estatal a Distancia.
- Lombritec. (6 de diciembre de 2020). Diferencias entre lixiviado y humus de lombriz líquido o té de lombriz .
- López, Y. (2019). Efecto de las dosis de biestimulante y variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L) sobre las características morfológicas y rendimiento cultivadas en dos zonas de la provincia de Chincheros y Apurimac. Universidad José Carlos Mariátequi, Vicerrectorado de investigación, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Moquegua, Perú.
- Maejo, R. (22 de octubre de 2021). Qué es costo fijo y costo variable. Conoce estos conceptos. Obtenido de <https://blog.nubox.com>
- Martínez, J. (2017). Caracterización e identificación de microorganismos presentes en lombricomposta y lombriz (*Eisenia foetida*). Revista de Sistemas Experimentales, 2.
- Medrano, P. (2017). Cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en sistema mixto (suelo e hidroponía) bajo diferentes soluciones nutritivas en el Centro Experimental de Cota Cota. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería Agronómica, La Paz, Bolivia.
- Melendez, G., & Molina, E. (2002). Fertilización foliar: principios y aplicaciones. Costa Rica: Universidad Costa Rica. Centro de investigaciones agronómicas. Laboratorio de suelos y foliares.
- Micolic, C., Ruffinelli, S., Dárdano, B., Escudero, G., Andreoni, I., G, . . . Basile, D. (2018). Manuel de vermicompostaje . Montevideo Ambiente.
- Morfología de la planta . (20 de agosto de 2021). Obtenido de La organización del cuerpo de la plantas : <http://www.biología.edu.ar/botánica/print/tema 1>

- Muñoz, L. (03 de 12 de 2015). AgroHuerto. Obtenido de Huertos hurbanos. Plagas y enfermedades : <http://agrohuerto.com>
- Nano, R. A. (2015). Evaluación de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivadas con la técnica hidropónica de flujo laminar de nutrientes (NFT) en el centro experimental de Cota Cota - La Paz. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería Agronómica, La Paz.
- Narváez, F. (s.f.). Humus de lombriz. Temuco, Chile.
- Oasis. (s.f.). Manual de hidroponía. México: Easy Plant.
- Payeras, A. (julio de 2012). Bonsai Menorca. Ácidos húmicos y fúlvicos en bonsái. Bonsai.
- Peñaherrera, D., Paucara, B., Narváez, G., Torres, C., Villaviciencio, A., Panchi, N., . . . Escobar, J. (2021). Insumos agroecológicos: estrategia de resiliencia al cambio climático en la Agricultura Familiar Campesina (AFC). Quito: Instituto Nacional de Investigaciones.
- Perdomo, C., Barbazán , M., & Durán, J. (sff). Área del suelo y aguas cátedra de fertilidad . Montevideo: Facultad de Agronomía Universidad de la República .
- Pinedo , A., Álvarez, M., & Aguilar, M. (2015). Efecto del compost y humus de lombriz sobre algunos indicadores del crecimiento y productividad del pimenton (*Capsicum annum*, L.) en condiciones de huerto intenso. Cuba: Universidad Agraria de la Habana .
- Pino, M. (2020). Curso de horticultura y floricultura. Argentina: Universidad Nacional de la Plata, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.
- Quispe, L. (2015). Evaluación de seis variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivadas con el sistema hidropónico recirculante NFT en el Centro Experimental de Cota Cota. Univesidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería Agronómica, La Paz, Bolivia.

- Ramírez, C. (2018). La hidroponía, la forma de producción del futuro. El Sol de Toluca, 1.
- Ramirez, N. (2022). Efecto de tres estimulantes radiculares en las características Morfo-productivas de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) hidroponía. Universidad Nacional de Tumbes, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Agronomía, Tumbes.
- Resh, H. (2001). Cultivos hidropónicos. California: Mundi-prensa.
- Rivera, C., & Mendoza, A. (2009). Análisis costo - beneficio y costos - efectividad de las medidas de seguridad implimentarias de carreteras mexicana. Mexico: Sanfandila.
- Rodriguez, D. (2018). Comparación de dos tecnicas hidropónicas, flujo laminar de nutrientes y raíz flotante para la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el Centro Experimental de Cota Cota. Universidad Mayor de San Andres, Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería Agronómica, La Paz.
- Saabedra, G. (2017). Manual de producción de lechuga . Santiago: Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) y el Instituto de Investigaciones.
- Sánchez, J. (2018). Cultivos semi-forzados de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el Alto Valle de Rio Negro y Neuquen. Universidad Nacional del Litoral.
- Sepulvera, G. (2021). Evaluación de la respuesta de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv. crespa verde a diferentes fuentes de fertilización mineral, orgánica y organomineral. Universidad de Ciencias ambientales y Aplicadas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Programa de Ingeniería Agronómica, Bogotá.
- Siácara, J. (2014). Evaluación del cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en sistema NFT (Técnica de Película de Nutrientes) bajo invernadero en la comunidad Quentavi municipio de Laja del departamento de La Paz. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería agronómica, La Paz, Bolivia.

- Soltero, J. (03 de 12 de 2018). Curar diabetes. Obtenido de Propiedades de la lechuga:
<http://www.CurarDiabetes.bonus-777.com>
- Terceros, M. J. (2019). Establecimiento de un sistema hidropónico con la técnica de película nutritiva (NFT) en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L) en la Estación Experimental de Patacamaya La Paz. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería Agronómica, La Paz.
- Theodoracopoulos, M., Lardizabal, R., & Arias, S. (2009). Manual de producción de lechuga . Lima: MCA - Honduras.
- Ticona, C. (Enero de 2021). incidencia de té de humus de lombriz en el cultivo de frejol.
- Toni. (15 de agosto de 2022). Agronotips. Obtenido de La huertita:
<http://www.portalfrutícola.com>
- Torres, A., Ramos, V., & Hidalgo, M. (2017). Caracterización e identificación de organismos presentes en lombricomposta y lombriz (*Eisenia foetida*). Revista de Sistemas Experimentales .
- Torres, D. (7 de septiembre de 2022). Qué son los costos variables, como calcularlos y ejemplo. Obtenido de <https://blog.hubspot.es>
- Warnock, R., Valenzuela, J., América, T., Madriz, P., & Gutiérrez, M. (2006). Área foliar, componente del área foliar y rendimiento de seis genotipos de caraota. Scielo.
- Zaragoza. (15 de octubre de 2012). El pH de los ácidos húmicos y ácidos fúlvicos. Sociedad Española de Productos Húmicos, SEPHU.
- Zárate, M. (2014). Manual de hidroponía. Mexico: Instituto de biología
www.ibiología.unam.mx.

ANEXOS

ANEXOS

Anexo 1. Análisis de agua

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



Informe de Ensayo: A 78/16

Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYO DE AGUAS A78/16

Cliente:	FACULTAD DE AGRONOMÍA - UMSA
Solicitante:	Srta. Paola Cristina Callisaya Aduviri
Dirección del cliente:	Av. 6 de marzo # 1034, Zona Rosas Pampa
Procedencia de la muestra:	Centro Experimental de Cota Cota
	Provincia: Murillo
	Departamento: La Paz
Punto de muestreo:	Grifo de Carpa de Horticultura - Fac. Agronomía
Responsable del muestreo:	Srta. Paola Cristina Callisaya Aduviri
Fecha de muestreo:	10 de mayo de 2016
Hora de muestreo:	11:15
Fecha de recepción de la muestra:	10 de mayo de 2016
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 10 al 26 de mayo 2016
Caracterización de la muestra:	agua de grifo
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Btella Pett
Código LCA:	78 -1
Código original:	A -1

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Limite de determinación	A -1 78 -1
pH	EPA 150.1		1 - 14	8,3
Conductividad eléctrica	EPA 120.1	µS/cm	1,0	88
Cloruros	SM-4500-Cl--B	mg Cl/l	0,020	1,1
Sulfatos	SM 4500-SO4=E	mg/l	1,0	16
Sodio	EPA 273.1	mg/l	0,019	2,7
Potasio	EPA 258.1	mg/l	0,21	0,65
Calcio	EPA 215.1	mg/l	0,32	11
Magnesio	EPA 242.1	mg/l	0,18	2,5
Dureza total	SM 2340 - B	mg CaCO ₃ /l	2,0	38
Fósforo total	EPA 365.2	P-PO ₄ ⁻³ mg/l	0,010	< 0,010
Nitrógeno total	EPA 351.1	mg/l	0,30	< 0,30

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)
EPA= Environmental Protection Agency (Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, junio 12 de 2016


Ing. Jaime Chincheros Paniagua
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



c.c. Arch.
JCH/LCA

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

Anexo 2. Análisis de humus de lombriz

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



Informe de Ensayo: A 108/20

Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYO EN TÉ DE HUMUS DE LOMBRIZ A 108/20

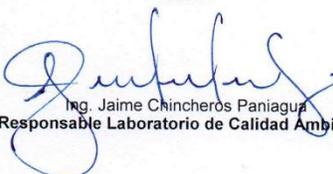
Cliente: FACULTAD DE AGRONOMÍA
Solicitante: Wilma Teresa Condori Quispe
Dirección del cliente: Alto Tacagua, Calle 6 de Agosto
Procedencia de la muestra: Nuestra Señora de La Paz
Provincia: Murillo
Departamento: La Paz
Punto de muestreo: Estación Experimental de Cota Cota
Responsable del muestreo: Wilma Teresa Condori Quispe
Fecha de muestreo: 15 de septiembre de 2020
Hora de muestreo: 10:45
Fecha de recepción de la muestra: 15 de septiembre de 2020
Fecha de ejecución del ensayo: Del 15 al 27 de septiembre, 2020
Caracterización de la muestra: Té de humus de Lombriz
Tipo de muestra: Simple
Envase: Envase de plástico 500 ml
Código LCA: 108- 1
Código original : THL

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	THL 108- 1
Calcio	EPA 215.1	mg/l	0,32	85
Conductividad eléctrica	EPA 120.1	µS/cm	1,0	1749
Magnesio	EPA 242.1	mg/l	0,18	850
pH	EPA 150.1		1 - 14	7,3

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)
EPA= Environmental Protection Agency (Sampling and Analysis Methods)
Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Septiembre 29 de 2020


Ing. Jaime Chincheros Paniagua
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



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

INFORME DE ENSAYO EN TÉ DE HUMUS DE LOMBRIZ A 95/20

Cliente:	FACULTAD DE AGRONOMÍA
Solicitante:	Wilma Teresa Condori Quispe
Dirección del cliente:	Campus universitario, Centro Experimental de Cota Cota
Procedencia de la muestra:	La Paz - Campus universitario
	Provincia: Murillo
	Departamento: La Paz
Punto de muestreo:	Estación Experimental de Cota Cota
Responsable del muestreo:	Wilma Teresa Condori Quispe
Fecha de muestreo:	25 de agosto de 2020
Hora de muestreo:	11:20
Fecha de recepción de la muestra:	25 de agosto de 2020
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 25 de agosto al 09 de septiembre, 2020
Caracterización de la muestra:	Té de humus de Lombriz
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Envase de plástico 500 ml
Código LCA:	95- 1
Código original :	THL

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	THL 95- 1
Nitrógeno total	EPA 351.1	mg/l	0,30	17
Fósforo total	EPA 365.2	mgP-PO ₄ /l	0,010	7,5
Potasio	EPA 258.1	mg/l	0,21	297

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)
 EPA= Environmental Protection Agency (Sampling and Analysis Methods)
 Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Septiembre 12 de 2020


 Ing. Jaime Chincheros Paniagua
 Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



Anexo 3. Cálculos de fertilizantes para 1 litro de agua

Elemento	Símbolo	Aporte del agua mg/l	Requerimiento nutricional ppm	Sol. Nutritiva
Nitrógeno	N-NO ₃	0,30	200	199,7
Fosforo	P	0,010	50	49,99
Potasio	K	0,21	210	209,79
Calcio	Ca	0,32	200	199,68
Magnesio	Mg	0,18	50	49,82
Azufre	S	0	113	113

Fertilizante	N	P	K	Ca	Mg	S
16-16-16	X	X	X			
K NO ₃	X		X			
Ca (NO ₃) ₂	X			X		
Mg SO ₄					X	X

Primer fertilizante. 16-16-16

N 16%

$$(P_2O_5) 16\% * 0,436 = 6,976$$

$$(K_2O) 16\% * 0,840 = 13,44$$

- Para fósforo P

$$100 \text{ mg } 16-16-16 \text{ ----- } 6,976 \text{ mg P}$$

$$X \text{ ----- } 49,99 \text{ mg P}$$

$$X = 716,600 \text{ mg } 16-16-16/l$$

- Para nitrógeno N

$$100 \text{ mg } 16-16-16 \text{ ----- } 16 \text{ mg N}$$

$$716,600 \text{ mg } 16-16-16 \text{ ----- } X$$

$$X = 114,656 \text{ mg N}$$

- Para potasio K

$$\begin{aligned} 100 \text{ mg } 16-16-16 & \text{ ----- } 13,44 \text{ mg K} \\ 716,600 \text{ mg } 16-16-16 & \text{ ----- } X \\ X & = 96,311 \text{ mg K} \end{aligned}$$

Segundo fertilizante Nitrato de Potasio K NO₃

Pureza 95%

N-NO₃ 13,5%

K₂O 45% * 0,83 = 37,35

- Para potasio K

$$209,79 - 96,311 = 113,479$$

$$\begin{aligned} 100 \text{ mg K NO}_3 & \text{ ----- } 37,35 \text{ mg K} \\ X & \text{ ----- } 113,479 \text{ mg K} \\ X & = 303,826 \text{ mg K NO}_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 303,826 \text{ mg K NO}_3 & \text{ ----- } 95\% \\ X & \text{ ----- } 100\% \end{aligned}$$

$$X = \mathbf{319,817 \text{ mg K NO}_3/l}$$

- Para nitrógeno N

$$\begin{aligned} 100 \text{ mg KNO}_3 & \text{ ----- } 13,5 \text{ mg N} \\ 319,817 \text{ mg K NO}_3 & \text{ ----- } X \\ X & = 43,175 \text{ mg N} \end{aligned}$$

Tercer fertilizante Nitrato de Calcio Ca (NO₃)₂

Pureza 90%

N-NO₃ 14,25%

N-NH₄ 1,30%

CaO 26,0% * 0,715 = 18,59

- Para calcio Ca

$$\begin{aligned} 100 \text{ mg Ca (NO}_3)_2 & \text{ ----- } 18,59 \text{ mg Ca} \\ X & \text{ ----- } 199,68 \text{ mg Ca} \\ X & = 1074,126 \text{ mg Ca (NO}_3)_2 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{r}
 1074,126 \text{ mg Ca (NO}_3\text{)}_2 \text{ ----- } 90\% \\
 \phantom{1074,126 \text{ mg Ca (NO}_3\text{)}_2 \text{ ----- }} X \text{ ----- } 100\% \\
 X = \mathbf{1193,473 \text{ mg Ca (NO}_3\text{)}_2/\text{l}}
 \end{array}$$

- Para nitrógeno N

$$\begin{array}{r}
 100 \text{ mg Ca (NO}_3\text{)}_2 \text{ ----- } 14,25 \text{ mg N} \\
 1193,473 \text{ mg (NO}_3\text{)}_2 \text{ ----- } X \\
 X = 170,070 \text{ mg N}
 \end{array}$$

- Para amonio NH₄

$$\begin{array}{r}
 100 \text{ mg Ca (NO}_3\text{)}_2 \text{ ----- } 1,30 \text{ mg NH}_4 \\
 1193,473 \text{ mg Ca (NO}_3\text{)}_2 \text{ ----- } X \\
 X = 15,515 \text{ mg NH}_4
 \end{array}$$

Cuarto fertilizante Sulfato de Magnesio Mg SO₄

Pureza 99%

Mg 9,7%

S 13%

- Para magnesio Mg

$$\begin{array}{r}
 100 \text{ mg Mg SO}_4 \text{ ----- } 9,7 \text{ mg Mg} \\
 \phantom{100 \text{ mg Mg SO}_4 \text{ ----- }} X \text{ ----- } 49,82 \text{ mg Mg} \\
 X = \mathbf{513,608 \text{ mg Mg SO}_4/\text{l}}
 \end{array}$$

- Para azufre S

$$\begin{array}{r}
 100 \text{ mg Mg SO}_4 \text{ ----- } 13 \text{ mg S} \\
 513,608 \text{ mg Mg SO}_4 \text{ ----- } X \\
 X = 66,769 \text{ mg S/l}
 \end{array}$$

Anexo 4. Datos obtenidos del área foliar (cm²/planta)

		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Promedio
T1	V1 D1 R1	137,23	111,25	203,5	135,87	146,96
	V1 D1 R2	212,85	249,13	214,03	176,95	213,24
	V1 D1 R3	175,85	169,46	164,32	153,8	165,86
	Promedio total T1					175,4
T2	V1 D2 R1	216	183,45	244,51	117,04	190,25
	V1 D2 R2	180,9	181	157,42	178,48	174,45
	V1 D2 R3	225,52	224,28	204,58	167,83	205,55
	Promedio total T2					190,1
T3	V1 D3 R1	182,47	162,61	206,59	208,51	190,05
	V1 D3 R2	176,75	149,71	216,11	183,27	181,46
	V1 D3 R3	203,59	149,63	168,74	188,6	177,64
	Promedio total T3					183,0
T4	V1 D4 R1	162,36	172,31	186,63	251,59	193,22
	V1 D4 R2	179,93	178,41	178,1	120,04	164,12
	V1 D4 R3	180,53	119,99	200,61	161,79	165,73
	Promedio total T4					174,4
T5	V2 D1 R1	158,64	165,33	179,09	130,8	158,47
	V2 D1 R2	152,73	148,34	124,75	129,38	138,08
	V2 D1 R3	140,62	156,62	151,37	154,02	150,66
	Promedio total T5					149,3
T6	V2 D2 R1	187,01	154,61	154,47	165	165,27
	V2 D2 R2	178,01	186,66	164,34	209,52	184,63
	V2 D2 R3	186,84	141,24	121,02	177,95	156,76
	Promedio total T6					168,9
T7	V2 D3 R1	116,94	167,8	137,26	138,11	140,03
	V2 D3 R2	136,44	160,99	127,27	175,82	150,13
	V2 D3 R3	157,74	165	175,86	185,43	171,01
	Promedio total T7					153,7
T8	V2 D4 R1	154,97	154,68	179,41	187,82	169,22
	V2 D4 R2	123,6	120,85	176	187,79	152,06
	V2 D4 R3	182,96	151,22	209,51	232,69	194,10
	Promedio total T8					171,8

Anexo 5. Datos obtenidos del peso fresco del vástago (g/planta)

		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Promedio
T1	V1 D1 R1	97	94	77	63	83
	V1 D1 R2	80	93	76	87	84
	V1 D1 R3	75	66	65	75	70
	Promedio total T1					79
T2	V1 D2 R1	83	81	110	95	92
	V1 D2 R2	103	91	87	80	90
	V1 D2 R3	90	105	93	84	93
	Promedio total T2					92
T3	V1 D3 R1	85	73	55	59	68
	V1 D3 R2	103	106	103	92	101
	V1 D3 R3	72	64	75	64	69
	Promedio total T3					79
T4	V1 D4 R1	85	106	81	84	89
	V1 D4 R2	95	92	89	59	84
	V1 D4 R3	69	55	62	74	65
	Promedio total T4					79
T5	V2 D1 R1	95	85	108	91	95
	V2 D1 R2	88	72	62	109	83
	V2 D1 R3	72	68	70	65	69
	Promedio total T5					82
T6	V2 D2 R1	119	127	141	147	133
	V2 D2 R2	93	114	108	101	104
	V2 D2 R3	105	65	98	63	83
	Promedio total T6					107
T7	V2 D3 R1	111	149	155	122	134
	V2 D3 R2	90	80	96	96	90
	V2 D3 R3	83	70	70	96	80
	Promedio total T7					102
T8	V2 D4 R1	112	125	144	176	139
	V2 D4 R2	61	44	70	50	56
	V2 D4 R3	93	78	96	90	89
	Promedio total T8					95

Anexo 6. Datos obtenidos del peso de raíz (g/planta)

		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Promedio
T1	V1 D1 R1	20	20	15	19	19
	V1 D1 R2	19	20	22	21	21
	V1 D1 R3	16	18	16	15	16
	Promedio total T1					18
T2	V1 D2 R1	21	23	21	23	22
	V1 D2 R2	23	21	24	21	22
	V1 D2 R3	21	24	24	26	24
	Promedio total T2					23
T3	V1 D3 R1	21	24	24	22	23
	V1 D3 R2	22	22	23	21	22
	V1 D3 R3	18	19	18	16	18
	Promedio total T3					21
T4	V1 D4 R1	25	27	20	21	23
	V1 D4 R2	22	21	23	22	22
	V1 D4 R3	18	19	24	20	20
	Promedio total T4					22
T5	V2 D1 R1	23	20	22	31	24
	V2 D1 R2	35	28	27	37	32
	V2 D1 R3	24	21	26	23	24
	Promedio total T5					26
T6	V2 D2 R1	32	35	30	29	32
	V2 D2 R2	33	33	33	34	33
	V2 D2 R3	32	28	24	24	27
	Promedio total T6					31
T7	V2 D3 R1	26	29	28	31	29
	V2 D3 R2	22	24	23	24	23
	V2 D3 R3	22	26	18	16	21
	Promedio total T7					24
T8	V2 D4 R1	25	32	35	29	30
	V2 D4 R2	25	21	28	21	24
	V2 D4 R3	27	34	34	35	33
	Promedio total T8					29

Anexo 7. Datos obtenidos de la altura de vástago (cm)

		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Promedio
T1	V1 D1 R1	20.5	23	21	20	21,1
	V1 D1 R2	24.2	25.6	25	23.5	24,6
	V1 D1 R3	20.8	22.7	21.5	21.2	21,6
	Promedio total T1					22,4
T2	V1 D2 R1	24	26	24	25	24,8
	V1 D2 R2	21	23.5	23	22.5	22,5
	V1 D2 R3	23	24.5	22.5	24	23,5
	Promedio total T2					23,6
T3	V1 D3 R1	18	19.5	19	19	18,9
	V1 D3 R2	29	28	27	26	27,5
	V1 D3 R3	23	24.8	22.4	21.6	23,0
	Promedio total T3					23,1
T4	V1 D4 R1	22	22.5	23	24.5	23,0
	V1 D4 R2	22	26	27	23	24,5
	V1 D4 R3	22	23	22.5	23	22,6
	Promedio total T4					23,4
T5	V2 D1 R1	22.5	23	24	21.5	22,8
	V2 D1 R2	21.2	21.5	19.5	42	26,1
	V2 D1 R3	23	24.5	23	22.6	23,1
	Promedio total T5					24,0
T6	V2 D2 R1	21	21	22.5	22	21,6
	V2 D2 R2	24.5	22	22.3	24	23,2
	V2 D2 R3	21.5	24	24.5	21.8	23,0
	Promedio total T6					22,6
T7	V2 D3 R1	22.5	22	23	22	22,4
	V2 D3 R2	21.5	21.5	20.5	19.5	20,8
	V2 D3 R3	21.5	21	21	22.5	21,5
	Promedio total T7					21,5
T8	V2 D4 R1	20	21	20	20.5	20,4
	V2 D4 R2	21	21.8	22	23.5	22,1
	V2 D4 R3	19.1	18.6	20.9	21.5	20,0
	Promedio total T8					20,8

Anexo 8. Datos obtenidos de número de hojas

		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	promedio
T1	V1 D1 R1	15	18	15	17	16
	V1 D1 R2	17	16	18	19	18
	V1 D1 R3	22	20	18	18	20
	Promedio total T1					18
T2	V1 D2 R1	18	16	16	16	17
	V1 D2 R2	15	15	15	17	16
	V1 D2 R3	15	16	17	16	16
	Promedio total T2					16
T3	V1 D3 R1	12	14	12	12	13
	V1 D3 R2	18	23	19	17	19
	V1 D3 R3	15	16	16	13	15
	Promedio total T3					16
T4	V1 D4 R1	18	20	18	21	19
	V1 D4 R2	15	15	15	13	15
	V1 D4 R3	13	15	14	13	14
	Promedio total T4					16
T5	V2 D1 R1	22	25	23	26	24
	V2 D1 R2	25	28	27	27	27
	V2 D1 R3	24	27	26	27	26
	Promedio total T5					26
T6	V2 D2 R1	27	28	25	26	27
	V2 D2 R2	26	23	24	19	23
	V2 D2 R3	16	18	21	15	18
	Promedio total T6					22
T7	V2 D3 R1	22	24	26	29	25
	V2 D3 R2	30	26	27	31	29
	V2 D3 R3	24	25	24	24	24
	Promedio total T7					26
T8	V2 D4 R1	24	26	27	23	25
	V2 D4 R2	15	27	26	25	23
	V2 D4 R3	25	24	28	27	26
	Promedio total T8					25

Anexo 9. Temperatura máxima y mínima del ambiente

Mes	Tem. máxima	Tem. mínima	Mes	Tem. máxima	Tem. mínima
27 de octubre	30	8	1 de diciembre	38	8
28 de octubre	30	6	2 de diciembre	39	7
29 de octubre	31	6	3 de diciembre	38	6
30 de octubre	32	8	4 de diciembre	38	7
31 de octubre	33	8	5 de diciembre	34	5
1 de noviembre	33	8	6 de diciembre	35	6
2 de noviembre	30	7	7 de diciembre	37	5
3 de noviembre	34	7	8 de diciembre	36	6
4 de noviembre	30	8	9 de diciembre	36	6
5 de noviembre	30	7	10 de diciembre	38	9
6 de noviembre	32	7	11 de diciembre	34	5
7 de noviembre	30	6	12 de diciembre	34	5
8 de noviembre	32	6	13 de diciembre	41	6
9 de noviembre	33	7	14 de diciembre	39	8
10 de noviembre	38	8	15 de diciembre	39	8
11 de noviembre	37	8	16 de diciembre	39	8
12 de noviembre	40	8	17 de diciembre	38	7
13 de noviembre	39	7	18 de diciembre	37	6
14 de noviembre	38	7	19 de diciembre	36	6
15 de noviembre	38	8	20 de diciembre	38	4
16 de noviembre	38	7	21 de diciembre	38	7
17 de noviembre	40	7	22 de diciembre	43	10
18 de noviembre	41	9	23 de diciembre	31	7
19 de noviembre	40	5	24 de diciembre	40	6
20 de noviembre	40	7	25 de diciembre	40	6
21 de noviembre	41	3	26 de diciembre	43	9
22 de noviembre	41	5	27 de diciembre	44	7
23 de noviembre	42	6	28 de diciembre	32	9
24 de noviembre	43	7	29 de diciembre	32	9
25 de noviembre	40	8	30 de diciembre	38	9
26 de noviembre	37	4	31 de diciembre	38	9
27 de noviembre	40	7	1 de enero	44	9
28 de noviembre	42	7	2 de enero	32	9
29 de noviembre	40	6	3 de enero	34	7
30 de noviembre	41	4			

Anexo 10. Análisis de varianza

Tabla 20. Análisis de la varianza del área foliar

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3940,55	7	562,94	1,66	0,1897
A (Variedades)	2348,28	1	2348,28	6,92	0,0182*
B (concentraciones)	949,18	3	316,39	0,93	0,4478NS
Variedad*Concentración	643,09	3	214,36	0,63	0,6051NS
Error	5427,89	16	339,24		
Total	9368,44	23			

CV 11 %

Tabla 21. Análisis de la varianza del peso fresco del vástago

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2554,43	7	364,92	0,73	0,6462
A (Variedades)	1172,50	1	1172,50	2,36	0,1439NS
B (concentraciones)	1095,65	3	365,22	0,74	0,5460NS
Variedad*Concentración	286,28	3	95,43	0,19	0,9002NS
Error	7945,00	16	496,56		
Total	10499,43	23			

CV 24 %

Tabla 22. Análisis de la varianza del peso de raíz

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	359,63	7	51,38	4,90	0,0041
A (Variedades)	256,76	1	256,76	24,48	0,0001*
B (concentraciones)	44,52	3	14,84	1,41	0,2751NS
Variedad*Concentración	58,34	3	19,45	1,85	0,1781NS
Error	167,83	16	10,49		
Total	527,46	23			

CV 13 %

Tabla 23. Análisis de la varianza de la altura del vástago

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	24,32	7	3,47	0,92	0,5152
A (Variedades)	4,59	1	4,59	1,22	0,2858NS
B (concentraciones)	5,53	3	1,84	0,49	0,6948NS
Variedad*Concentración	14,20	3	4,73	1,26	0,3226NS
Error	60,27	16	3,77		
Total	84,59	23			

CV 8 %

Tabla 24. Análisis de la varianza de número de hojas

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5,62	7	0,80	9,38	0,0001
A (Variedades)	5,21	1	5,21	60,82	0,0001*
B (concentraciones)	0,24	3	0,08	0,93	0,4481NS
Variedad*Concentración	0,17	3	0,06	0,68	0,5779NS
Error	1,37	16	0,09		
Total	6,99	23			

CV 6 %

Anexo 11. Cálculo para rendimiento Kg/m²

- # de plantas por canal = largo del canal/distancia entre plantas = 6,9m/0,2m

$$= 34 \text{ plantas}$$

- # total de plantas = # de plantas por canal * # de canales

$$= 34 \text{ plantas}/8 \text{ canales} = 272 \text{ plantas}$$

- Área del terreno = largo * ancho = 6,9m/1,1m = 6,59 m²

- Número de plantas por m²

$$272 \text{ plantas} \text{ ----- } 6,59 \text{ m}^2$$

$$X \text{ ----- } 1\text{m}^2 \quad X = 41 \text{ plantas/m}^2$$

- Para tratamiento 1.

$$\text{Promedio total} = (\text{Prom r1} + \text{Prom r2} + \text{Prom r3}) / 3$$

$$\text{Promedio total} = (82,75 \text{ g} + 84,00 \text{ g} + 70,25 \text{ g}) / 3$$

$$\text{Promedio total} = 79,00 \text{ g}$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 1} = \text{Prom total} * \text{número plantas m}^2$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 1} = 79,00 \text{ g} * 41 \text{ plantas/m}^2$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 1} = 3239 \text{ g/m}^2$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 1} = 3,239 \text{ kg/m}^2$$

- Para tratamiento 2.

$$\text{Promedio total} = (\text{Prom r1} + \text{Prom r2} + \text{Prom r3}) / 3$$

$$\text{Promedio total} = (92,25 \text{ g} + 90,25 \text{ g} + 93,00 \text{ g}) / 3$$

$$\text{Promedio total} = 91,83 \text{ g}$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 2} = \text{Prom total} * \text{número plantas m}^2$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 2} = 91,83 \text{ g} * 41 \text{ plantas/m}^2$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 2} = 3765,03 \text{ g/m}^2$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 2} = 3,765 \text{ kg/m}^2$$

- Para tratamiento 3.

$$\text{Promedio total} = (\text{Prom r1} + \text{Prom r2} + \text{Prom r3})/3$$

$$\text{Promedio total} = (68,00 \text{ g} + 101,00 \text{ g} + 86,75 \text{ g})/3$$

$$\text{Promedio total} = 85,25 \text{ g}$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 3} = \text{Prom total} * \text{número plantas m}^2$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 3} = 85,25 \text{ g} * 41 \text{ plantas/m}^2$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 3} = 3495,25 \text{ g/m}^2$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 3} = 3,495 \text{ kg/m}^2$$

- Para tratamiento 4.

$$\text{Promedio total} = (\text{Prom r1} + \text{Prom r2} + \text{Prom r3}) /3$$

$$\text{Promedio total} = (89,00 \text{ g} + 83,75 \text{ g} + 65,00 \text{ g}) /3$$

$$\text{Promedio total} = 79,25 \text{ g}$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 4} = \text{Prom total} * \text{número plantas m}^2$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 4} = 79,25 \text{ g} * 41 \text{ plantas/m}^2$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 4} = 3249,25 \text{ g/m}^2$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 4} = 3,249 \text{ kg/m}^2$$

- Para tratamiento 5.

$$\text{Promedio total} = (\text{Prom r1} + \text{Prom r2} + \text{Prom r3}) /3$$

$$\text{Promedio total} = (97,75 \text{ g} + 82,75 \text{ g} + 68,75 \text{ g}) /3$$

$$\text{Promedio total} = 82,08 \text{ g}$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 5} = \text{Prom total} * \text{número plantas m}^2$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 5} = 82,08 \text{ g} * 41 \text{ plantas/m}^2$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 5} = 3365,42 \text{ g/m}^2$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 5} = 3,365 \text{ kg/m}^2$$

- Para tratamiento 6.

$$\text{Promedio total} = (\text{Prom r1} + \text{Prom r2} + \text{Prom r3}) / 3$$

$$\text{Promedio total} = (133,5 \text{ g} + 104,00 \text{ g} + 82,75 \text{ g}) / 3$$

$$\text{Promedio total} = 106,75 \text{ g}$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 6} = \text{Prom total} * \text{número plantas m}^2$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 6} = 106,75 \text{ g} * 41 \text{ plantas/m}^2$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 6} = 4376,75 \text{ g/m}^2$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 6} = \mathbf{4,377 \text{ kg/m}^2}$$

- Para tratamiento 7.

$$\text{Promedio total} = (\text{Prom r1} + \text{Prom r2} + \text{Prom r3}) / 3$$

$$\text{Promedio total} = (134,25 \text{ g} + 90,5 \text{ g} + 79,75 \text{ g}) / 3$$

$$\text{Promedio total} = 101,5 \text{ g}$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 7} = \text{Prom total} * \text{número plantas m}^2$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 7} = 101,5 \text{ g} * 41 \text{ plantas/m}^2$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 7} = 4161,5 \text{ g/m}^2$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 7} = \mathbf{4,162 \text{ kg/m}^2}$$

- Para tratamiento 8.

$$\text{Promedio total} = (\text{Prom r1} + \text{Prom r2} + \text{Prom r3}) / 3$$

$$\text{Promedio total} = (139,25 \text{ g} + 56,25 \text{ g} + 89,25 \text{ g}) / 3$$

$$\text{Promedio total} = 94,91 \text{ g}$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 8} = \text{Prom total} * \text{número plantas m}^2$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 8} = 94,91 \text{ g} * 41 \text{ plantas/m}^2$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 8} = 3891,6 \text{ g/m}^2$$

$$\text{Rendimiento tratamiento 8} = \mathbf{3,892 \text{ kg/m}^2}$$

Anexo 12. Cálculo para la cantidad de semilla requerida

1 gramo contiene 800 semillas, para Whaldman's Green.

800 semillas-----1 gr

900 semillas-----X

$$X = (900 \text{ semillas} * 1 \text{ gr}) / 800 \text{ semillas}$$

$$X = 1,125 \text{ gr}$$

$$X = 1,125 \text{ gr} * (1 \text{ lb} / 453,59 \text{ gr}) * (16 \text{ oz} / 1 \text{ lb})$$

$$X = \underline{0,0397 \text{ oz}}$$

1 gramo contiene 800 semillas, para White Boston.

800 semillas-----1 gr

450 semillas-----x

$$X = (450 \text{ semillas} * 1 \text{ gr}) / 800 \text{ semillas}$$

$$X = 0,5625 \text{ gr}$$

$$X = 0,5625 \text{ gr} * (1 \text{ lb} / 453,59 \text{ gr}) * (16 \text{ oz} / 1 \text{ lb})$$

$$X = \underline{0,0198 \text{ oz}}$$

Anexo 13. Consumo de agua

El consumo de agua es de 13 litros por unidad.

13 lt-----1 lechuga

X-----272 lechugas

$$X = (272 \text{ lechugas} * 13 \text{ lt}) / 1 \text{ lechuga} \quad X = 3536 \text{ lt agua}$$

1000 lt-----1 m³

3536 lt H₂O-----X

$$X = (3536 \text{ lt H}_2\text{O} * 1 \text{ m}^3) / 1000 \text{ lt} \quad X = \underline{3.536 \text{ m}^3 \text{ agua}}$$

Anexo 14. Calculo de cantidad de sales nutritivas para 3536 lt de agua

- Peso para nitrato de potasio KNO₃

319,817 mg KNO₃-----1 lt H₂O

X-----3536 lt H₂O

$$X = (3536 \text{ lt H}_2\text{O} * 319,817 \text{ mg KNO}_3) / 1 \text{ lt H}_2\text{O} \quad X = 1130872,152 \text{ mg KNO}_3$$

$$X = 1130872,152 \text{ mg KNO}_3 * (1 \text{ gr}/1000 \text{ mg}) * (1\text{kg}/1000\text{gr}) \quad X = 1,13 \text{ kg}$$

- Peso para nitrato de calcio Ca NO₃

1193,473 mg Ca (NO₃)₂-----1 lt H₂O

X-----3536 lt H₂O

$$X = (3536 \text{ lt H}_2\text{O} * 1193,473 \text{ mg Ca (NO}_3)_2) / 1 \text{ lt H}_2\text{O} \quad X = 4220121 \text{ mg Ca (NO}_3)_2$$

$$X = 4220121 \text{ mg Ca (NO}_3)_2 * (1 \text{ gr}/1000 \text{ mg}) * (1\text{kg}/1000\text{gr}) \quad X = 4,22 \text{ kg}$$

- Peso para sulfato de magnesio Mg SO₄

513,608 mg Mg SO₄-----1 lt H₂O

X-----3536 lt H₂O

$$X = (3536 \text{ lt H}_2\text{O} * 513,608 \text{ mg Mg SO}_4) / 1 \text{ lt H}_2\text{O} \quad X = 1816118,763 \text{ mg Mg SO}_4$$

$$X = 1816118,763 \text{ mg Mg SO}_4 * (1 \text{ gr}/1000 \text{ mg}) * (1\text{kg}/1000\text{gr}) \quad X = 1,82 \text{ kg}$$

- Peso para 16-16-16

716,600 mg 16-16-16-----1 lt H₂O

X-----3536 lt H₂O

$$X = (3536 \text{ lt H}_2\text{O} * 716,600 \text{ mg 16-16-16}) / 1 \text{ lt H}_2\text{O} \quad X = 2533896.787 \text{ mg 16-16-16}$$

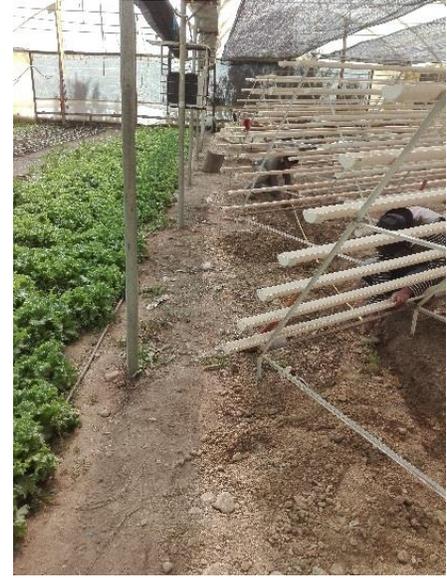
$$X = 2533896.787 \text{ mg 16-16-16} * (1 \text{ gr}/1000 \text{ mg}) * (1\text{kg}/1000\text{gr}) \quad X = 2,53 \text{ kg}$$

Anexo 15. Actividades realizadas durante la investigación

Fotografía 1. Instalación de la malla
sombra



Fotografía 2. Nivelación del canal al
2% de pendiente.



Fotografía 3.Empalmado de tubo.



Fotografía 4. Sistema hidropónico
finalizado.



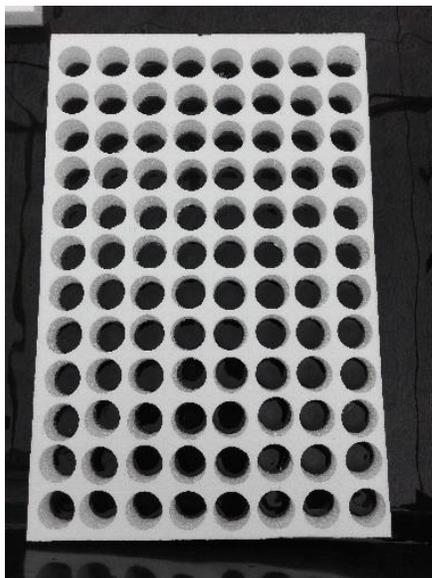
Fotografía 5. Semilla waldman's Green



Fotografía 6. Semilla White Boston.



Fotografía 7. Elaboración de bandejas flotantes.



Fotografía 8. Cubos de propagación.



Fotografía 9. Espesor del cubo de propagación.



Fotografía 10. perforación de cubos de propagación.



Fotografía 11. Colocación de las semillas a los cubos de propagación.



Fotografía 12. Cubos de propagación en lugar oscuro.



Fotografía 13. Arreglo del contenedor.



Fotografía 14. Semillas germinadas.



Fotografía 15. Contenedor y semillas germinadas.



Fotografía 16. Aparición de cotiledones.



Fotografía 17. Altura de plántula.



Fotografía 18. Plántulas listas para ser traspladadas.



Fotografía 19. Tamizado de humus de lombriz.



Fotografía 20. Pesado de humus de lombriz.



Fotografía 21. Humus de lombriz en Fibra nylon.



Fotografía 22. Té de humus siendo oxigenado.



Fotografía 23. Aplicación del té de humus de lombriz.



Fotografía 24. Lechuga White Boston.



Fotografía 25. Lechuga Waldman's Green



fotografía 26. Lechuga lista para ser comercializada.



Fotografía 27. Lechugas en el sistema NFT.

