



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



**PRODUCCIÓN DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) EN SISTEMA
HIDROPÓNICO RECIRCULANTE NFT EN FORMA
HORIZONTAL Y VERTICAL, EN INVERNADERO - PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

MAGALY CRUZ SONCCO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

PUNO – PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

PRODUCCIÓN DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) EN SISTEMA HIDROPÓNICO RECULANTE NFT EN FORMA HORIZONTAL Y VERTICAL, EN INVERNADERO - PUNO

AUTOR

MAGALY CRUZ SONCCO

RECuento DE PALABRAS

23806 Words

RECuento DE CARACTERES

125204 Characters

RECuento DE PÁGINAS

127 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

3.9MB

FECHA DE ENTREGA

Aug 16, 2024 4:57 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Aug 16, 2024 5:00 PM GMT-5

● **16% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 16% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)

Félix Alonso Astete Maldonado
ING. AGRÓNOMO M. SC. DR.
CIP 45048

Dr. Manuel Alfredo Callohuanca P.
Cod: 82081 CP: 2444

Resumen



DEDICATORIA

A Dios, fuente infinita de sabiduría y guía, dedico este trabajo como testimonio de mi gratitud y reconocimiento por las bendiciones que has derramado en mi vida. En cada paso de este camino, tu luz ha iluminado mi mente, tu fortaleza ha sostenido mi espíritu y tu amor ha sido mi inspiración. En momentos de incertidumbre, encontré consuelo en tu presencia. En horas de dificultad, tu gracia me ha fortalecido.

A mis padres, cuyo apoyo incondicional ha sido el cimiento de este logro. Vuestra fe en mí ha sido mi mayor inspiración. A mis profesores y mentores, cuya guía experta y sabios consejos han iluminado mi camino y ampliado mi perspectiva. A mis amigos y seres queridos, por su paciencia, aliento y comprensión durante este viaje.

Magaly Cruz Soncco



AGRADECIMIENTOS

A Dios, por el regalo más preciado: la vida, tu amor y tu gracia han sido mi sustento constante. ¡Gracias por cada oportunidad y por iluminar mi camino hacia el conocimiento!

A mis padres Fernando Cruz y María Soncco, a mis hermanos, mi gratitud eterna, que hicieron todo lo posible en la vida para que yo logre mis sueños, por ser los pilares de mi instrucción para alcanzar mis objetivos en esta fase de mi vida.

A mi director de tesis Dr. Felix Alonso Astete Maldonado, Por su dedicación, orientación y sabiduría a lo largo de este proceso, ha sido fundamental para la culminación de este trabajo de investigación.

A mis estimados jurados: M. Sc. Charaja Villalta, Abdon, M. Sc. Marca Vilca, Saturnino, y D.Sc. Juan Carlos Luna Quecaño; agradezco profundamente el apoyo brindado, así como sus valiosos consejos, recomendaciones y la dedicación en la revisión y mejora de este proyecto de investigación.

A mi escuela profesional de Ingeniería agronómica, Por brindarme las herramientas y oportunidades para crecer profesionalmente.

Agradezco a mis amigos y compañeros, por el apoyo mutuo, la colaboración y las experiencias compartidas que hicieron posible la elaboración de este estudio.

Magaly Cruz Soncco



ÍNDICE DE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE DE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	15
ABSTRACT.....	16
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. OBJETIVO GENERAL	18
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES.....	19
2.2. MARCO TEÓRICO	22
2.2.1. Sistema hidropónico.....	22
2.2.2. Ventajas y desventajas de sistema hidropónico	26
2.2.3. Nutrición de la planta en hidroponía.....	28
2.2.4. Solución nutritiva	32
2.2.5. Absorción de agua y nutrientes	40
2.2.6. Manejo del cultivo hidropónico	41



2.2.7. Origen de Cultivo de lechuga.....	48
2.2.8. Ubicación taxonómica.....	50
2.2.9. Descripción botánica.....	50
2.2.10. Variedades de lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.).....	51
2.2.11. Ciclo fenológico del cultivo de la lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.).....	53
2.2.12. Condiciones agroclimáticas.....	54
2.2.13. Manejo de cultivo.....	57
2.2.14. Labores culturales.....	59
2.2.15. Plagas y enfermedades.....	60
2.2.15. Cosecha.....	62
2.2.16. Rendimiento.....	63

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO.....	65
3.1.1. Ubicación Política.....	65
3.1.2. Ubicación Geográfica.....	65
3.1.3. Periodo de duración de la investigación.....	66
3.2. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA.....	66
3.3. MATERIALES.....	67
3.3.1. Material vegetal.....	67
3.3.2. Solución nutritiva (fertilizantes).....	68
3.3.3. Materiales y herramientas.....	69
3.4. VARIABLES EN ESTUDIO.....	70
3.4.1. Factores en estudio:.....	70
3.5. TRATAMIENTOS EN ESTUDIO.....	71



3.6.	VARIABLES DE RESPUESTA	71
3.7.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	72
3.8.	METODOLOGÍA	72
3.8.1.	Características de unidad experimental.....	72
3.8.2.	Conducción del experimento.....	73
3.8.3.	Evaluar las variables de respuesta.....	82
3.8.4.	Análisis estadístico.....	83

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	RENDIMIENTO DE LECHUGA EN SISTEMA HIDROPÓNICO RECIRCULANTE NFT, EN FORMA HORIZONTAL Y VERTICAL	84
4.1.1.	Análisis de varianza de peso de planta con raíz (g/planta) en dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT y tres variedades de lechuga.....	84
4.1.2.	Análisis de varianza de peso de planta sin raíz (g/planta) en dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT y tres variedades de lechuga.....	88
4.1.3.	Análisis de varianza de altura de planta (cm).	94
4.2.	RENDIMIENTO DE VARIEDADES DE LECHUGA EN SISTEMA HIDROPÓNICO RECIRCULANTE NFT.....	99
4.2.1.	Rendimiento de variedades de lechuga en el sistema hidropónico recirculante NFT vertical.	99
4.2.2.	Rendimiento de variedades de lechuga en el sistema hidropónico recirculante NFT horizontal	101
4.3.	COSTOS DE INVERSIÓN DEL MÓDULO NFT Y ANÁLISIS DE RENTABILIDAD.....	103
4.3.1.	Análisis de rentabilidad de lechuga variedad Great Lakes	104



4.3.2. Análisis de rentabilidad de la lechuga variedad Green Leaf.....	105
4.3.3. Análisis de rentabilidad de la lechuga variedad White Boston.....	105
V. CONCLUSIONES.....	106
VI. RECOMENDACIONES	107
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108
ANEXOS.....	113

ÁREA : Ciencias Agrícolas

TEMA: Manejo Agronómico de cultivos

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 20 de agosto del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Comparación de la producción de lechugas en suelo y en sistema hidropónico	27
Tabla 2 Masas moleculares de los iones presentes en la solución nutritiva.	34
Tabla 3 Umbral de conductividad eléctrica (CE) para algunos cultivos hortícolas.....	39
Tabla 4 Costos fijos de la instalación de sistema hidropónico	46
Tabla 5 Costo variable de producción (para una cosecha) de sistema hidropónico	47
Tabla 6 Valor nutricional de la lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)	49
Tabla 7 Resultados del análisis físico-químico de muestras de agua de Huajje – Puno.	67
Tabla 8 Formulación de las soluciones nutritivas A y B para todo el período vegetativo.	68
Tabla 9 Tratamientos en estudio en dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT y tres variedades de Lechuga.	71
Tabla 10 Programación de riego utilizando el temporizador digital 12v.....	78
Tabla 11 Análisis de varianza de peso de planta con raíz (g/planta) evaluadas bajo dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT para tres variedades de lechuga. 85	85
Tabla 12 Medias generales de pesos con raíz (g/planta), bajo dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT.....	86
Tabla 13 Medias generales de pesos con raíz (g/planta) para tres variedades y la prueba de Tukey.....	87
Tabla 14 Medias generales de pesos con raíz (g/planta) por cada sistema hidropónico recirculante NFT y las pruebas de Tukey.	87



Tabla 15 Análisis de varianza de peso de plantas sin raíz (g/planta), en dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT y tres variedades de lechuga.....	89
Tabla 16 Medias generales de pesos sin raíz (g/planta) bajo dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT.....	90
Tabla 17 Medias generales de peso sin raíz (g/planta) para tres variedades y la prueba de Tukey.....	91
Tabla 18 Medias de pesos sin raíz (g/planta) de tres variedades evaluadas en dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT y las pruebas de Tukey.	93
Tabla 19 Análisis de varianza de altura de planta (cm) de tres variedades de lechuga evaluados bajo dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT.....	95
Tabla 20 Medias generales de altura de planta (cm) en dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT.....	96
Tabla 21 Medias generales de altura de planta (cm) de tres variedades y la prueba de Tukey.	97
Tabla 22 Medias de altura de planta (cm) de tres variedades producidas en dos sistemas recirculantes NFT y las pruebas de Tukey.....	98
Tabla 23 Rendimiento de lechuga (g/25 plantas) por variedad en el sistema NFT vertical.....	100
Tabla 24 Rendimiento de lechuga (g/25 plantas) por variedad en el sistema NFT horizontal	102
Tabla 25 Análisis comparativo de costo de producción y rentabilidad por variedades de lechuga.	104



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Disponibilidad de nutrientes según el pH del agua.	38
Figura 2 Producción anual de lechuga, según regiones 2021 (t/ha).	63
Figura 3 Rendimiento promedio de la lechuga 2021	64
Figura 4 Ubicación del experimento.....	66
Figura 5 Distribución de tratamientos y detalle de la unidad experimental	74
Figura 6 Prototipos de los sistemas recirculantes NFT, vertical y horizontal	74
Figura 7 El monitoreo semanal de la conductividad eléctrica (CE)	79
Figura 8 El monitoreo del pH inter diario	80
Figura 9 Monitoreo de temperatura en el invernadero a lo largo de 10 semanas	81
Figura 10 Rendimiento de lechuga (g/25 plantas) por variedades en el sistema hidropónico NFT vertical.	100
Figura 11 Rendimiento de lechuga (g/25 plantas) por variedad en el sistema hidropónico NFT horizontal.	102
Figura 12 Comparación de rendimiento de variedades de lechuga (g/25 plantas) en los dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT.	103



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. Costo de producción e instalación del prototipo del sistema hidropónico.	113
ANEXO 2. Costos de producción de lechuga del segundo año.	114
ANEXO 3. Análisis de rentabilidad de la variedad Great Lakes.	115
ANEXO 4. Análisis de rentabilidad de la variedad Green Leaf.	116
ANEXO 5. Análisis de rentabilidad de la variedad White Boston.	116
ANEXO 6. Datos del monitoreo de la conductividad eléctrica.	117
ANEXO 7. Datos del monitoreo de la pH.	117
ANEXO 8. Monitoreo semanal de temperaturas (mañana, medio día, tarde).....	117
ANEXO 9. Análisis físico- químico de agua de Huajje.....	118
ANEXO 10. Análisis de semilla en laboratorio de análisis de semilla UNA- PUNO.	119
ANEXO 11. Elaboración del prototipo y construcción del sistema vertical y horizontal	120
ANEXO 12. Preparación de la poza de agua.	120
ANEXO 13. Se realizó los orificios de 6 cm de diámetro.	120
ANEXO 14. Instalación del sistema NFT vertical y horizontal.	121
ANEXO 15. Instalación del sistema de riego y programación con temporizador.	121
ANEXO 16. Distribución del sistema de riego en el sistema NFT y llenado de agua.	122
ANEXO 17. Preparación de sustrato y siembra de semillas en almácigo.....	122
ANEXO 18. Germinación de las primeras plántulas y plántulas pasado los 20 días....	122
ANEXO 19. Trasplante en el sistema de raíz flotante en esponjas.....	123
ANEXO 20. Preparación de solución nutritiva e incorporación al sistema flotante....	123
ANEXO 21. Plántulas 18 días después del primer trasplante.	123
ANEXO 22. Trasplante en sistema NFT vertical y horizontal.....	124



ANEXO 23. Preparación e incorporación a la poza de agua y control de C.E y pH. .	124
ANEXO 24. Cosecha en sistema NFT vertical y horizontal.	125
ANEXO 25. Evaluación de todos los parámetros en el laboratorio.	125
ANEXO 26. Declaración jurada de autenticidad de tesis	126
ANEXO 27. Autorización para el repositorio de tesis en el repositorio institucional ..	127



ACRÓNIMOS

CE:	Conductividad eléctrica
pH	Potencia de hidrogeno
Cm:	Centímetro
m ² :	Metro cuadrado
g:	Gramos
CV:	Coefficiente de variación o Coeficiente de variabilidad
m:	Metros
NFT:	Nutrient Film Technique.
VBP:	Valor Bruto de la Producción
CD:	Costo Directo.
CI:	Costo Indirecto
CTP:	Costo Total de Producción.
UN:	Utilidad Neta de la Producción
IR:	Indicé de Rentabilidad.
F.V:	Fuente de Variación.
G.L:	Grados de Libertad.
S.M:	Suma de Cuadrados
C.M:	Cuadrado Medio



RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivos comparar los rendimientos de lechugas cultivadas en dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT, horizontal y vertical, identificar la variedad de lechuga de mayor rendimiento, en el sistema hidropónico recirculante NFT y evaluar la rentabilidad de producción de cada variedad de lechuga cultivados en el sistema hidropónico recirculante NFT. Se utilizó el Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial 2 x 3 en parcelas divididas, las parcelas constituyeron dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT y las sub-parcelas tres variedades de lechugas, con cinco repeticiones. Los resultados revelaron que en el sistema hidropónico NFT horizontal se obtuvo mayor rendimiento de lechuga con 5881.875 g/25 plantas, en relación al sistema hidropónico recirculante NFT vertical en el que se obtuvo 4303.5 g/25 plantas. En relación al rendimiento, la variedad de lechuga de mayor rendimiento fue Green Leaf tanto en el sistema hidropónico recirculante NFT horizontal, con 7510.95 g/25 plantas (con raíz) y 7015.00 g/25 plantas (sin raíz), como en el sistema vertical con 4747.10 g/25 plantas (con raíz) y 4332.75 g/25 plantas (sin raíz). El análisis de rentabilidad de producción de lechuga mostró valores negativos en el primer año de producción, debido a los altos costos iniciales, sin embargo, en los siguientes años mostró valores positivos; así, las variedades Green Leaf, Great Lakes y White Boston mostraron índices de rentabilidad de 39.72%, 11.78% y 2.46%, respectivamente.

Palabras clave: Lechuga, Rendimiento, Rentabilidad, Sistema NFT, Variedades.



ABSTRACT

The objectives of this research were to compare the yields of lettuce grown in two NFT recirculating hydroponic systems, horizontal and vertical, to identify the variety of lettuce with the highest yield in the NFT recirculating hydroponic system and to evaluate the production profitability of each variety of lettuce grown in the NFT recirculating hydroponic system. The Completely Random Design was used with a 2 x 3 factorial arrangement in divided plots, the plots constituted two NFT recirculating hydroponic systems and the sub-plots three varieties of lettuce, with five repetitions. The results revealed that in the horizontal NFT hydroponic system, a higher yield of lettuce was obtained with 5881.875 g/25 plants, in relation to the vertical NFT recirculating hydroponic system in which 4303.5 g/25 plants was obtained. In relation to yield, the highest yielding lettuce variety was Green Leaf both in the horizontal NFT recirculating hydroponic system, with 7510.95 g/25 plants (with roots) and 7015.00 g/25 plants (without roots), and in the vertical system. with 4747.10 g/25 plants (with root) and 4332.75 g/25 plants (without root). The profitability analysis of lettuce production showed negative values in the first year of production, due to the high initial costs, however, in the following years it showed positive values; Thus, the Green Leaf, Great Lakes and White Boston varieties showed profitability rates of 39.72%, 11.78% and 2.46%, respectively.

Keywords: Lettuce, Performance, Profitability, NFT System, Varieties.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La hidroponía, como una técnica de producción de alimentos vegetales sin utilizar el suelo tiene el potencial de cumplir este rol, ya que es posible instalar huertos hidropónicos en los patios de las viviendas o en los techos. Además, puede generar ingresos por la venta de hortalizas frescas y sanas. Aprovechando materiales de polietileno disponibles, una pequeña bomba eléctrica y un tablero electrónico programable, es posible diseñar un módulo hidropónico conocido como sistema de solución nutritiva recirculante, o "la técnica de la película nutritiva", conocida en inglés como Nutrient Film Technique (NFT) (FAO, 2003).

Con la técnica de cultivos hidropónicos, es posible producir todo tipo de hortalizas. Las que mejor prosperan en el sistema de raíz flotante son la lechuga, la albahaca y el apio, mientras que para las demás hortalizas se recomienda utilizar un sustrato (material inerte como arena, grava, roca volcánica, lana de roca, etc.). La solución nutritiva se aplica diariamente en forma de riego (FAO, 2003).

La producción de hortalizas generalmente requiere de suelos en las que se debe incorporar bastante materia orgánica y buena fertilización, caso contrario los suelos se empobrecen y los rendimientos bajan, sin embargo, con el sistema hidropónico se puede duplicar los rendimientos utilizando una adecuada disponibilidad de nutrientes en la solución nutritiva para las plantas (Izquierdo, 2003).

Desde un punto de vista económico, al utilizar el sistema NFT, la hidroponía puede convertirse de naturaleza comercial, constituyendo una fuente de ingreso para las familias que puedan adoptar esta técnica que incrementa considerablemente los



rendimientos. Además, con los productos disponibles, habría un mejoramiento de la dieta familiar y nutrición (Izquierdo, 2003).

Por otro lado, al adecuar el uso del sistema NFT a las condiciones climáticas del altiplano y a la disponibilidad de equipos y materiales de bajo costo como: pequeña bomba eléctrica, un tablero de control automático, tubos de polietileno y otros; se obtendrá una tecnología adaptada y automatizada, por cuanto la solución nutritiva recirculará automáticamente (Soto, 2015).

Por las consideraciones expuestas, siendo la lechuga una de las verduras de mayor consumo en la ciudad de Puno y que ha demostrado mejor adaptación en este tipo de técnicas de hidroponía. Por lo tanto, este proyecto de investigación pretende dar respuesta a que sería rentable producir lechuga hidropónica bajo el sistema recirculante (NFT), en forma horizontal y vertical, bajo condiciones de invernadero en Puno.

1.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la producción de variedades de lechuga y la rentabilidad en dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT, horizontal y vertical, en invernadero en Puno.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar los rendimientos de lechuga cultivadas en dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT, en forma horizontal y vertical.
- Identificar la variedad de lechuga de mayor rendimiento, en el sistema hidropónico recirculante NFT.
- Evaluar la rentabilidad de producción de cada variedad de lechuga cultivados en el sistema hidropónico recirculante NFT.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Catata (2015) realizó una investigación para identificar la mejor variedad de lechuga y solución nutritiva para el cultivo hidropónico en el sistema NFT, bajo invernadero en la ciudad de Arequipa. Utilizó un diseño completo al azar (DCA) con arreglo factorial 2 x 3 haciendo 6 tratamientos con 5 repeticiones, con un total de 30 unidades experimentales; Los resultados indica que la solución nutritiva la Molina permitió un mejor desarrollo en altura, con un promedio de 19,59 cm, mientras que Hoagland registró 15,46 cm. La variedad Waldmans Green mostró la mayor altura con 19,95 cm, seguida por Bonita con 16,32 cm y Hardy con 16,30 cm. En cuanto a la combinación de variedad y solución, Bonita tuvo el mayor peso con 195,43 g, seguida de Waldmans Green con 138,40 g y Hardy con 124,10 g. La solución la Molina fue la más efectiva, y la variedad Bonita la mejor. Bonita mostró la mayor rentabilidad neta (66%).

Valdez (2015) analizó el comportamiento de la demanda y la oferta de lechuga hidropónica, en base a ello ha establecido una demanda anual insatisfecha para el año 2014 de 1,777,389 lechugas/año. Dependiendo del diseño y del método de cultivo, en un invernadero de 1.000 metros cuadrados se puede producir un máximo de 399.456 lechugas al año, lo que supone un alto rendimiento en un invernadero de 1.000 metros cuadrados se pueden cultivar 399.456 lechugas al año. En este espacio, se distribuyen en 8 estructuras, cada una con 8 tubos de PVC de 12 metros de largo, en relación B/C (1.98), con un horizonte a cinco años, alcanzan niveles para concluir que la producción y comercialización de lechugas hidropónicas es un proyecto factible, sostenible y sustentable.



Cajo (2016) evaluó la producción hidropónica de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo el sistema NFT, utilizando tres soluciones nutritivas. El diseño experimental se realizó en parcelas divididas, con soluciones nutritivas como parcela principal y variedades como subparcela. Al día 80, las combinaciones S2V3 (solución salina) y S2V2 (Lollo Rossa) mostraron un mayor crecimiento. La variedad V3 (Salad Bowl) resultó la más efectiva en peso y rendimiento. El análisis económico concluyó que la solución 3 obtuvo la mejor relación beneficio-costo, con un valor de 1,58 (58% de beneficio).

Pauro (2017) evaluó seis variedades de lechuga cultivadas en sistema NFT para determinar rendimiento y rentabilidad. Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con cinco repeticiones. Los resultados muestran que la variedad Maravilla 4 Estaciones presentó el mayor rendimiento con 5,07 kg/m², superando a todas las demás variedades. La variedad Waldmann Green con un rendimiento de 4,79 kg/m². La variedad Crespa Morada obtuvo un rendimiento de 4,66 kg/m², situándose en tercer lugar. El análisis económico confirmó que estas tres variedades son rentables, con valores B/C mayores a 1.

Mendoza (2017) identificó el mejor nivel de aireación y el mejor cultivar de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un sistema NFT utilizando un diseño de parcelas divididas en bloques al azar con tres repeticiones. Los resultados mostraron que el nivel A2 de aireación mejoró el crecimiento y la calidad, con una altura de 18,67 cm, 14,78 hojas por planta, y mejores colores. Sin embargo, el nivel A0 produjo el mayor peso fresco (99,78 g) y seco (8,64 g), siendo el más recomendable. El cultivar Grand Rapids destacó con la mayor longitud de raíz (30,17 cm), peso fresco (98,11 g), peso seco (9,55 g), sólidos solubles (5,49 °Brix) y color. Lollo Bionda tuvo el mayor número de hojas (15,44 por planta).



Perez (2018) realizó un estudio con el objetivo de formular un proyecto de producción de lechuga rentable y sostenible utilizando la técnica de la hidroponía considera que la lechuga hidropónica que se oferta es “Variedad White Boston”, de inmejorables características, producto fresco libre de tóxicos, de un alto valor nutricional y de excelente calidad. La evaluación económica y financiera del proyecto fue rentable y el capital invertido se recuperó en el primer año de ejecución del proyecto. Los indicadores son los siguientes: VAN S/.123.427,25, TIRE (112,2354%), VAN S/.100.699,98, TIRE 76,0953%. El proyecto alcanzó el punto de equilibrio en el primer año, con una producción de 86.626 unidades de lechuga.

Carpio (2019) elaboró un estudio de pre factibilidad de una planta con sistema NFT vertical para su uso en hidroponía en la producción de lechugas, estudiando la posibilidad de la producción de un alimento nutritivo que incrementa la salud de los consumidores, así como la disminución de costos iniciales y de operación del sistema NFT mediante la eliminación del uso de compresoras y disminución en el uso de bombas a lo largo del sistema vertical propuestos, teniendo como resultado que el proyecto es viable económica y financieramente debido a los VAN positivos y las TIR mayores a las tasas del sector, además de presentar buenas tasas de retorno, en tiempo y dinero.

Baza et al., (2021) sostiene que el sistema hidropónico es una alternativa agrícola ideal para zonas urbanas, especialmente la técnica de recirculación, ya que minimiza el consumo de agua mediante su reutilización, incrementa el rendimiento y la rentabilidad de cultivos de hortalizas, frutas y verduras de alta calidad, y es sostenible para el medio ambiente. Este método permite un crecimiento rápido al proporcionar agua y nutrientes directamente a las raíces, sin necesidad de suelo.



Soria (2022) determino el efecto de la intensidad de luz solar en los 3 tipos de variedades de (*Lactuca sativa* L), las características agronómicas de las variedades de lechuga mostraron diferencias significativas ($p < 0.01$). La variedad Tropicana destacó en altura (27.33 cm), superior a Adriana (17.97 cm) y similar a Grand Rapid (25.70 cm). En ancho de planta, Tropicana (28.20 cm) fue mejor que Adriana (26.00 cm) y Grand Rapid (25.87 cm). Tropicana también tuvo la mayor longitud de raíz (7.15 cm) frente a Adriana (6.05 cm) y Grand Rapid (6.57 cm). Grand Rapid tuvo más hojas por planta (13.20) que Adriana (12.0) y Tropicana (10.30). Adriana tuvo el mayor peso de raíz (14.50g), superando a Tropicana (13.77 g) y Grand Rapid (9.23 g). En rendimiento, Tropicana tuvo el mayor peso (100.63 g), seguida de Grand Rapid (74.00 g) y Adriana (59.57 g).

Condor (2023) evaluó el efecto de diferentes soluciones nutritivas sobre el rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Los resultados mostraron que el tratamiento (T1) fue el más eficaz y produjo el mayor rendimiento con 159,15 g de peso fresco, 19,10 cm de altura de planta, 19,5 hojas, 13. 65 cm de longitud de hoja; 18,50 cm de diámetro de planta; y 4,774 kg/m² de rendimiento comercializable.

Paye (2022) reporta que el sistema acuapónico de trucha arco iris para el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) mostró ser eficiente porque se fijó en la capacidad del aprovechamiento del efluente reflejado en la producción de truchas para la producción de lechugas: tamaño, peso y tasas de crecimiento en contraste con el cultivo convencional.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Sistema hidropónico

La hidroponía se remonta a culturas antiguas como Babilonia, donde se cree que los Jardines Colgantes (605-562 A.C.) fueron uno de los primeros intentos documentados de cultivo hidropónico. Estos jardines terrazados, aunque



ya no existen, destacaron por su ingeniería y sistemas de riego por norias desde el río Éufrates. Este método de cultivo, sin suelo, pero con suministro de agua, se considera una de las primeras experiencias documentadas de hidroponía en la historia de la humanidad, demostrando la capacidad de cultivar plantas en entornos desafiantes mediante sistemas de irrigación innovadores. Hasta hace poco, el lugar que ocupó Babilonia fue ignorado por muchos años, pero grupos de investigación han determinado hoy el sitio preciso de su emplazamiento (Beltrano & Gimenez, 2015).

Más tarde, en 1860, los alemanes Sachs y Knop fueron pioneros en el cultivo de plantas en soluciones nutritivas y llamaron al proceso "cultivo nutritivo". No fue hasta 1929 cuando William F. Gricke, profesor de la Universidad de California en Davis, definió el proceso como hidroponía, que significa "agua de trabajo". Durante la Segunda Guerra Mundial, los aliados instalaron sistemas hidropónicos en sus bases para suministrar verduras y frutas frescas a las tropas en conflicto. Luego, la hidroponía comercial se extiende a través del mundo en 1950 (Gilsanz, 2007).

Resh (1997), indica lo siguiente sobre la definición de hidroponía: “La hidroponía es una técnica alternativa en la que el suelo se reemplaza por una solución acuosa que contiene solo elementos minerales requeridos por los vegetales”

El cultivo sin suelo es una técnica de producción agrícola que permite el desarrollo de las plantas sin la necesidad que éste sea partícipe del soporte ni la nutrición. Los sistemas de crecimiento y/o soporte de la planta están constituidos



por un medio inerte como sustrato o agua. Los nutrientes, aplicados en forma artificial, llegan a través del agua (Montero & Ruíz, 2014).

La hidroponía es un término que tiene raíces griegas: ‘Hidro’(agua) y ‘ponos’(trabajo), y sencillamente significa ‘el trabajo en agua’. En algunos casos, el término “hidroponía” es utiliza únicamente para describir sistemas basados en agua. Sin embargo, en un sentido más amplio, se refiere al cultivo de plantas en un medio diferente al suelo (UNALM, 2015).

Hoy en día, con el avance de la tecnología, los tipos de sistemas hidropónicos se han diversificado. Sin embargo, existen tres tipos principales de sistemas hidropónicos: los sistemas de riego por goteo, que utilizan sustratos orgánicos (10%), sustratos inorgánicos (20%) y sustratos de lana de roca (60%). El sistema NFT y el sistema raíz flotante (Beltrano & Gimenez, 2015).

2.2.1.1.Sistema “Raíz flotante”

La planta se apoya en una estructura flotante colocada encima de la solución nutritiva, con las raíces sumergidas en la solución nutritiva. Este sistema es adecuado para las hortalizas de hoja. El recipiente que contiene la solución nutritiva debe ser opaco para impedir la entrada de luz, ya que de lo contrario proliferarían las algas en su interior. Por la misma razón, deben evitarse las zonas descubiertas en la superficie de la solución nutritiva. Debe asegurarse la remoción de la solución nutritiva para garantizar la entrada de oxígeno, la concentración uniforme de nutrientes y el control de la temperatura. Esto se logra con bombas de agua y/o de aire. (Castañares, 2020).



2.2.1.2. Sistema NFT

El nombre de este sistema proviene del inglés “Nutrient Film Technique” (técnica de la lámina nutritiva). Una delgada lámina de solución nutritiva (de 0,5 a 1,0 cm) circula por un caño con perforaciones en su parte superior, en las cuales se insertan las plantas.

El movimiento de la solución nutritiva a través de los tubos y hacia el tanque de fertilización se realiza por gravedad, debido a una inclinación de estos entre el 4 y el 5 %. Una bomba es responsable de trasladar la solución desde el tanque hasta el comienzo de los tubos. Hay diversas configuraciones (circulares, rectangulares, entre otras), materiales para los tubos (PVC, polipropileno, etc.) y maneras de disponer los tubos (Castañares, 2020).

a) Sistema NFT horizontal

El sistema NFT (Nutrient Film Technique) se compone de un canal horizontal de sección circular por donde fluye continuamente una solución nutritiva esencial para las plantas. En los laterales del tubo se perforan agujeros a intervalos regulares para situar las plantas; de esta manera, al integrarlas en el sistema, las raíces permanecen en contacto directo con la solución. La solución nutritiva, como se mencionó anteriormente, es impulsada por una bomba (Carpio & Chavez, 2019).

b) La hidroponía NFT vertical

Se mantiene el principio básico de circulación continua de la solución nutritiva en contacto con el sistema radicular, pero hay



variaciones en la utilización del espacio para que la estructura sea adecuada para zonas inclinadas o confinadas (Carpio & Chavez, 2019).

Es un sistema de regadío adaptado a la agricultura vertical (distribución de cultivos en capas apiladas verticalmente). Se trata de un sistema con varios niveles que es capaz de distribuir de forma uniforme el agua a los cultivos que se encuentran en las diferentes capas (Carpio & Chavez, 2019).

2.2.2. Ventajas y desventajas de sistema hidropónico

a) Ventajas

Zárate (2014) Señala como el rasgo más importante la regulación de la nutrición de las plantas, debido a que, bajo este sistema, es posible tener un control completo y, al mismo tiempo, asegurar un suministro homogéneo de nutrientes ajustable según el estado fenológico. Las ventajas del cultivo hidropónico son.

- Permite aprovechar suelos o terrenos no adecuados para la agricultura tradicional.
- Los rendimientos obtenidos con hidroponía superan la producción en suelo, (Tabla 1).
- Reducción en el uso de recursos hídricos y nutrientes.
- Ideal para regiones donde hay falta de recursos hídricos.
- Posibilidad de obtener múltiples cosechas anuales debido a su naturaleza intensiva.
- Utilización de agua potable o de pozo para asegurar la pureza del cultivo hidropónico.



- Se obtiene una cosecha más saludable y sanitaria, con efectos positivos en la salud.
- Eliminación de la necesidad de rotaciones de cultivos para evitar problemas como la infestación de nematodos, lo que permite un trabajo continuo en monocultivo.

Tabla 1

Comparación de la producción de lechugas en suelo y en sistema hidropónico

Producción	suelo	hidroponía
Número de lechugas/m ²	6-8	25-28
Número de lechugas/ha	60000-80000	250000-280000
Docenas de lechuga/ha	5000-6670	20800-23330

Fuente: (Rodríguez & Hoyos, 2002)

b) Desventajas

La principal limitación de la hidroponía radica en su costo inicial significativo. Al dar inicio a un sistema hidropónico, se requiere una inversión considerable en la adquisición de diversos materiales esenciales, tales como bombas, recipientes, sustratos, tuberías, filtros y varios accesorios (Beltrano & Gimenez, 2015).

- La falta de conocimiento sobre el sistema hidropónico adecuado para cada cultivo puede ser un obstáculo.
- El manejo agronómico desconocido puede afectar los rendimientos. El éxito en la producción hidropónica depende más del conocimiento agronómico (clima, siembra, riego, control de plagas).
- La inexperiencia en la gestión de soluciones nutritivas puede impactar la composición y calidad de las plantas.



- El manejo comercial requiere conocimientos técnicos y comprensión de la fisiología vegetal y la química para alcanzar el éxito en la implementación de la hidroponía a nivel comercial.

2.2.3. Nutrición de la planta en hidroponía

La nutrición de las plantas hidropónicas se realiza mediante una solución nutritiva equilibrada, que se formula en función del análisis de la calidad del agua, la especie vegetal a cultivar, su etapa fenológica y las condiciones ambientales. La solución nutritiva es un conjunto de sales minerales disueltas en el agua, que puede variar su proporción dependiendo de la especie y la etapa fenológica de la planta (Gerick, 2010).

2.2.3.1. Macronutrientes

Nitrógeno (N)

Forma parte de los aminoácidos, proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos y clorofila. Esencial en el crecimiento y desarrollo de las plantas. La limitación de nitrógeno afecta el crecimiento y la productividad de las plantas. Su absorción ocurre principalmente como ión NO_3^- o NH_4^+ , aunque algunas plantas pueden obtenerlo directamente del N_2 atmosférico a través de simbiosis con microorganismos. Una vez absorbido, el NO_3^- se reduce a NH_4^+ (Beltrano & Gimenez, 2015).

Fosforo (P)

Constituye enzimas, ácidos nucleicos, fosfolípidos, glucosa y ATP. Es vital en el metabolismo celular para la regeneración de ADP y ATP. Se absorbe como H_2PO_4^- y se intercambia en la raíz, sin necesidad de



reducción interna. En deficiencias, manifestándose en decoloraciones y síntomas de enanismo en casos severos (Gerick, 2010).

El Potasio (K)

Activador de enzimas y síntesis de proteínas, es un nutriente esencial para las plantas y se destaca por no formar ninguna estructura química en las células vegetales, durante la translocación de iones K, se generan cargas positivas que deben neutralizarse con cargas negativas de la planta, el K activa procesos metabólicos. La carencia de K se refleja en hojas basales con amarillamiento en los bordes y necrosis a medida que avanza (Gerick, 2010).

El magnesio (Mg)

Se absorbe en forma de ión Mg^{+2} desde el suelo y constituye un 10% del Mg en las hojas, siendo un componente estructural clave de la clorofila. La absorción de Mg implica gasto de energía y puede ocurrir como ión o quelato, la deficiencia de Mg se refleja en clorosis internerval en hojas adultas (Gerick, 2010).

El azufre (S)

Es esencial en el metabolismo vegetal, formando parte de aminoácidos y compuestos vitales, se absorbe como ión SO_2^{4-} , requiere reducción en las hojas mediante cotransporte, consumiendo energía (ATP) para formar cisteína, la deficiencia de S presenta síntomas de clorosis similar al nitrógeno, pero se manifiesta primero en hojas jóvenes debido a su baja movilidad (Gerick, 2010).



El calcio (Ca)

El calcio (Ca^{+2}) Funciona como regulador del transporte de carbohidratos, contribuye a la estructura de la pared celular y favorece el crecimiento de las raíces, se absorbe como ión Ca^{+2} o quelato sin gasto de energía, con un contenido del 1 al 3.5% en materia seca (Gerick, 2010).

2.2.3.2.Micronutrientes

Hierro (Fe)

Destaca por sus cambios de oxidación, Fe^{+2} (ferroso) o Fe^{+3} (férrico), encargado de la síntesis de clorofila y como portador de electrones en la fotosíntesis las plantas pueden reducir Fe^{+3} en las raíces para absorber Fe^{+2} . La deficiencia de hierro se manifiesta con clorosis internerval en hojas jóvenes, ya que el Fe no se moviliza rápidamente desde hojas más viejas (Gerick, 2010).

El manganeso (Mn)

Se absorbe como ión Mn^{+2} o quelatado, participa en la producción fotosintética de oxígeno a partir del agua y forma parte en la formación de clorofila la carencia de manganeso se refleja en la planta con clorosis internerval en la zona media, pudiendo desarrollarse necrosis en casos de deficiencia severa (Gerick, 2010).

El cobre (Cu)

Está asociado a enzimas y la formación de la pared celular oxidándose reversiblemente de Cu^{+} a Cu^{+2} , son clave en la transferencia



de electrones durante la fotosíntesis, se absorbe como ión Cu^{+2} o quelatado, la deficiencia se manifiesta con hojas de color verde oscuro, seguido de necrosis y torsión hacia el envés (Gerick, 2010).

El zinc (Zn)

Se presenta como catión divalente (Zn^{+2}) y desempeña un papel en la síntesis de auxinas., la carencia de zinc se manifiesta con una reducción en el crecimiento, su presencia es esencial para la biosíntesis de clorofila (Gerick, 2010).

El boro (B)

Se encarga síntesis y transporte de carbohidratos, viabilidad del polen y actividades celulares como respiración, división, crecimiento, se absorbe como ácido bórico, a pesar de ser absorbido, su movilidad es limitada, manifestándose con síntomas como necrosis en hojas jóvenes y yemas, tallos quebradizos (Gerick, 2010).

El molibdeno (Mo)

Participa en reacciones de transferencia de electrones, como la reducción del nitrato a través de la enzima nitrato reductasa y la transformación del nitrógeno gaseoso en amoníaco en organismos fijadores de nitrógeno, se absorbe como el anión molibdato (MoO^4) mediante mecanismos activos.

El cloro (Cl)

Se absorbe como Cl^{-1} y es necesario en pequeñas cantidades, está involucrado en la liberación de oxígeno en la fotosíntesis, la falta de cloro



resulta en el deterioro de los cloroplastos, reduciendo el crecimiento tanto aéreo como radicular de la planta (Gerick, 2010).

El níquel (Ni)

Está presente en la ureasa, la única enzima conocida en plantas que lo contiene, la carencia de Ni en las plantas conduce a la acumulación de urea en las hojas y, como resultado, se manifiesta necrosis en los extremos de las hojas (Ávila, 2015).

2.2.4. Solución nutritiva

Las plantas requieren una nutrición balanceada de macro y micronutrientes minerales para su crecimiento y desarrollo óptimos. Las soluciones nutritivas consisten en sales minerales disueltas en agua y su composición varía según la especie cultivada y la etapa de desarrollo de la planta. La concentración de estos elementos esenciales está influenciada por la temporada, la calidad del agua y las condiciones climáticas (Morales, 2019).

El manual de hidroponía del Instituto de biología de México, menciona: “Si se tiene 0% de nitrógeno, 10% de fósforo y 20% de potasio, la etiqueta mostrará 00-10-20. Además si la solución contiene otro elemento, se agrega al final de la fórmula separados con guiones” (Zárate, 2014).

2.2.4.1. Concentración de la solución

Los nutrientes son tomados por la planta disueltos en agua en forma de iones: cationes si tienen carga positiva y aniones si la tienen negativa, la planta toma esos nutrientes en unos rangos de concentración más o



menos amplios, la cantidad de iones se puede expresar, además de como masa (mg), en moles y en equivalentes (Barrios, 2004).

Mol: se define como la cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas partículas elementales (átomos o moléculas) como átomos hay en 0.012 kg de carbono 12. En la práctica, la masa de un mol coincide con la masa atómica o molecular de la partícula elemental (Barrios, 2004).

Según Barrios (2004) el equivalente: referido a mol, sería el resultado de multiplicar éste por la valencia de la partícula elemental. En las soluciones nutritivas, la valencia coincide con el número de cargas del ión. La concentración de los diferentes elementos de la solución nutritiva puede venir dada de tres maneras:

- Miligramos por litro (mg/L). Es una unidad que equivaldría en soluciones nutritivas a partes por millón (ppm).
- Milimoles por litro (mmol/L). En el caso de los microelementos se usan los micromoles /L (mmol/L)
- Miliequivalentes por litro (meq/L).

En el caso de soluciones para cultivos sin suelo se podría utilizar como unidad de concentración mg/L. En muchas referencias los aportes de nutrientes se refieren a una superficie (gramos/m², gramos/planta, kg/ha). En este caso, se debe tener en cuenta los aportes de agua al cultivo para calcular las concentraciones (Barrios, 2004).



Tabla 2

Masas moleculares de los iones presentes en la solución nutritiva.

Elemento	Masa Atómica	Forma iónica	Masa molecular
Nitrógeno (N)	14	$NO_3^- NH_4^+$	62.1
		NH_4^+	18
Fosforo (P)	31	$H_2PO_4^-$	97
		HPO_4^{2-}	96
Potasio (K)	39.1	K^+	39.1
Calcio (Ca)	40.1	Ca^{2+}	40.1
Magnesio (Mg)	24.3	Mg^{2+}	24.3
Azufre (S)	32.1	SO_4^{2-}	96.1
Sodio (Na)	23	Na^+	23
Cloro (Cl)	35.5	Cl^-	35.5
Carbono (C)	12.5	HCO_3^-	61
		CO_3^{2-}	60
Hierro (Fe)	55.9	Fe^{2+}	55.9
Manganeso (Mn)	54.9	Mn^{2+}	54.9
Boro (B)	10.8	$B_4O_7^{2-}$	155.2
Cinc (Zn)	65.4	Zn^{2+}	65.4
Molibdeno (Mo)	95.9	MoO_4^{2-}	159.9

Fuente. Thomposn (2006).

Características

Las soluciones nutritivas tienen las siguientes características.

- Los parámetros de las soluciones nutritivas incluyen las relaciones entre cargas positivas y negativas, el pH y la presión osmótica.



- Están regidos por leyes químicas que provocan la precipitación de iones.
- Durante los ciclos de producción, las plantas no absorben los nutrientes de manera uniforme.
- La presión osmótica está directamente relacionada con la cantidad de iones. A medida que esta presión aumenta, las plantas necesitan un mayor esfuerzo para obtener los nutrientes y el agua requeridos.
- Es crucial realizar análisis periódicos de las soluciones nutritivas.
- En los sistemas de circulación, los nutrientes varían, por lo tanto, requieren ajustes regulares. Se lleva a cabo un análisis de los macronutrientes y micronutrientes a través del goteo y el drenaje de las soluciones.

2.2.4.2. Tipos de soluciones

- **Solución nutritiva A.**

En esta solución se encuentra el macroelemento del nitrógeno (N), el cual forma parte de los aminoácidos y proteínas. Además, contiene fósforo (P) que constituye el ácido nucleico y los fosfolípidos, finalmente, contiene potasio (K), el cuál es activador de enzimas y síntesis de proteínas. En esta solución se debe tener mucho cuidado en la proporción de nitrógeno, ya que, en exceso puede ser perjudicial para las plantas.



- **Solución nutritiva B.**

Contiene el macroelemento magnesio (Mg), fundamental en la clorofila, azufre (S) que constituye los aminoácidos y proteínas, por último, contiene potasio (K). Por otro lado, contiene el microelemento de hierro (Fe), encargado de la síntesis de clorofila, asimismo, manganeso (Mn), boro (B), zinc (Zn), cobre (Cu) y molibdeno (Mo), indispensables para la producción fotosintética de oxígeno, formación del ácido indolacético, transporte de carbohidratos y formación de la pared celular (Gilsanz, 2007).

2.2.4.3.Procedimiento de preparación.

- **Solución concentrada A**

En un recipiente de plástico, medimos 5 litros de agua y vertemos los elementos previamente pesados uno a uno, siguiendo el orden indicado y agitando constantemente. Añadimos el segundo nutriente solo cuando el primero se haya disuelto por completo, y el tercero cuando los dos anteriores estén totalmente disueltos. Cuando quedan pocos restos de fertilizantes, añadimos agua hasta alcanzar un volumen total de 10 litros y agitamos durante 10 minutos más, hasta que no queden residuos sólidos. Así obtenemos la solución concentrada A, la cual debe envasarse en una damajuana, etiquetarse y almacenarse en un lugar oscuro y fresco.



- Solución concentrada B

Medimos 2 litros de agua en un recipiente de plástico y vertemos uno a uno los elementos en el orden en que se pesaron. Después, añadimos el siguiente grupo de elementos, también en el mismo orden en que fueron pesados, esperando a que cada grupo se disuelva completamente antes de añadir el siguiente. Por último, agregamos el quelato de hierro, que se presenta comercialmente en forma granulada como Sequestrene Hierro 138(R); también hay presentaciones líquidas, pero se debe preferir el quelato de hierro.

Disolvemos por lo menos 10 minutos más, hasta que no queden residuos sólidos de ninguno de los componentes; después completamos el volumen con agua hasta obtener 4 litros y agitamos durante 5 minutos más (Gilsanz, 2007).

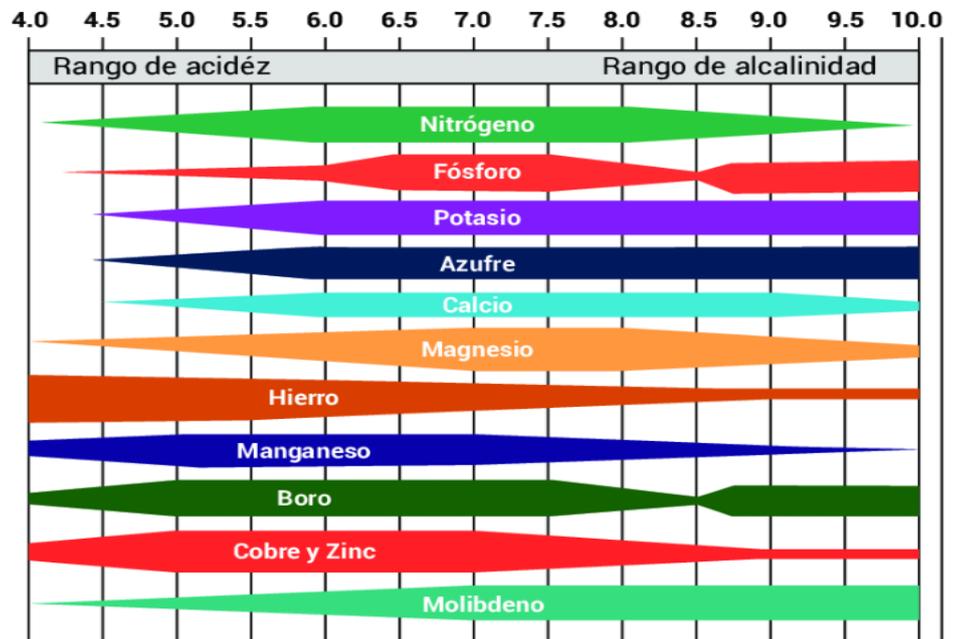
2.2.4.4. Factores que influyen la formulación de soluciones nutritivas

1. **pH.** Indica la acidez o alcalinidad de una solución de acuerdo al mismo puede modificarse la forma química de los nutrientes y con ello afectarse su disponibilidad para las plantas (Chavez et al., 2006).

Como se muestra en la figura 1, la máxima disponibilidad de nutrientes se produce a pH 5,5 y 7,0. Las mediciones deben tomarse diariamente con un medidor de melocotón, debido a la alcalinidad del agua y a la reacción de los fertilizantes, es habitual que el pH baje. Esto se consigue principalmente añadiendo ácido nítrico o fosfórico para uso agrícola (Chavez et al, 2006).

Figura 1

Disponibilidad de nutrientes según el pH del agua.



Fuente: (Castellanos, 2000)

La corrección del pH no debe realizarse directamente en el tanque de nutrientes, sino que se debe tomar una cantidad conocida (1-2 litros) de la solución agregando lentamente ácido con una jeringa y midiendo con un medidor de melocotón hasta el valor deseado. La cantidad de ácido añadido se extrapola al volumen del tanque (Chavez et al, 2006).

- 2. Conductividad eléctrica.** La conductividad eléctrica (CE) es una medida de la concentración de las sales disueltas en el agua. Para su determinación se utiliza un conductímetro y las unidades de expresión pueden ser milisiemens/cm, decisiemens/m o microsiemens/cm ($1 \text{ mS/cm} = \text{dS/m} = 1000 \mu\text{S/cm}$), lo que estaría estimando la cantidad total de sólidos disueltos (Castañares, 2020)

Tabla 3

Umbral de conductividad eléctrica (CE) para algunos cultivos hortícolas.

Especie	Umbral de CE (dSm ⁻¹)
Lechuga	1,3
Espinaca	2,3
Frutilla	1,0
Col	1,8
Tomate	2,5
Pimiento	1,5
Brócoli	2,8
Berenjena	1,1
Melón	2,5

Fuente. (Wallender & Tanji, 2011)

Dado que la CE está relacionada con la concentración de nutrientes, valores muy bajos de este parámetro puede determinar un retraso o inhibición del crecimiento. Por otro lado, una CE que supere los umbrales indicados en la tabla anterior, puede generar problemas de toxicidad y competencia entre nutrientes.

Al igual que el pH, la CE deberá medirse a diario. El aumento de la misma se realizará con la adición de nutrientes a la solución, mientras que la reducción se realiza con el agregado de agua.

- 3. Temperatura de la solución Nutritiva.** La temperatura de la solución tendrá un efecto en la disponibilidad de nutrientes, en el oxígeno disuelto y en la actividad radical. Como regla general, esta no debería ser marcadamente inferior a la temperatura ambiente (20-25 °C). En días cálidos, con una elevada transpiración,



temperaturas muy bajas en la zona de las raíces pueden conducir a un estrés en las plantas. Al mismo tiempo las bajas temperaturas pueden producir la precipitación de muchas sales, impidiendo su absorción y reducir el crecimiento de las plantas (Castañares, 2020).

Por otro lado, temperaturas, muy elevadas pueden provocar un estrés térmico. Asimismo, la solubilidad del oxígeno disminuye con el aumento de la temperatura lo que puede ocasionar una falta de oxígeno en las raíces.

- 4. Oxigenación.** El contenido de oxígeno de la solución nutritiva y en consecuencia afectará la actividad de las raíces, particularmente la absorción de agua y nutrientes. Como se indicó anteriormente. En sistemas tipo NFT el movimiento de la solución en los caños, la caída de ésta al tanque y el retorno son suficientes para lograr la oxigenación (Castañares, 2020).

2.2.5. Absorción de agua y nutrientes

Las plantas absorben minerales disueltos en el agua a través de sus raíces, un proceso eficiente que satisface sus necesidades nutricionales. Estos nutrientes, una vez absorbidos, se translocan a distintas partes de la planta para cumplir funciones biológicas esenciales. La absorción continua reduce la concentración de nutrientes cerca de las raíces, creando un gradiente de concentración entre la solución nutritiva y el sustrato. Posteriormente, los minerales absorbidos se incorporan en compuestos carbonatados necesarios para el crecimiento y desarrollo de la planta, proceso conocido como asimilación de nutrientes (Soto, 2015).



2.2.6. Manejo del cultivo hidropónico

2.2.6.1. Sustrato

Estos sistemas utilizan sustratos que permiten alcanzar un equilibrio entre los poros que retienen la solución nutritiva y los poros más grandes que facilitan la aireación de las raíces. El sustrato favorece el anclaje de las raíces y el desarrollo de las plantas sin reaccionar con la solución nutritiva.

La función del sustrato es conservar y aportar la solución nutritiva a las raíces, proporcionar oxígeno y temperatura adecuada, ofrecer oscuridad y, sobre todo, anclar y sostener la planta, existen varios tipos de sustratos como: (Spinelli, 2014).

a) Grava

La grava son partículas pequeñas, de 1 a 2 milímetros de diámetro, trituradas a partir de depósitos naturales o material de cantera y utilizadas en hidroponía. La grava proporciona una excelente aireación; sin embargo, la retención de humedad es muy escasa de un 17% aproximadamente (Spinelli, 2014).

b) Arena de río

Este material heterogéneo tiene una capacidad de retención de agua del 56%. Para su uso en hidroponía, se aconseja optar por arena con un tamaño de partícula de entre 0.5 y 2 mm (Spinelli, 2014).



2.2.6.2. Almácigos

Para preparar el sustrato antes de llenar las bandejas, es fundamental mezclarlo de manera uniforme y humedecerlo. Para lograrlo, se extiende el sustrato en una superficie nivelada cubierta con polietileno seco y limpio. Se asperja el sustrato de manera equitativa y, en caso de preparar una mezcla, se utiliza la misma cantidad de sustrato, empleando un recipiente si es necesario. Luego, se añade agua gradualmente hasta obtener una mezcla uniformemente húmeda, pero sin llegar a gotear. Posteriormente, se coloca esta mezcla húmeda en la bandeja, asegurándose de cubrirla por completo. Se levanta y se baja la bandeja suavemente para que cada celda se llene, evitando ejercer presión sobre ellas en ningún momento (Soto, 2015).

- 1. El volumen de sustrato depende de tamaño del contenedor.** Para calcular el volumen de una cama de cultivo, se multiplica el largo (L) por el ancho (A) y la profundidad (P) y luego se multiplica el resultado por 1000 para convertir metros cúbicos a litros. Por ejemplo, para una cama de 1,25 metros de largo, 0,80 metros de ancho y 0,1 metros de profundidad, el cálculo sería: $1,25 \text{ m} \times 0,80 \text{ m} \times 0,1 \text{ m} \times 1000 \text{ litros} = 100 \text{ litros}$. La multiplicación por 1000 se debe a que algunos materiales se venden por metro cúbico, y 1 m^3 equivale a 1000 litros (Soto, 2015).
- 2. Seleccionar el tamaño de partícula de sustrato:** Para el cultivo en camas, el tamaño adecuado de las partículas varía entre 0,5 y 12,5 milímetros. Los materiales muy gruesos, como piedrillas, deben pasar por una zaranda de 12,5 milímetros debido a que las piedras grandes



son difíciles de manejar. También se pueden usar materiales ligeros y ligeramente más gruesos, como el carbono. Si el sustrato contiene mucho polvo fino o está sucio, se debe lavar con una malla de aproximadamente 0,5 mm o menos (Soto, 2015).

3. Se coloca el sustrato en el contenedor, teniendo el cuidado de no rasgar el plástico. Seguidamente debe nivelarse bien con una regla, de tal forma que su altura sea igual a la profundidad del contenedor, sin aplicar presión que pueda compactar el sustrato (Soto, 2015).

4. Desinfección del sustrato: Es recomendable utilizar métodos naturales o desinfectantes de baja toxicidad tales como cloro, extracto de semilla de toronja o derivados de peróxido de hidrógeno. Algunos métodos de desinfección, se describen a continuación (Soto, 2015).

- **Solarización:** el sustrato se humedece y se coloca en bolsas plásticas transparentes y se deja expuesto al sol durante 15 a 22 días mínimo con volteos periódicos (Soto, 2015).
- **Cloración:** Se utiliza cloro de uso doméstico (3,5 a 4% Hipoclorito de sodio) diluido al 4% (40 mililitros por litro de agua). Los sacos de sustrato se sumergen en la solución de cloro por aproximadamente 20 minutos. Posteriormente se extraen, se dejan drenar, y se colocan en la cama de cultivo, dejándolos en reposo por 1 a 2 días para que el cloro se evapore o se lave, antes de sembrar (Soto, 2015).



2.2.6.3. Siembra del almácigo.

Para facilitar la plantación, se recomienda realizar surcos a una distancia máxima de tres centímetros entre sí. La profundidad del surco debe ser el doble del tamaño de la semilla, no más de tres centímetros. se dejan caer las semillas una por una dentro del surco, a las distancias recomendadas para cada especie (FAO, 2003).

Después de este apisonamiento suave se riega nuevamente y se cubre el almácigo con papel de periódico en épocas normales y con papel más un plástico negro en épocas de temperaturas muy bajas, para acelerar un poco la germinación (FAO, 2003).

2.2.6.4. Manejo de plagas en cultivos hidropónicos

El manejo eficaz de camas de cultivo incluye usar plantas sanas de almácigos confiables, seleccionar variedades adecuadas, y seguir Buenas Prácticas Agrícolas. Esto implica desinfectar el sistema y equipos, usar correctamente las puertas del invernadero, y controlar plagas y enfermedades con desinfectantes o productos recomendados por técnicos. (Brenes & Morales, 2014)

Las primeras recomendaciones es revisar diariamente la huerta, durante unos minutos, es la principal recomendación. Durante estas inspecciones, se busca detectar insectos adultos, localizar y destruir huevos, y encontrar larvas o pulgones en sus primeros días de desarrollo. Es esencial realizar esta revisión temprano en la mañana o al final de la tarde, ya que, con la elevación de la temperatura, los insectos se ocultan.



Diferentes estados permitirán romper el ciclo vital de las plagas - las visitas con revisión detallada de las plantas y sus hojas y brotes más nuevos causarán a las plagas un ambiente hostil para su permanencia, por lo que buscarán otro lugar para habitar, alimentarse y reproducirse. Las plagas que más se presentan en los cultivos son los insectos de diferentes tipos. Entre éstos son muy frecuentes los gusanitos o "cuncunas" y nacen cuatro o cinco días después de que ellas han puesto sus huevos, generalmente por detrás de las hojas (Brenes & Morales, 2014).

2.2.6.5. Costo y rentabilidad en La hidroponía

Los beneficios de la hidroponía se pueden dividir en dos grupos: de naturaleza social y económica, expresados en términos de rentabilidad o ingreso neto (FAO, 2003).

a) Beneficio Social

Los beneficios se expresan en un cambio de actitud en las familias y comunidades, que dejan de ser miembros pasivos y se convierten en miembros activos de su desarrollo. Es importante subrayar cómo los niños adquieren actitudes muy positivas a través de estas actividades productivas que, además de cosechar productos comestibles, les permiten adquirir conocimientos prácticos tempranos, haciendo que ciertos conocimientos sean menos abstractos como ocurre con la química, la biología y otras.

b) Rentabilidad Económica

Beneficio o ganancia económica es lo que se espera lograr mediante el uso continuo y sistemático de hidroponía en áreas mayores a

30 metros cuadrados, con el objetivo de obtener beneficios económicos de los gastos incurridos y las obras realizadas (FAO, 2003).

Para determinar la rentabilidad económica es necesario determinar el costo de producción, el precio de venta y la diferencia entre ambos, es decir la ganancia. Hay dos tipos de costos de producción (FAO, 2003).

- El costo de construir la estructura hidropónica.
- El costo de funcionamiento en cada ciclo de producción.

Los costos de instalación incluyen tanques, contenedores, plásticos, mangueras, herramientas y todas las inversiones para comenzar. También incluye equipos como barriles, baldes, jeringas y otros para la producción, almacenamiento y procesamiento de alimentos e insecticidas naturales (FAO, 2003).

Tabla 4

Costos fijos de la instalación de sistema hidropónico

Insumo imputable	Costo total/m ² US\$	Amortización número de cosechas US\$	Valor por m ²
Contenedor de madera	4,70	20	0.23
Plástico negro	0,36	5	0.07
“Plumavit”	1,29	5	0.25
Herramientas	1,03	10	0.1
Equipo	1,51	10	0.15
Mano de obra	2,05	10	0.2



Insumo imputable	Costo total/m ² US\$	Amortización número de cosechas US\$	Valor por m ²
Sub total			1
Imprevistos			0.5
Total, costos fijos m ²			1.5

Cambio aplicado: \$ 385 por US\$ 1.00, febrero 12 de 1993.

Tabla 5

Costo variable de producción (para una cosecha) de sistema hidropónico

Insumo	Costo total/m ² US\$	Valor imputable por m ² / cosecha US\$
31 plántulas de almácigo de 35 días	0.48	0.48
Solución nutritiva	0.63	0.63
Insecticidas naturales	0.05	0.05
Mano de obra	1.8	1.8
Sub total		2.96
Imprevistos 5%		0.15
Total, costos variables		3.11
Costo Total		4.61

Cambio aplicado: \$ 385 por US\$ 1.00, febrero 12 de 1993.

c) Ingresos

Estimando una pérdida del 9 por ciento para 31 lechugas, obtenemos 28 unidades con un precio de venta estimado de \$0,31.

El anterior nos permite obtener un rendimiento bruto de \$8,68/m².



$$\text{Utilidad} = \text{Ingreso Total} - \text{Costo Total}$$

$$\text{Utilidad} = 8,68 - 4,61 = 4,07 \text{ US\$ por m}^2/\text{cosecha de lechugas}$$

$$\text{Utilidad} \quad \quad \quad 4,07$$

$$\text{I.R.} = \text{-----} \times 100 = \text{-----} \times 100 = 88,28 \%$$

$$\text{Inversión Total } 4,61$$

$$\text{I.R. (Índice de Rentabilidad)} = 88,28 \%$$

2.2.7. Origen de Cultivo de lechuga.

La lechuga se origina en la cuenca del mediterráneo, principalmente en su costa sur, aunque existen opiniones que la vinculan con la India o Asia Central. Su llegada a América se atribuye a los primeros exploradores, quienes la introdujeron y la comenzaron a cultivar inicialmente en la región del Caribe (Ávila, 2015).

Los primeros vestigios de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) aparecen en las pinturas de las tumbas del antiguo Egipto (2500 a. C.), Las pruebas arqueológicas sostienen que se originan en la cuenca del Mediterráneo, donde se encontraba entre los alimentos populares en el Antiguo Egipto, Persia y Roma. Se registran referencias de su consumo en China. Además, se considera que fue una de las primeras verduras llevadas al Nuevo Mundo por Cristóbal Colón (Marhuenda & García, 2016).

La lechuga tiene una relevancia significativa en la economía agrícola del Perú. Aunque la información actualizada puede variar, hasta mi última actualización en enero de 2022, la lechuga (*Lactuca sativa* L.) era uno de los

cultivos hortícolas importantes en el país, siendo cultivada en diferentes regiones y contribuyendo al sector agrícola y económico (Condor & Ubaldo, 2023).

2.2.7.1. Valor nutricional de la lechuga

La lechuga (*Lactuca sativa* L.), tiene un valor importante en la nutrición aportando una baja cantidad de calorías por el contenido alto en agua, mínima cantidad en hidratos de carbono y aún en proteínas y grasas. Destacando en su contenido en vitaminas con la presencia de, vitamina A, vitamina C y E, pro vitamina A o beta – caroteno y ácido fólico, además con antioxidantes que benefician a la salud (Sumarriva et al., 2019).

Tabla 6

Valor nutricional de la lechuga (Lactuca sativa L.)

Valor nutricional de la lechuga en 100 g	
Carbohidratos (g)	20.1
Proteína (g)	8.4
Grasas (g)	1.3
Calcio (g)	0.4
Fosforo (mg)	138.9
Vitamina (g)	125.7
Hierro (mg)	7.5
Niacina (g)	1.3
Riboflavina (mg)	0.6
Tiamina (mg)	0.3
Vitamina A (U.I)	1155
Calorías (Cal)	18

Fuente: INFOAGRO (2018).

2.2.8. Ubicación taxonómica

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) pertenece a la familia dicotiledónea más grande del reino vegetal, la Asterácea, conocida anteriormente como Compositeae (Saavedra et al, 2017).

Reino:	Plantae
División:	Magnoliopyta
Clase:	Magnoliopsida (dicotiledónea)
Orden:	Asterales
Familia:	Asteraceae
Género:	Lactuca
Especie:	<i>Lactuca Sativa</i> L.

2.2.9. Descripción botánica

La planta de lechuga (*Lactuca sativa* L.) es herbácea y anual de crecimiento rápido cuya raíz es fibrosa pivotante, no sobrepasa más de 25 cm de profundidad y con ramificaciones no extensas. Las hojas se encuentran colocadas en roseta, desplegadas desde el principio en algunos casos continúan así durante todo el ciclo de su desarrollo dependiendo de la variedad acogollan según su especie. El tallo es corto, forma cilíndricos, blandos cubiertos de follaje (Salinas, 2013).

- **Raíz:** la raíz, que no llega nunca a sobrepasar los 25 cm. de profundidad, es pivotante, corta y con ramificaciones.
- **Hojas:** las hojas están colocadas en roseta, desplegadas al principio; en unos casos siguen así durante todo su desarrollo (variedades romanas), y



en otros se acogollan más tarde. El borde de los limbos, pueden ser liso, ondulado o aserrado.

- **Tallo:** Es cilíndrico y ramificado pueden alcanzar hasta 1 m de altura.
- **Inflorescencia:** Son capítulos en panículas o corimbos. Flores amarillas y todas licuadas. Invólucro de brácteas escamosas, sagitadas, lanceoladas y de 10-15mm. 5 estambres. Aquenios obovados, comprimidos, de 6-8 mm de longitud, con 5-9 pares de costillas, pico de 6-8 mm, no alados y con vilano de 2 filas de pelos blancos y simples.
- **Semillas:** Están provistas de un vilano plumoso, indehiscente.

2.2.10. Variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.)

Dentro de la especie *Lactuca sativa* L. se diferencian cinco variedades botánicas (Saavedra et al., 2017).

2.2.10.1. *Lactuca sativa* L. Var Green Leaf.

La lechuga Green Leaf es una semilla de lechuga, una variedad de madurez precoz y de tamaño mediano, posee unas hojas abiertas y de color verde oscuro, con una forma más o menos redondeada, alargadas y con bordes rizados, estas son lechugas de hojas sueltas o de corte, ya que, como su nombre indica, no forman un cogollo compacto, sino que sus hojas están libres y no se envuelven unas sobre otras. Aunque se venden como una unidad, su mayor ventaja se encuentra en su uso en huertos caseros, dado que sus hojas pueden ser cosechadas individualmente a medida que crecen. Son muy populares para el cultivo hidropónico, estas plantas crean una estructura en forma de roseta muy plana (Saavedra et al., 2017).



2.2.10.2. Lactuca sativa L. var. Great Lakes

La lechuga es una variedad con una cabeza grande, redonda y firme, envuelta por hojas de un verde oscuro intenso, es extremadamente resistente a las condiciones adversas del invierno y rara vez se ve afectada por quemaduras o chamuscado. Durante su crecimiento, estas plantas pasan de un estado inicial de hojas en roseta a medida que las primeras hojas se extienden, aumentando el grosor de la planta con cada adición de hojas hasta que, al madurar, se vuelve más ancha que larga. Al alcanzar unas 10 a 12 hojas, estas se curvan alrededor de las hojas interiores, dando lugar a la formación de una cabeza de forma esférica (Saavedra et al., 2017).

2.2.10.3. Lactuca sativa L. var. White Boston

La lechuga White Boston pertenece al grupo conocido como "cabeza de mantequilla". Sus cabezas son de tamaño mediano a grande, con un color verde claro. Las hojas son lisas con bordes rectos y el corazón es compacto, amarillento y de textura mantequillada, destacando por su excelente calidad. Se recomienda una dosis de siembra de 0,5 kg por hectárea para siembra directa y 0,1 kg por hectárea para trasplante. Se adapta a una amplia variedad de climas y suelos, aunque se recomienda plantarla en suelos franco arcillosos y francos arenosos que retengan la humedad y ofrezcan buen drenaje. La siembra se realiza en semillero a una profundidad de $\frac{1}{2}$ cm, germinando en 4 días y se trasplanta a los 30 días, cuando las plantas alcanzan al menos 8 cm de altura, preferiblemente en



días nublados. Con un período vegetativo de 90 días, se recomienda cosechar temprano en la mañana (Saavedra et al., 2017).

2.2.11. Ciclo fenológico del cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa* L.)

El ciclo productivo de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) puede variar entre los 40 días y los 3 meses, por lo que puede ser cultivada durante todo el año. Se estima que la lechuga tiene una etapa de plantación, de entre 4 y 5 semanas, previo al trasplante; y un período en campo que oscila entre 6 a 12 semanas dependiendo de la variedad (Quintero, 2015).

2.2.11.1. Etapa de plántula

Se da la aparición de la radícula y la emergencia de los cotiledones, seguidamente un crecimiento radicular en profundidad y luego la aparición de 3 a 4 hojas verdaderas, esta fase comprende una duración entre 3 a 4 semanas (Quintero, 2015).

2.2.11.2. Fase de roseta

Se da la aparición de nuevas hojas y una disminución en la relación largo-ancho de folíolos, se produce un acortamiento de los pecíolos y finalmente la formación de una roseta con 12 a 14 hojas, la duración de esta fase varía de 3 a 4 semanas (Quintero, 2015).

2.2.11.3. Fase de formación de cabeza

Las hojas se vuelven más anchas que largas y toman cierta curvatura por el eje de la nervadura central, con lo que las nuevas hojas quedan



envueltas por las formadas anteriormente, la duración de esta fase va de las 2 a las 3 semanas de duración (Quintero, 2015).

2.2.11.4. Fase de Floración

La cabeza pierde calidad, las hojas se toman un sabor amargo, se alargan y el tallo comienza a elongarse y posteriormente se da la emisión de las inflorescencias (Quintero, 2015).

2.2.11.5. Semillas

Las semillas de lechuga, con alrededor de 800 semillas por gramo en la mayoría de las variedades, están disponibles en dos formas: como semillas normales o peletizadas. Las semillas peletizadas, al absorber agua, se abren para permitir una mejor entrada de oxígeno, logrando una germinación uniforme. Estas semillas, de forma picuda y plana con colores variables, mejoran la forma y el tamaño de las plántulas, facilitando su manipulación y logrando una mayor uniformidad. Aunque las semillas recién cosechadas pueden ser impermeables al oxígeno y no germinar de inmediato, se pueden inducir a germinar con temperaturas ligeramente elevadas (20 a 30 °C) (Quintero, 2015).

2.2.12. Condiciones agroclimáticas

2.2.12.1. Clima

La lechuga es una planta de gran adaptabilidad a distintos climas. Puede vivir a temperaturas de 0° C, pero cuando ésta baja de los 6° C, suele sentir sus efectos que, si persisten, ocasionan lesiones foliares. Por debajo de los 5° C, la lechuga no emite raíces nuevas, pero sí a partir de los 10°



C. No obstante, soporta peor las temperaturas elevadas que las relativamente bajas (Ávila, 2015).

Los climas excesivamente calurosos provocan con mayor facilidad la emisión de tallos y flores, vulgarmente conocida como «subida a flor» de la planta. La temperatura media óptima para la lechuga oscila entre los 15 a los 20° C. (Quintero, 2015).

2.2.12.2. Agua

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es muy susceptible a la pérdida de agua, debido a que tiene una gran superficie expuesta al ambiente. Por ello, se debe cortar en las primeras horas del día. Los síntomas de pérdida de agua se reflejan como pérdida de firmeza y turgencia en las hojas, así como en un deterioro en la apariencia de las mismas, las hojas pierden su frescura y se ven marchitas (DGCA, 2013).

La lechuga, con su amplia superficie expuesta, es muy susceptible a la pérdida de agua, por lo que se recomienda cosecharla temprano en el día. Los signos de deshidratación incluyen hojas marchitas y sin firmeza, en lugar de la frescura habitual. Esta planta tiene altas demandas en cuanto a la luz, ya que, en ausencia de suficiente luz solar, las hojas tienden a volverse más delgadas, y si se forma una roseta de hojas, estas pueden resultar menos compactas dado que su sistema radicular se encuentra mayormente entre 5 y 30 centímetros de profundidad en el suelo, requiriendo mantener una humedad constante en el sustrato (DGCA, 2013).



2.2.12.3. Luminosidad

Las lechugas (*Lactuca sativa* L.) son plantas que requieren mucha luz, por el contrario, la poca presencia de luz genera que las hojas sean delgadas y en ocasiones cabezas vanas (Breta, 2010), además la luz es uno de los factores principales para el desarrollo de la planta como también, es fuente de energía para transformar en CO₂ en compuestos orgánicos (DGCA, 2013).

2.2.12.4. Humedad relativa

Respecto a la humedad relativa favorable para el cultivo, afirman que se desarrolla adecuadamente a humedades relativas que se encuentren en el rango de 60 a 80%, aunque pueden tolerar menos del 60%. Elevadas humedades relativas favorecen el ataque de enfermedades como el moho blanco, moho gris y el mildiu veloso. (MINAGRI, 2017).

2.2.12.5. Fertilización

Para cultivar lechugas, se recomienda fertilizar el suelo con nitrógeno (120 kg/ha), fósforo (50 kg/ha) y potasio (150 kg/ha). El nitrógeno se aplica en dos partes: el 50 % junto con fósforo y potasio, y el 50 % restante 30 días después del trasplante. Además, se aplica materia orgánica a 20 t/ha antes del trasplante. La cantidad de nutrientes absorbidos varía según la biomasa producida, la variedad de lechuga, la época de siembra, el método de riego y otros factores (Salinas, 2013).

Para cultivar lechugas, se debe fertilizar el suelo con 120 kg/ha de nitrógeno, 50 kg/ha de fósforo y 150 kg/ha de potasio. El nitrógeno se



aplica en dos etapas: el 50 % junto con el fósforo y el potasio, y el 50 % restante 30 días después del trasplante. Además, se debe aplicar 20 t/ha de materia orgánica antes del trasplante. La absorción de nutrientes por la lechuga varía según la biomasa producida, la variedad, la época de siembra, el riego y otros factores. (Zárate, 2014).

2.2.13. Manejo de cultivo

2.2.13.1. Semillero

El método para cultivar lechuga puede ser a través de siembra directa o trasplante. Sin embargo, la siembra directa no se recomienda debido a la alta competencia con las malezas y la susceptibilidad a enfermedades. La temperatura ideal para la germinación oscila entre 15 y 20 °C; la semilla no germina por debajo de 3 a 5 °C en el suelo ni por encima de 25 a 30 °C. Un ambiente óptimo en el semillero se mantiene a 15 °C durante el día y 19 °C en la noche. (Jaramillo et al, 2014).

Para multiplicar lechugas, se utilizan plantas con raíces de un semillero, generalmente en bandejas de poliestireno con 294 compartimentos. Se siembra una semilla por compartimento a 5 mm de profundidad. Después de 30 a 40 días, cuando las plantas tienen 5-6 hojas desarrolladas y alcanzan 8 cm de altura, se procede al trasplante. (Izquierdo, 2003).

2.2.13.2. Trasplante

El trasplante es el paso de las plántulas del semillero al sitio definitivo. Las plántulas se llevan a campo cuando hayan adquirido



determinado desarrollo. Como norma general se puede tomar el número de hojas, tres a cuatro bien formadas; es decir, cuando la plántula tenga entre 8 y 10, lo cual generalmente se alcanza 25 a 30 días después de la germinación (Jaramillo et al, 2014).

El trasplante se realiza entre 25 y 30 días de estar las plántulas en el semillero. El terreno debe hallarse muy bien humedecido para evitar el estrés de la planta; dado el caso que no haya habido lluvias, se debe aplicar riego por aspersión, antes y después del trasplante. En general se aplica alrededor de una hora de riego después del trasplante.(Ávila, 2015).

2.2.13.3. Densidad de plantación

El marco de plantación depende de la envergadura que alcance la variedad, en el caso de variedades de tamaño pequeño se pueden plantar hasta 18 plantas por metro cuadrado, sembrando en eras o en llano total a distancias de 25 cm por 25 cm o en caballón a una distancia de 50 cm entre caballones y dos hileras por planta por caballón, separadas 25 cm entre sí.

La densidad de plantación que oscilan entre 11 – 13 plantas por m², en cuanto al marco, se aconseja el tresbolillo. (30 cm x 30 cm, 25 cm x 25 cm, 27.5 cm x 27.5 cm y 25 cm x 30 cm) (Salinas, 2013).

2.2.13.4. Distanciamiento

Los distanciamientos de siembra dependen del clima, condiciones del suelo y de la variedad. La densidad entre plantas varía de 40.000 hasta 120.000 por ha. La distancia entre hileras depende principalmente del cultivar siendo los más aptos los espacios de 0,80 a 1.00 m a tres bolillos



a 0,30 m entre plantas doble hilera. En lo que se refiere a siembra indirecta o de trasplante, que es lo más utilizado comercialmente, si se realiza a campo abierto se recomienda la distribución de las plantas entre planta y planta de 20 a 30 cm (Barrios, 2004).

2.2.14. Labores culturales

2.2.14.1. Riego

Este es el segundo factor por el cual los productores pierden sus cosechas al quedarse sin la fuente de agua. Hay que asegurarse que durante los meses de verano la fuente de agua que se tenga sea suficiente para abastecer al cultivo (Lardizabal, 2014)

En capacidad de campo a un máximo de 30% de consumo de esa agua para realizar el riego. Además, no debe haber fluctuaciones graves de agua que dañan raíces y reducen el rendimiento (Lardizabal, 2014).

- Cuando se realiza un riego profundo (o lluvia abundante) el agua ocupa tanto los microporos como los macroporos; en este punto se dice que el suelo está saturado (Lardizabal, 2014).
- Pasado un tiempo corto de un día o dos, el agua gravitacional (la que ocupa los macroporos) percola hacia la capa freática, dejando los microporos vacíos y llenos de aire, mientras que los macroporos se mantienen con agua. Con estas condiciones el suelo está a capacidad de campo. Este estado del suelo es considerado como el óptimo para los cultivos ya que el agua y el aire se pueden aprovechar fácilmente (Lardizabal, 2014).



- A medida que la planta va aprovechando el agua, el nivel en los microporos baja hasta un punto que la planta ya no puede absorberla porque la energía necesaria para esto es demasiada. Este extremo es conocido como punto de marchitez permanente (Lardizabal, 2014).

2.2.14.2. Control de malezas

Se realiza con 1 a 3 deshierbo, durante el ciclo del cultivo, en el período de crecimiento de la planta. Nunca aplicar herbicidas para el control de malezas (Breta, 2010).

2.2.15. Plagas y enfermedades

El Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (MIPE) es un enfoque dinámico que implica la vigilancia continua y planificada de los cultivos por parte de los agricultores. El objetivo es proporcionar productos agrícolas limpios y seguros para los consumidores, lo cual se logra mediante una vigilancia constante para prever posibles ataques de plagas y enfermedades, anticipándose así a los aumentos críticos en estas poblaciones y manteniéndolas en niveles que no sean perjudiciales para los cultivos (Saavedra et al, 2017).

Plagas

- **Gusano alambre (*Agriotes sp.*)**. Es un coleóptero perteneciente a la familia de los elatéridos. El daño principal lo ocasiona el estadio de larva, ya que este se alimenta de las semillas recién sembradas en el suelo (Saavedra et al, 2017).



- **Mosca blanca de las brásicas (*Aleyrodes protelella*):** Es un homóptero característico de los coles y las lechugas. El daño que ocasiona es debilidad en la planta, ya que succiona la sabia de la misma, una estrategia de control etológico es el uso de trampas amarillas con pegamento atrayente (Saavedra et al, 2017).
- **Áfidos (*Aphis gossypii* y *Myzus persicae*):** Estos se fijan en las nervaduras de la hoja en la parte del envés y como resultado, la planta sufre cambios de coloración y deformación lo cual disminuye la calidad de esta (Saavedra et al, 2017).
- **Gallina ciega (*Phyllophaga sp.*):** Este escarabajo tiene un ciclo de vida que puede durar hasta 2 años. Las larvas de gallina ciega pueden permanecer en el suelo durante hasta 4 meses, alimentándose de las raíces de cultivos de gramíneas y vegetales jóvenes (Saavedra et al, 2017).

Enfermedades

- **Oidio (*erisypho cichoracearum d.c.*).** Primero aparece en el limbo de las hojas un micelio blanquecino polvoriento, posteriormente las hojas se decoloran, hasta que finalmente acaban por marchitarse. Control El remedio más eficaz es el espolvoreo con azufre (Carlos et al, 2018).
- **Mildiu (*bremia lactucae regel*).** Se desarrollan manchas amarillentas entre las nervaduras que posteriormente se vuelven grisáceas, terminando por secarse o pudrirse. Para controlar esta enfermedad, las sales de cobre son efectivas (Carlos et al, 2018).



- **Esclerotinia (*sclerotinia sclerotium*).** Este hongo causa podredumbres blandas en la base de la planta, lo que conduce a su colapso. Si esta enfermedad aparece, es recomendable practicar rotaciones amplias de cultivos, la solarización a más de 30°C es efectiva. Para el control biológico, el hongo antagonista *Trichoderma* ha demostrado ser muy eficaz (Carlos et al, 2018).
- **Marchitamiento por (*pythiumultimum trow*).** Este hongo provoca un estrangulamiento en la base del tallo, causando un estancamiento de agua a ese nivel, lo que resulta en el amarillamiento y posterior muerte de las hojas exteriores (Carlos et al, 2018).
- **Marchitamiento por *rhizoctonia solani* KHN.**
Este hongo causa lesiones rojizas en la base de las hojas, que luego se extienden hacia la raíz, provocando podredumbre en el cuello de la planta. En algunas áreas, se ha demostrado que el acolchado con plástico puede ser un remedio eficaz. (Carlos et al, 2018).

2.2.15. Cosecha

La cosecha ideal de lechuga se basa en la solides de la cabeza, que debe ser firme al tacto con una presión manual moderada. En períodos de escasez local, se aceptan lechugas de menos de 0.45 kg siempre que la cabeza sea sólida y las hojas cubran bien el cogollo central. Se prefiere una tonalidad verde media, entre pálido y oliva, aunque el color puede variar según la variedad.(Carlos et al, 2018)

Se refiere a la recolección de las partes de la planta que se van a provechar. La calidad del producto depende de este proceso; se calcula que la manipulación influye entre un 10% y un 20% en la calidad comercial del producto. Hay que

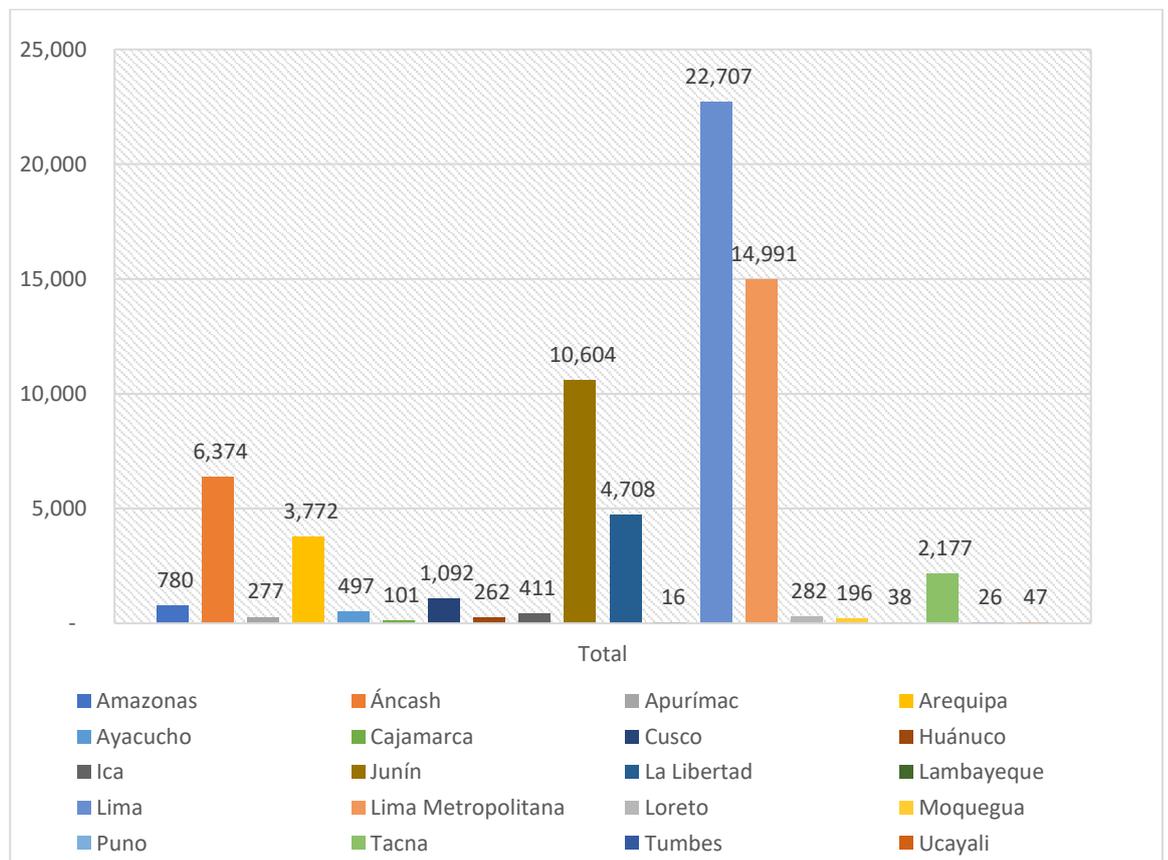
tener cuidado de no causar daños mecánicos al producto, como golpes, presión excesiva, cortes, etc (Carlos et al, 2018).

2.2.16. Rendimiento

En 2021, Lima lideró la producción de lechuga en Perú con 22,707 toneladas, seguida por Lima Metropolitana con 14,991 toneladas y Junín con 10,604 toneladas. Áncash y La Libertad produjeron 6,374 y 4,708 toneladas, respectivamente. Las regiones con menor producción fueron Lambayeque (16 toneladas), Tumbes (26 toneladas) y Ucayali (47 toneladas). Esto muestra una concentración significativa de la producción en algunas regiones, mientras que otras aportan cantidades menores.

Figura 2

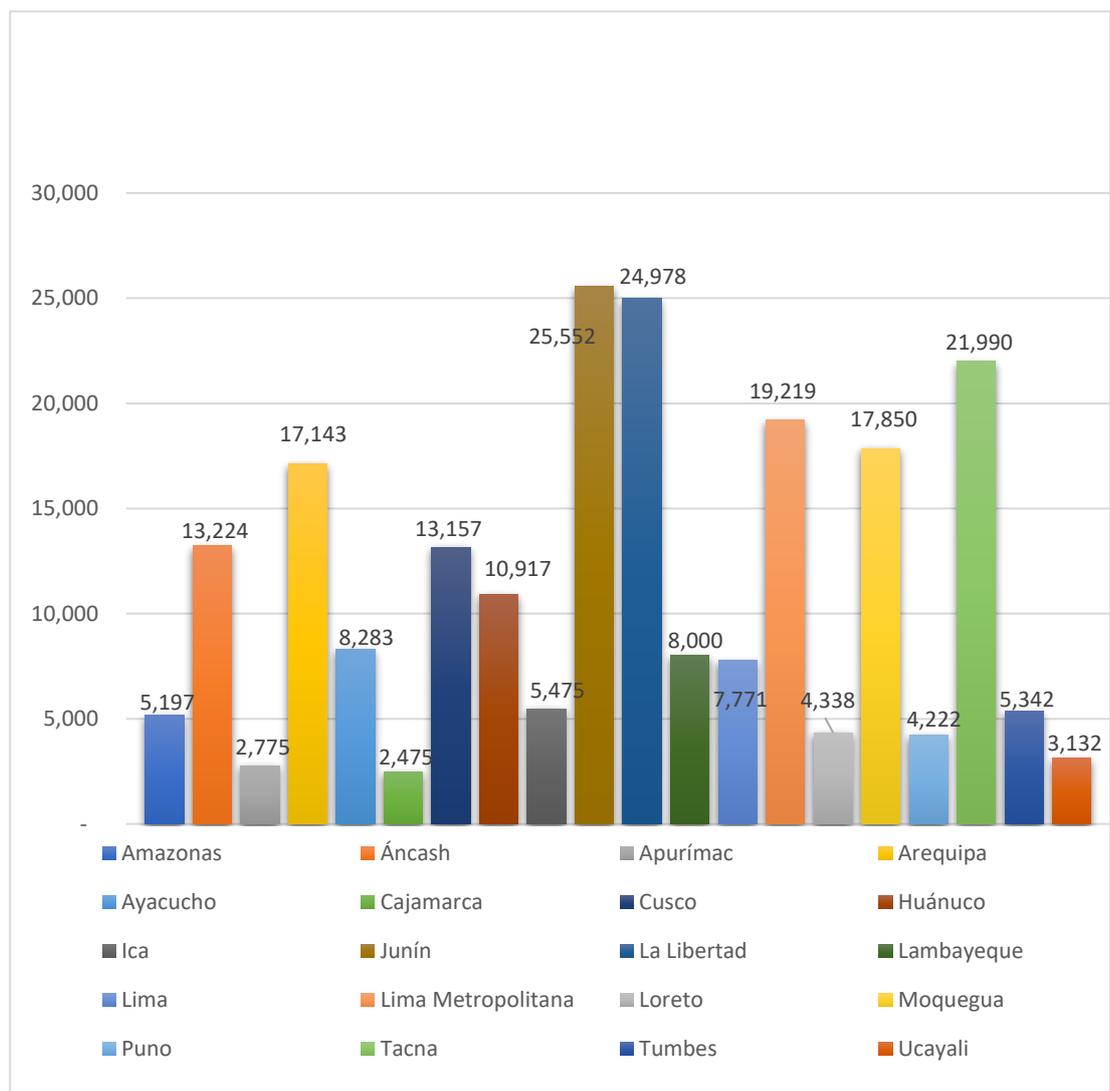
Producción anual de lechuga, según regiones 2021 (t/ha).



En 2021, las regiones de Perú con los promedios más altos fueron Junín, con 25,552, La Libertad, con 24,978, y Tacna, con 21,990. Otras regiones destacadas incluyen Lima Metropolitana, con 19,219, y Arequipa, con 17,143. En contraste, las regiones con los promedios más bajos fueron Cajamarca, con 2,475, Apurímac, con 2,775, y Ucayali, con 3,132. Estos datos indican una variabilidad significativa en el promedio de este indicador entre las distintas regiones.

Figura 3

Rendimiento promedio de la lechuga 2021





CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizó en el invernadero de Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano Puno.

3.1.1. Ubicación Política

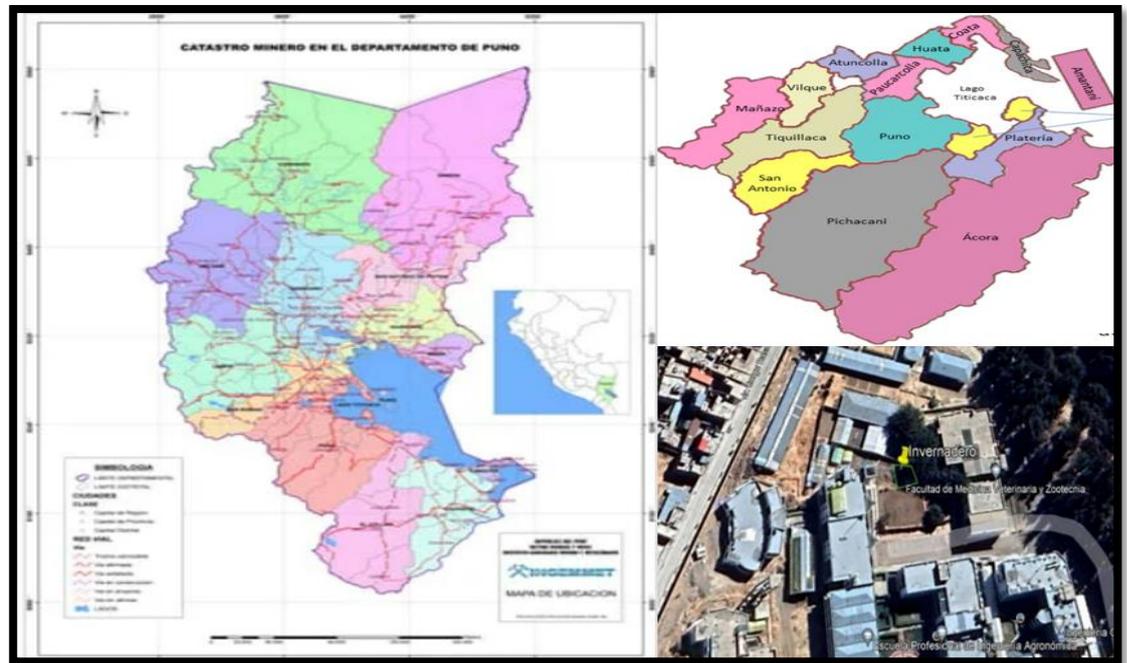
- Región : Puno
- Provincia : Puno
- Distrito : Puno

3.1.2. Ubicación Geográfica

- Latitud Sur: 15°59'09''
- Longitud Oeste: 69°51'31.7''
- Altitud: 3825 msnm.

Figura 4

Ubicación del experimento



3.1.3. Periodo de duración de la investigación

La ejecución de la investigación se realizó durante los meses de setiembre a noviembre de 2023, iniciándose con la germinación de las semillas y finalizando en el mes de noviembre con la cosecha.

3.2. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

El agua analizada tiene propiedades adecuadas para su uso en cultivos hidropónicos, aunque con algunas consideraciones. El pH, ligeramente ácido, lo cual es adecuado para el cultivo de lechuga. La conductividad (CE) es baja, lo que es ideal como punto de partida para agregar nutrientes controlados. La dureza y alcalinidad son moderadas, con baja alcalinidad, lo que facilita la gestión del pH y de los nutrientes esenciales. Los niveles de calcio y magnesio son adecuados.

Tabla 7

Resultados del análisis físico-químico de muestras de agua de Huajje – Puno.

Análisis físico - químico de agua		
Características organolépticas:		
		M1
Aspecto		liquido
Color		incoloro
Olor		Aceptable
Sabor		Aceptable
Característicos físicos:		
pH		6.5
C.E	mS/cm	0.21
T°, C°		14.15
Características químicas.		
Dureza total (como CaCO ₃)	mg/L	129.2
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/L	33.27
Cloruros (como Cl ⁻)	mg/L	12.76
Sulfatos (como SO ⁼⁴)	mg/L	91
Calcio (como Ca ⁺⁺)	mg/L	18.24
Nitratos (como NO ₃)	mg/L	0.01
Magnesio (como Mg ⁺)	mg/L	20
Solidos Disueltos Totales	g/L	0.11

Fuente: Laboratorio de aguas y suelos UNA-PUNO 2023.

3.3. MATERIALES

3.3.1. Material vegetal.

En el presente estudio se utilizaron tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.):

- V1=Great Lakes
- V2= Green Leaf



- V3= White Boston

3.3.2. Solución nutritiva (fertilizantes)

Para cultivos hidropónicos, se preparó dos soluciones A y B. La solución A contiene P, K, N, Ca y S, mientras que la solución B contiene los micronutrientes Mg, Mn, Fe, Cu, Zn, B, Cl y Mo. Estas soluciones se prepararon utilizando los fertilizantes solubles disponibles en el mercado de Arequipa para fertiirrigación. En este caso, para lechuga, se tomó en cuenta las concentraciones propuestas por Resh (1997) que son las siguientes: Ca=200ppm, Mg=40ppm, K=210ppm, N(NH₄) =25ppm, N(NO₃) 165ppm, P=50ppm, S=113ppm, Fe=5ppm, Mn=0.5ppm, Cu=0.1ppm, Zn=0.1ppm B=0.5ppm y Mo=0.05ppm. Las cantidades se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8

Formulación de las soluciones nutritivas A y B para todo el período vegetativo.

Solución concentrada	1000 litros	250 litros
	H ₂ O	H ₂ O
Solución A	5 litros	1.25 litros
Nitrato de potasio (KNO ₃).	484.55 g	121.14g
Nitrato de calcio (Ca (NO ₃) ₂).	783.78 g	195.95g
Urea (CH ₄ N ₂ O)	3.04 g	0.76g
Fosfato Mono amónico (NH ₄ H ₂ PO ₄).	150.78 g	37.6g
Solución B	2 litros	0.5 litros
Sulfato de Magnesio (MgSO ₄)	466.32 g	116.58 g
Ácido Bórico (H ₃ BO ₃)	2.29 g	0.57 g
Quelato de fierro.	36.67 g	9.17 g
Fetrim combi.	15 g	3.75 g

Fuente: Resh (1997)



En esta investigación, se preparó soluciones para cubrir todo el ciclo del cultivo, ajustadas a los requerimientos nutricionales específicos: $N-NO_3 = 171$ g, $N-NH_4 = 29$ g, $P-PO_4 = 40$ g, $K-K^+ = 185$ g, $Ca^{2+} = 150$ g, $S-SO_4 = 70$ g, $Mg^{2+} = 45$ g, $Fe = 50$ g, $Mn = 0.5$ g, $Cu = 0.1$ g, $Zn = 0.1$ g, $B = 0.5$ g, y $Mo = 0.05$ g. Para la preparación de la solución nutritiva A, se disolvieron los fertilizantes en 1250 ml de agua destilada en un recipiente plástico, garantizado una disolución completa mediante agitación constante.

La solución nutritiva B se preparó de manera similar, utilizando 500 ml de agua destilada. Ambas soluciones formuladas, A y B, se prepararon en dos ocasiones: una para el sistema de raíz flotante y otra para el sistema NFT.

3.3.3. Materiales y herramientas

- Motor HB MAX H3QB.
- Tubos de PVC de 3, 2, 1, Pulgadas.
- Llave de paso PVC 1.
- Codo 2"x 90°
- Tapone 4"
- Unión universal PVC
- Válvula de iré
- 01 cilindro de polietileno.
- Cintas 2x3.
- Temporizador.
- Termómetro.
- Balanza digital.
- Tomacorrientes.



- Bandejas.
- Tecnopor.
- Esponja.
- Vasos
- Plastico.
- Alicata
- Martillo
- Nivel de mano
- Escuadra.
- SERRUCHO
- Tijera
- Clavos
- Cinta teflón
- Mangueras

3.4. VARIABLES EN ESTUDIO

3.4.1. Factores en estudio:

a) Factor A: sistema hidropónico recirculante NFT.

- S1. Sistema Horizontal
- S2. Sistema Vertical

b) Factor B: variedad de lechuga (*Lactuca sativa* L.)

- V1 = Great Lakes.
- V2 = Green Leaf
- V3 = White Boston

3.5. TRATAMIENTOS EN ESTUDIO.

Los tratamientos en estudio se muestran en la Tabla 9, donde se especifican las tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa L.*) en los dos sistemas (vertical y horizontal), con cinco repeticiones.

Tabla 9

Tratamientos en estudio en dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT y tres variedades de Lechuga.

Sistema	Variedad	R1	R2	R3	R4	R5
Horizontal	Great Lakes	S1-V1-R1	S1-V1-R2	S1-V1-R3	S1-V1-R4	S1-V1-R5
	Green Leaf	S1-V2-R1	S1-V2-R2	S1-V2-R3	S1-V2-R4	S1-V2-R5
	White Boston	S1-V3-R1	S1-V3-R2	S1-V3-R3	S1-V3-R4	S1-V3-R5
Vertical	Great Lakes	S2-V1-R1	S2-V1-R2	S2-V1-R3	S2-V1-R4	S2-V1-R5
	Green Leaf	S2-V2-R1	S2-V2-R2	S2-V2-R3	S2-V2-R4	S2-V2-R5
	White Boston	S2-V3-R1	S2-V3-R2	S2-V3-R3	S2-V3-R4	S2-V3-R5

3.6. VARIABLES DE RESPUESTA

- Peso de la planta con raíz (g)
- Peso de planta sin raíz (g)
- Altura de la planta (cm)
- Rendimiento de lechuga por variedad, (g/planta) y número de plantas/variedad
- Costos de inversión del módulo NFT y análisis de rentabilidad.



3.7. DISEÑO EXPERIMENTAL

En el trabajo de investigación se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA), con arreglo factorial 2 x 3, en parcelas divididas, las parcelas constituyen los sistemas hidropónicos recirculantes NFT (horizontal y vertical), y las sub-parcelas las tres variedades de lechugas, con cinco repeticiones y cinco plantas por cada tratamiento, haciendo un total de 150 observaciones.

$$Y_{ijk} = \mu + P_k + \alpha_i + (\alpha P)_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ij}$$

Donde:

- Y_{ijk} : Observación en el bloque que ha recibido i del factor α y el factor j del factor β
- μ : Media general.
- P_k : Efecto del k -ésimo en bloque.
- α_i : Efecto del i -ésimo nivel del factor A.
- β_j : Efecto del j -ésimo nivel del factor B.
- $(\alpha\beta)_{ij}$: Interacción entre los niveles del factor A y factor B.
- ϵ_{ij} : Error aleatorio asociado a las parcelas principales.
- δ_{ijk} : Error aleatorio asociado a las subparcelas dentro de las parcelas principales.

3.8. METODOLOGÍA

3.8.1. Características de unidad experimental

a) Área experimental total.

- Longitud tubo 3m
- Diámetro de tubo 4"



- Número de tubos 5
- Número de tubos totales 10
- Número de plántulas lechugas por tubo 15
- Número total de plántulas de lechugas 150

b) Unidad experimental.

- Longitud tubo 1m
- Diámetro de tubo 4"
- Número de tubos total 1
- Número de plántulas de lechugas por tubo 5

3.8.2. Conducción del experimento

La investigación se condujo en dos sistemas hidropónicos recirculate NFT, utilizando tres variedades como unidades experimentales, con cinco repeticiones. Se trasplanto cinco plántulas en cada tubo lo que resultó en un total de 150 plántulas.

Los tratamientos se distribuyeron en el sistema experimental según el plan mostrado en la Figura 5, aplicando los métodos correspondientes a cada unidad experimental.

Figura 5

Distribución de tratamientos y detalle de la unidad experimental

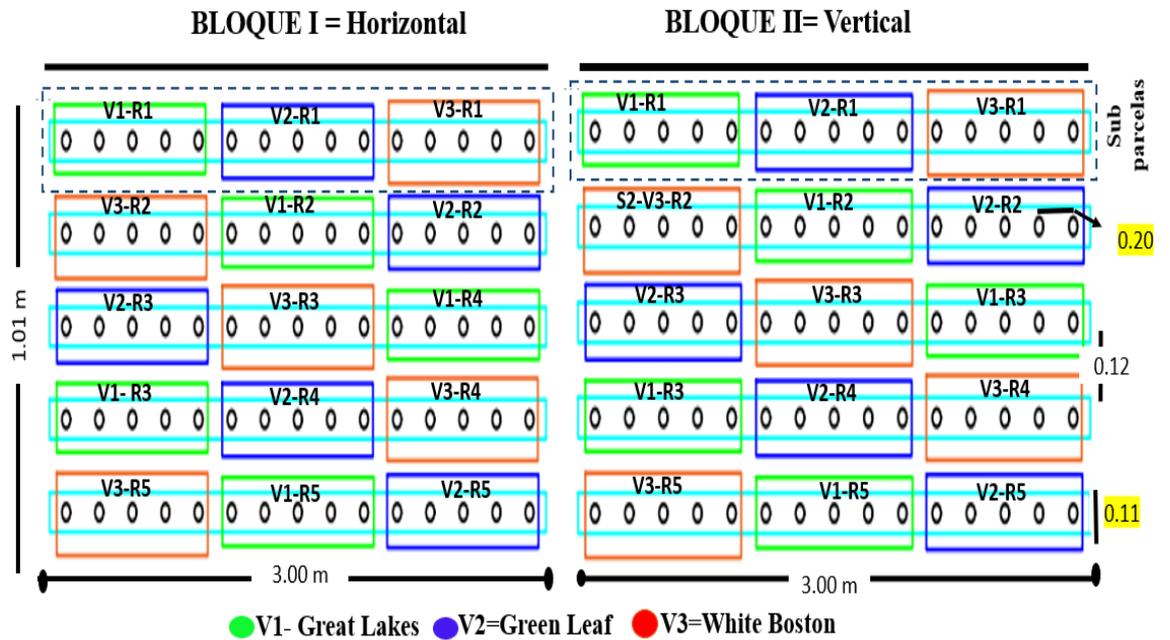
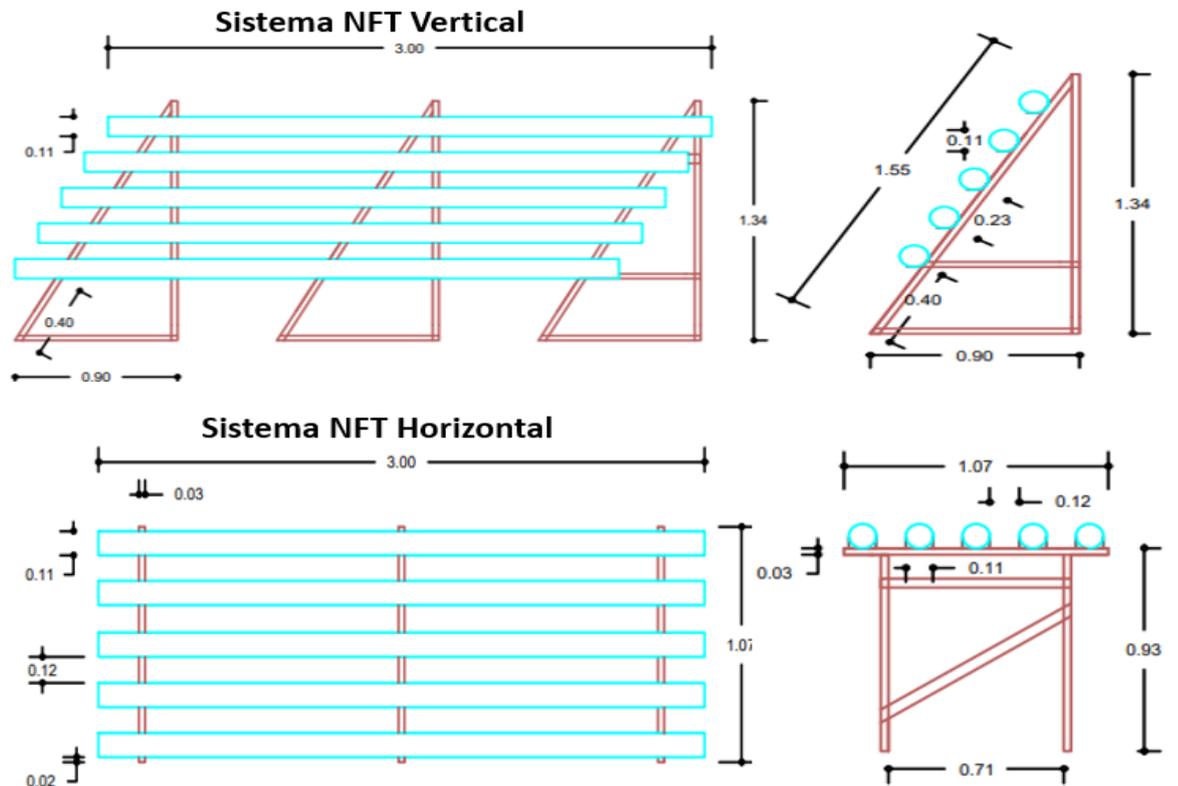


Figura 6

Prototipos de los sistemas recirculantes NFT, vertical y horizontal





3.8.2.1. Instalación del sistema hidropónico recirculante NFT

Se construyeron dos sistemas hidropónicos, uno vertical y otro horizontal, con dimensiones de 3 x 0,90 x 1,34 metros y 3 x 1,01 x 0,93 metros, respectivamente, ambos con 5 niveles. El sistema de riego es cerrado e incluye un tanque conectado a una bomba de 0,5 CV. La distribución de agua se realiza mediante tuberías de PVC de 1 pulgada y mangueras de 3/8 pulgadas, mientras que la recolección de nutrientes se utiliza tuberías de PVC de 2 pulgadas y mangueras de 1/4 pulgadas. Los canales de cultivo tienen 3 metros de longitud y 4 pulgadas de diámetro, con orificios de 6 cm cada 20 cm, optimizando la distribución de agua y los nutrientes.

3.8.2.2. Preparación de la poza de agua

Para instalar el tanque de solución nutritiva, se excavó un pozo de 1m² de superficie y 1m de profundidad, facilitando así la colocación del tanque en el espacio disponible.

3.8.2.3. Instalación del sistema de riego

Posteriormente, se conectó el sistema de suministro de solución nutritiva para las lechugas, incluye un tanque de 220 L, la llave de paso proveniente de la bomba, seguido por el politubo de 1 pulgada. A continuación, se instaló el sistema de desagüe y el retorno de la solución nutritiva al tanque.



3.8.2.4. Siembra de semillas de variedades de lechuga en almácigos.

El almácigo se realizó en bandejas de PVC con agujeros de drenaje, utilizando arena limpia de 0.5 mm como sustrato, sin partículas mayores a 7 mm, para facilitar la germinación y emergencia de las plántulas de lechuga (*Lactuca sativa* L.).

Las semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.), se sembraron en hileras con intervalos de 4 cm y a una profundidad 0,5 cm. la germinación se produjo entre 4 y 5 días, y las plántulas se mantuvieron en almacigo durante 2 a 3 semanas (20 días), con riego regular.

3.8.2.5. Primer trasplante para adaptación a solución nutritiva.

Después de que las plántulas se desarrollaron en el almacigo durante 20 días, se trasplantaron al sistema de raíz flotante utilizando esponjas de baja densidad, cortadas en tamaños de 4 x 3 cm, 2 cm de altura.

Se hicieron orificios en las esponjas y se extrajeron cuidadosamente las plántulas del almácigo con una espátula. Luego, se lavaron las raíces y se transfirieron a las esponjas, que posteriormente se colocaron en un sistema de raíz flotante instalado en un recipiente de madera de 0,6 x 1 m. El agua se llenó a una altura de 19 cm, la solución nutritiva se incorporó en un volumen de 95 litros de agua.

Durante los 18 días en este sistema, se realizó la oxigenación manualmente durante 1 minuto cada 2 horas.



3.8.2.6. Segundo trasplante.

Las plántulas se transfieren al sistema hidropónico recirculante NFT 18 días después del primer trasplante, cuando las plántulas tenían raíces de 6 cm y cuatro hojas. Se colocaron en vasos descartables, se envolvieron con una esponja de 14 cm de largo y se colocaron en canales de tubería de PVC a 20 cm de distancia entre plántulas. Las plántulas permanecieron en el sistema hidropónico recirculante NFT durante 38 días hasta la cosecha.

3.8.2.7. Preparación de la solución nutritiva

Para preparar la solución nutritiva A, se disolvieron los fertilizantes en 1250 ml de agua destilada en un recipiente de plástico, siguiendo el orden especificado en la Tabla 8. La solución nutritiva B se preparó de manera similar, utilizando 500 ml de agua destilada y disolviendo los fertilizantes en el mismo orden, asegurando una disolución completa mediante agitación constante. Inicialmente, se circuló agua en el sistema en lugar de la solución nutritiva, ya que las plantas necesitan un periodo mínimo de 24 horas para adaptarse al sistema. Posteriormente, se añadieron los volúmenes preparados de solución nutritiva A y B por separado, agitando constantemente entre cada aplicación para evitar la precipitación de las sales. Finalmente, se enciende la bomba y se inicia la recirculación de la solución nutritiva.

Esta mezcla se aplicará una sola vez al tanque y se mantendrá durante todo el periodo vegetativo hasta la cosecha, sin necesidad de ajustes adicionales.

3.8.2.8. Riegos

El riego con la solución nutritiva se realizó de acuerdo con la instalación y diseño del sistema hidropónico recirculante NFT, utilizando un temporizador digital con 10 programaciones, que activa el sistema cada 2 horas durante 30 minutos. El caudal de riego era de dos litros por minuto en cada tubo.

Tabla 10

Programación de riego utilizando el temporizador digital 12v.

Programación de riego	
Nº de programación	hora
1	5.00 - 5.30 a.m.
2	7.00 - 7.30 a.m.
3	9.00 - 9.30 a.m.
4	11.00 - 11.30 a.m.
5	13.00 - 13.30 p.m.
6	15.00 -15.30 p.m.
7	17.00 - 17.30 p.m.
8	19.00 - 19.30 p.m.
9	21.00 - 21.30 p.m.
10	12.30 - 1.00 a.m.

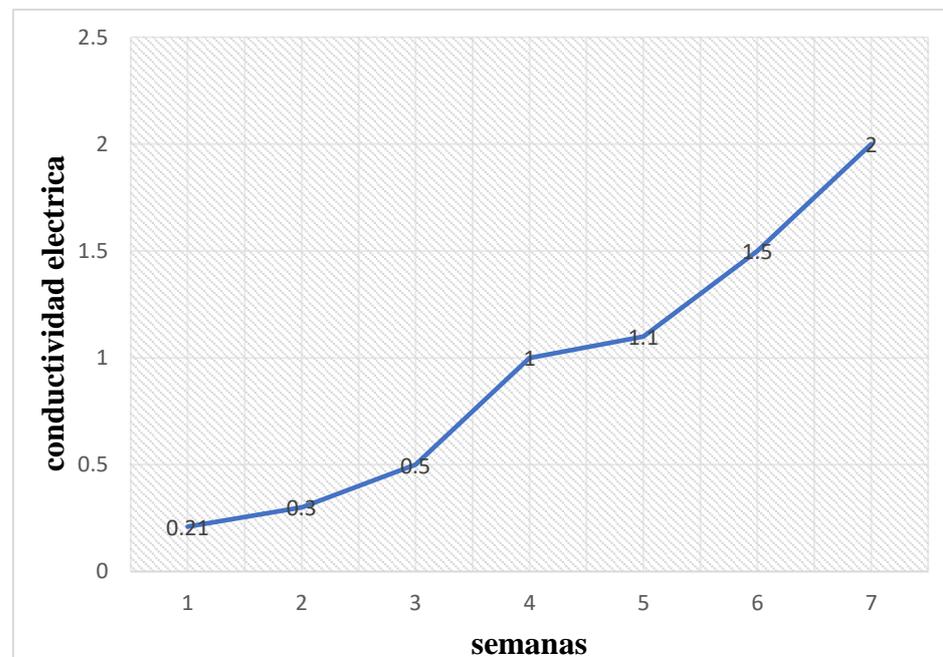
3.8.2.9. Monitoreo de conductividad eléctrica (CE) de soluciones hidropónicas.

La conductividad eléctrica (CE) se registró semanalmente utilizando un conductímetro HACH, desde la transferencia de las plántulas al sistema hidropónico recirculante NFT, hasta la cosecha.

El monitoreo semanal de la CE mostro una tendencia ascendente significativa a lo largo del periodo. Los valores de CE aumentan de manera, constante cada día, iniciando en 0.21 mS/cm y alcanzando 2 mS/cm al final del período de monitoreo. Este incremento indica un aumento en la concentración de sales disueltas debido a la absorción de nutrientes por las plantas.

Figura 7

El monitoreo semanal de la conductividad eléctrica (CE)

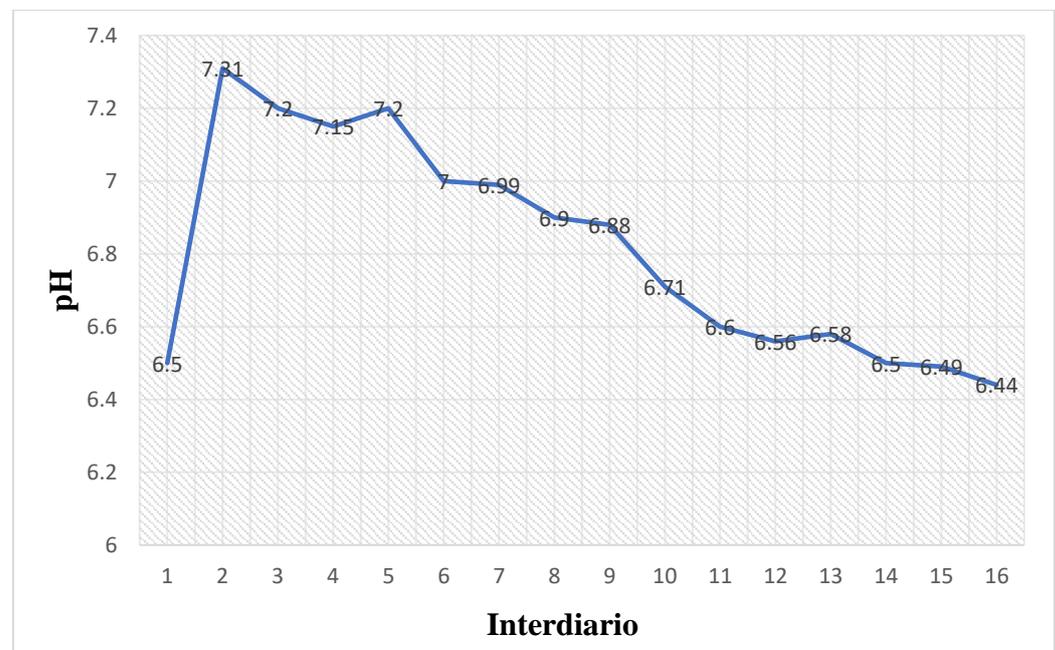


3.8.2.10. Monitoreo de potencial de hidrogeno (pH) de soluciones hidropónicas.

El monitoreo interdiario del pH, basado en un total de 16 datos mediciones, muestra que los valores de pH se mantuvieron, en general, dentro del rango óptimo (6.5 - 7.5) la mayor parte del tiempo, lo cual es favorable para el crecimiento de las lechugas.

Figura 8

El monitoreo del pH inter diario



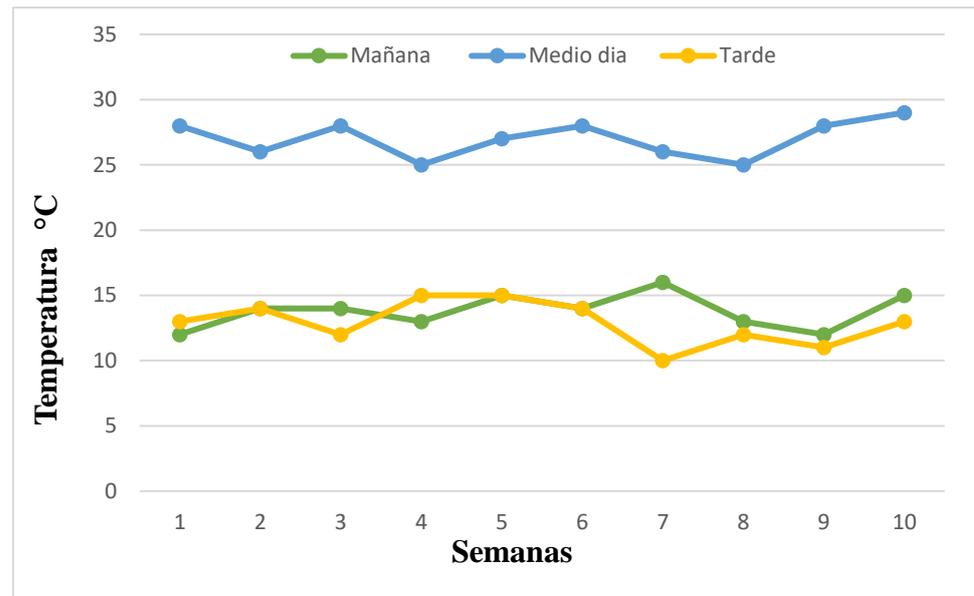
3.8.2.11. Monitoreo de temperatura del invernadero.

El monitoreo de la temperatura a lo largo de 10 semanas revela que las condiciones térmicas fueron mayormente favorables para el cultivo de lechugas, con temperaturas promedio en la mañana y la tarde dentro del rango óptimo. Sin embargo, la temperatura promedio de 27°C al mediodía

se encuentra en el límite superior de lo que las lechugas pueden tolerar sin experimentar estrés.

Figura 9

Monitoreo de temperatura en el invernadero a lo largo de 10 semanas



3.8.2.12. Labores culturales en crecimiento

a) **Refalle.** Esta práctica se llevó a cabo con el objetivo de reemplazar las plántulas que no enraizaron en los cajones flotantes ni en el sistema hidropónico NFT, utilizando plántulas en la etapa inicial de crecimiento.

3.8.2.13. Cosecha

La cosecha se realizó a los 76 días de la germinación de semillas, cuando el tamaño de las lechugas alcanzó el nivel comercial adecuado, se registraron los datos correspondientes al peso tanto del cultivo enraizado como desarraigado.



3.8.3. Evaluar las variables de respuesta

3.8.3.1. Peso total de la lechuga con raíz (g)

Durante la cosecha de cada unidad experimental, se registró el peso total en gramos (g) de lechuga con raíz.

3.8.3.2. Peso total de lechuga sin la raíz (g)

Para determinar el peso de la planta sin raíz, se realizaron extrajeron cinco plantas por unidad experimental, y por variedad, en el momento de la cosecha.

3.8.3.3. Altura de planta (cm)

La altura de planta se midió en centímetros (cm) desde el pie del tallo hasta la yema terminal de planta de lechuga utilizando una cinta métrica. Se evaluaron cinco plantas, las mediciones se realizaron 38 días después del último trasplante.

3.8.3.4. Rendimiento de la lechuga

Las muestras de cada tratamiento se pesaron en la cosecha. mediciones se registraron en gramos por planta (g/planta), considerando el número de plantas en cada tubo de PVC en el sistema hidropónico recirculante NFT.

3.8.3.5. Rentabilidad de la lechuga.

En el cálculo de la rentabilidad se incluyeron los costos de instalación de los sistemas hidropónicos recirculantes NFT, tanto verticales como horizontales, así como los materiales, insumos, semillas,



soluciones nutritivas, entre otros. Además, se calcularon los ingresos basados en la producción del cultivo y en los precios del mercado.

3.8.4. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el software estadístico. Los datos evaluados incluyeron altura de planta, peso de la lechuga con raíz y sin raíz y rendimiento. A continuación, se utilizó el análisis de la varianza, seguido de la prueba de Tukey con un margen de error del 5%.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RENDIMIENTO DE LECHUGA EN SISTEMA HIDROPÓNICO RECIRCULANTE NFT, EN FORMA HORIZONTAL Y VERTICAL

4.1.1. Análisis de varianza de peso de planta con raíz (g/planta) en dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT y tres variedades de lechuga

De acuerdo con la Tabla 11, el análisis de varianza permitió identificar diferencias importantes en el peso de plantas de lechuga con raíz según el sistema hidropónico recirculante NFT utilizado, las diferencias altamente significativas indican que el sistema tiene un efecto considerable en el peso de plantas de lechuga con raíz. Asimismo, las diferencias altamente significativas para variedades indican que las tres variedades evaluadas difieren en sus pesos de planta con raíz, con alta significación estadística.

En relación a la interacción de sistemas hidropónicos recirculantes NFT con variedades, se ha encontrado que presenta alta significación estadística, indicando la necesidad de analizar dicha interacción mediante efectos simples, para explicar con más detalle el efecto de los dos sistemas en las tres variedades de lechuga.

El análisis de efectos simples, que se muestra en la Tabla 11, muestra que para cada uno de los sistemas hidropónicos recirculantes NFT, las tres variedades de lechuga no mostraron iguales medias de peso de planta con raíz.



El coeficiente de variabilidad ha resultado en 2.23% indicando que los resultados del trabajo son confiables.

Tabla 11

Análisis de varianza de peso de planta con raíz (g/planta) evaluadas bajo dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT para tres variedades de lechuga.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Sumas de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	Pr >Fc	Sig.
S	1	154828.68	154828.68	4203.62	<.0001	**
R(S)	8	294.65	36.83	1.64	0.1195	ns
V	2	92897.6	46448.8	2065.86	<.0001	**
S*V	2	40232.12	20116.06	894.69	<.0001	**
HORZ	2	123904	61952	2755.38	<.0001	**
VERT	2	9225.89	4612.94	205.17	<.0001	**
Error	136	3057.81	22.484			
Total	149	291310.89				

Media 212.55 g/planta

CV 2.23 %

- **Medias generales de pesos de lechuga con raíz (g/planta) producidos en dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT.**

En relación con las medias generales de peso de plantas de lechuga con raíz, se ha encontrado que las plantas producidas en el sistema hidropónico recirculante NFT horizontal mostraron mayor peso (244.68 g/planta y 6116.97 g/25 plantas) que las producidas en el sistema hidropónico recirculante NFT vertical (180.42 g/planta y 4510.583 g/25 plantas), con alta significación estadística.

Tabla 12

Medias generales de pesos con raíz (g/planta), bajo dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT.

Sistema	N° plantas	Media	
HORZ	75	244.68	a
VERT	75	180.42	b

- **Medias generales de pesos con raíz de tres variedades de lechuga (g/planta).**

En el análisis de varianza de la Tabla 11 se observa alta significación para variedades, lo cual indica que las tres variedades evaluadas en el estudio no presentaron medias iguales de peso de planta con raíz.

Al realizar la prueba de Tukey al 5 % de significación, se encontró que la media de la variedad Green Leaf (245.16 g/ planta) que fue superior a la media de la variedad Great Lakes (207.72g/planta) y la media de la variedad White Boston (184.77g/planta), asimismo, las medias de estas dos últimas variedades se mostraron diferentes, tal como se puede observar en la Tabla 13.

Tabla 13

Medias generales de pesos con raíz (g/planta) para tres variedades y la prueba de Tukey.

Variedad	N° plantas	Media	Tukey (5%)
Green Leaf	50	245.16	a
Great Lakes	50	207.72	b
White Boston	50	184.77	c

- **Interacción de sistemas hidropónicos recirculantes NFT por variedades para pesos con raíz (g/planta).**

El análisis de varianza de la Tabla 11 muestra la existencia de interacción entre el sistema hidropónico recirculante NFT y variedades, con alta significación estadística. Ese resultado ha conducido a la realización del análisis de efectos simples de variedades por cada sistema hidropónico recirculante NFT.

Tabla 14

Medias generales de pesos con raíz (g/planta) por cada sistema hidropónico recirculante NFT y las pruebas de Tukey.

Sistema	Variedad	N° plantas	Media	Tukey (0.05)
HORZ	Green Leaf	25	300.438	a
HORZ	Great Lakes	25	228.9168	b
HORZ	White Boston	25	204.696	c
VERT	Green Leaf	25	189.884	a
VERT	Great Lakes	25	186.538	a
VERT	White Boston	25	164.8624	b



En la Tabla 14, se puede observar que las medias de los pesos de plantas de lechuga con raíz de tres variedades difieren entre ellas significativamente, cuando son producidos en el sistema hidropónico recirculante NFT horizontal. La variedad Green Leaf rindió en promedio 300.43 g/planta, mientras que la variedad Great Lakes rindió en promedio 228.91g/planta y la variedad White Boston rindió en promedio 204.69 g/planta.

Asimismo, se puede apreciar que las medias de los pesos de plantas de lechuga con raíz, cuando son producidas en el sistema hidropónico recirculante NFT vertical, la variedad Green Leaf rindió en promedio 189.88 g/planta, mientras que la variedad Great Lakes rindió en promedio 186.53 g/planta, siendo estos dos resultados estadísticamente similares. Por otro lado, la variedad White Boston tuvo un rendimiento promedio 164.86 g/planta, que fue significativamente menor a las dos variedades anteriores.

4.1.2. Análisis de varianza de peso de planta sin raíz (g/planta) en dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT y tres variedades de lechuga.

El análisis de varianza de la Tabla 15 reveló la presencia de diferencias altamente significativas en el peso de las plantas de lechugas sin raíz entre los sistemas hidropónicos recirculantes NFT utilizados. Se observa también diferencias altamente significativas en el peso de plantas sin raíz entre las variedades evaluadas bajo este sistema.

En relación a la interacción sistema hidropónico recirculante NFT con variedades, se ha encontrado que esta interacción es altamente significativa. Esto indica la necesidad de realizar un análisis de efectos simples. El coeficiente de variación es del 1.95 %, lo que sugiere que los resultados del estudio son consistentes y fiables.

Tabla 15

Análisis de varianza de peso de plantas sin raíz (g/planta), en dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT y tres variedades de lechuga.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Sumas de Cuadrados	Cuadrados Medios	Cuadrados Medios	Pr > Fc	Sig.
S	1	144234.95	144234.95	2349.44	<.0001	**
R(S)	8	491.12	61.3911	4.22	0.0002	**
V	2	90676.20	45338.10	3115.72	<.0001	**
S*V	2	38833.82	19416.91	1334.37	<.0001	**
HORZ	2	121568	60784	4177.2	<.0001	**
VERT	2	7941.65	3970.82	272.88	<.0001	**
Error	136	1978.99	14.55			
Total	149	276215.11				

Media 194.87 g/planta

CV 1.95 %

- **Medias generales de pesos de lechuga sin raíz (g/planta) producidos en dos sistemas recirculantes NFT.**

En relación a las medias generales de pesos de plantas de lechuga sin raíz producidos en ambos sistemas hidropónicos recirculantes, se observó que la media general, producidas en el sistema hidropónico recirculante NFT horizontal fue significativamente mayor (225.88

g/planta y 5646.833 g/25 plantas) que la media general del peso de lechugas sin raíz producidas en el sistema hidropónico recirculante NFT vertical (163.86 g/planta y 4096.417 g/25 plantas). Este contraste entre los sistemas horizontal y vertical resalta la importancia del tipo de sistema utilizado en la producción de lechugas.

Tabla 16

Medias generales de pesos sin raíz (g/planta) bajo dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT.

Sistema	N° plantas	Media	
HORZ	75	225.88	a
VERT	75	163.86	b

Gutierrez (2023) investigó la producción hidropónica vertical de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y encontró que las lechugas cultivadas con abono de cuy alcanzaron un peso máximo de 23 g, mientras que las lechugas desarrolladas con abono de cerdo alcanzaron un peso máximo de 14.3 g y un mínimo de 6.7 g. Por su parte Cussi (2018) sobre la producción hidropónica vertical de lechuga (*Lactuca sativa* L), se observó que la variedad Crocantela demostró mejores rendimientos en la producción, con valores que oscilan entre 5.62 a 6.75 kg/m², mientras que la variedad Brunela mostró rendimientos significativamente inferiores, con valores entre 3.41 a 3.64 kg/m².

En el estudio realizado por Yauricasa (2019), se detectaron diferencias significativas en el número de hojas y el rendimiento por planta entre sistemas hidropónicos horizontales y verticales. El sistema horizontal demostró un mayor rendimiento promedio por planta,

alcanzando 3200 g, en comparación con el sistema vertical, que obtuvo 3000 g. Además, se observó que la variedad de fresa Melisa presentó un rendimiento promedio superior en el sistema horizontal con 3500 g por planta, significativamente mayor que el rendimiento de 2900 kg obtenido en el sistema vertical.

- **Medias generales de pesos de planta sin raíz de tres variedades de lechuga (g/planta).**

El análisis de varianza de la Tabla 15 indica alta significación estadística para los pesos de plantas de lechuga sin raíz de las tres variedades evaluadas, indicando que las tres variedades utilizadas en el estudio no presentaron iguales medias.

Al realizar la prueba de Tukey al 5% de significación, según se muestra en la Tabla 17, la variedad Green Leaf tuvo un rendimiento promedio de 226.96 g/planta, estadísticamente superior en comparación con las otras dos variedades, la variedad Great Lakes rindió en promedio de 190.42 g/planta, mientras que la variedad White Boston rindió en promedio 167.23 g/planta de peso de plantas sin raíz.

Tabla 17

Medias generales de peso sin raíz (g/planta) para tres variedades y la prueba de Tukey.

Variedad	N° plantas	Media	Tukey (0.05)
Green Leaf	50	226.96	a
Great Lakes	50	190.42	b
White Boston	50	167.23	c



En el estudio de Catata (2015), se encontraron diferencias significativas en los pesos de las variedades de lechuga cultivadas en un sistema hidropónico NFT. La variedad Bonita alcanzó el mayor peso promedio por planta con 195,43 g, seguida por Waldmans Green con 138,40 g y Hardy con 124,10 g. Estos resultados destacan la superioridad de la variedad Bonita en términos de peso cuando se cultiva en condiciones hidropónicas.

En el estudio de Cajo (2016), se evaluó la producción hidropónica de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo el sistema NFT, utilizando tres soluciones nutritivas, tuvo un impacto significativo en el peso y rendimiento de las plantas. Entre las variedades evaluadas, la variedad V3 (Salad Bowl) resultó ser la más efectiva en términos de peso, destacándose probablemente por sus características genéticas favorables.

- **Interacción de sistemas hidropónicos recirculantes NFT por variedades para peso sin raíz (g/planta) de lechuga.**

El análisis de varianza de la Tabla 15, indica que hay una interacción altamente significativa entre los sistemas hidropónicos recirculantes NFT y las variedades evaluadas, este resultado ha conducido a la realización del análisis de efectos simples de variedades en cada sistema hidropónico recirculante NFT. Las medias de peso de plantas sin raíz, de las tres variedades evaluadas en cada sistema hidropónico recirculante, se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18

Medias de pesos sin raíz (g/planta) de tres variedades evaluadas en dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT y las pruebas de Tukey.

Sistema	Variedad	N° plantas	Media	Tukey (0.05)
HORZ	Green Leaf	25	280.6	a
HORZ	Great Lakes	25	212.12	b
HORZ	White Boston	25	184.9	c
VERT	Green Leaf	25	173.31	a
VERT	Great Lakes	25	168.71	b
VERT	White Boston	25	149.55	c

En la Tabla 18, se puede observar que los pesos de plantas sin raíz de las tres variedades de lechuga difieren significativamente entre sí, ya sea cuando son producidas en el sistema hidropónico recirculante horizontal. La variedad Green Leaf mostró un rendimiento promedio de 280.60 g/planta de peso por planta con raíz, la variedad Great Lakes mostró un peso por planta con raíz de 212.12 g/planta en promedio, y la variedad White Boston, 184.90 g/planta. Mientras que, en el sistema hidropónico recirculante NFT vertical, la variedad Green Leaf mostró un peso promedio de plantas sin raíz de 173.31g/planta, seguida de la variedad Great Lakes 169 que dio en promedio 168.71 g/planta y la variedad White Boston, 149.55 g/planta.

En el estudio de Pairo (2017) se evaluaron seis variedades de lechuga cultivadas con la técnica de solución nutritiva recirculante (NFT). Los resultados indicaron que la variedad Maravilla 4 Estaciones presentó el mayor rendimiento con 5,07 kg/m², seguida por Waldmann



Green con 4,79 kg/m², y Crespa Morada con 4,66 kg/m². Por último, la variedad Crespa Punta Morada var. Prizehead obtuvo el menor rendimiento con 4,41 kg/m². Estos resultados destacan la importancia de la selección de variedades para maximizar el rendimiento en sistemas hidropónicos NFT.

4.1.3. Análisis de varianza de altura de planta (cm).

En el análisis de varianza de la Tabla 19, se puede observar la no significación para sistemas hidropónicos recirculantes NTF, indicando que las medias de altura de planta de lechugas en ambos sistemas fueron estadísticamente iguales; Asimismo, se puede observar en esta tabla que hubo diferencias altamente significativas en las medias de altura de planta entre las variedades evaluadas.

En cuanto a la interacción entre sistemas hidropónicos recirculantes NFT interactúan con las variedades, se ha encontrado que esta interacción es estadísticamente significativa, esto sugiere que cada variedad responde de manera diferente a los dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT, dando lugar al análisis de la interacción mediante efectos simples.

El coeficiente de variabilidad ha sido de 9.58 %, lo que indica que los resultados del estudio de altura de las plantas son confiables. Todos estos datos se presentan de manera detallada en la Tabla 19.

Tabla 19

Análisis de varianza de altura de planta (cm) de tres variedades de lechuga evaluados bajo dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Sumas de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Pr > Fc	Sig.
S	1	436.9	436.9	4.04	0.0791	ns
R(S)	8	864.18	108.02	13.95	<.0001	**
V	2	148.96	74.48	9.62	0.0001	**
S*V	2	98.29	49.14	6.35	0.0023	**
HORZ	2	240.66	120.33	15.54	<.0001	**
VERT	2	6.58	3.29	0.43	0.6545	
Error	136	1053.41	7.74			
Total	149	2601.76				
Media	29.04 cm					
Cv	9.58 %					

- **Medias generales de altura de planta de lechuga (cm) producidas en dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT.**

Las medias generales de altura de planta de lechugas producidas en ambos sistemas hidropónicos recirculantes NFT no mostraron diferencia significativa estadística, indicando que la media de altura de las plantas producidas en sistema vertical (30.75 cm) fue igual a la media de sistema hidropónico recirculante NFT horizontal (27.33 cm.), tal como se observa en la Tabla 20.

Tabla 20

Medias generales de altura de planta (cm) en dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT.

Sistema	N° plantas	Media	sig.
VERT	75	30.7466667	a
HORZ	75	27.3333333	a

- **Medias generales de altura de planta (cm) de variedades.**

En el análisis de varianza de la Tabla 19, se observa alta significación para variedades en altura de planta, lo cual indica que las variedades de lechuga utilizadas en el estudio no presentaron iguales medias generales de altura de planta.

Al realizar la prueba de Tukey al 5 % de significación en las medias generales de altura de planta de lechuga de las tres variedades, se observa que la altura promedio de la variedad White Boston (30.44 cm), fue significativamente superior a las alturas de plantas promedio de las otras dos variedades; asimismo, se observa que las variedades Green Leaf (28.48 cm) y Great Lakes (28.2 cm) mostraron alturas de planta promedio estadísticamente iguales.

Tabla 21

Medias generales de altura de planta (cm) de tres variedades y la prueba de Tukey.

Variedad	N° plantas	Media	Tukey (0.05)
White Boston	50	30.44	a
Green Leaf	50	28.48	b
Great Lakes	50	28.2	b

En el estudio de Condo & Romero (2023), se evaluaron los efectos de diferentes soluciones nutritivas sobre la altura de las plantas de lechuga. Los resultados indicaron que la solución nutritiva FAO fue la más efectiva, con una altura promedio de 20.21 cm. La solución La Molina resultó en una altura promedio de 16.53 cm. En contraste, la solución boliviana tuvo el menor rendimiento con una altura promedio de 15.68 cm.

- **Interacción de sistemas hidropónicos recirculantes NFT por variedades para altura de planta (cm)**

El análisis de varianza de la Tabla 19, muestra la existencia de interacción de sistemas hidropónico recirculante NFT y variedades de lechuga, con alta significación estadística. Ese resultado ha conducido a la realización del análisis de efectos simples de variedades de lechuga en cada sistema hidropónico recirculante NFT. Las medias de altura de plantas de las tres variedades, en cada sistema se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22

Medias de altura de planta (cm) de tres variedades producidas en dos sistemas recirculantes NFT y las pruebas de Tukey.

Sistema	Variedad	N° plantas	Media	Tukey (0.05)
HORZ	White Boston	25	29.8	a
HORZ	Green Leaf	25	26.6	b
HORZ	Great Lakes	25	25.6	b
VERT	White Boston	25	31.08	a
VERT	Great Lakes	25	30.8	a
VERT	Green Leaf	25	30.36	a

En la Tabla 22, se observa que las alturas promedio de plantas de lechuga varía significativamente entre las variedades, cuando son producidos en el sistema hidropónico recirculante NFT horizontal. La variedad White Boston alcanzó una altura promedio de 29.8 cm, significativamente mayor que las medias de altura de planta de la variedad Green Leaf (26.6 cm) y Great Lakes (25.6 cm), siendo que estas dos últimas no mostraron diferencias significativas entre sí. En contraste, la altura de plantas de lechuga de tres variedades, producidas en el sistema hidropónico recirculante NFT vertical, no mostraron diferencias significativas, la variedad White Boston con 31.08 cm, Great Lakes con 30.8 cm y Green Leaf con 30.36 cm, alcanzaron alturas medias similares.

En el estudio realizado Flores (2023), se observa que la altura de suspensión A1 (1 cm) mostró significativamente una mayor altura promedio de planta con 22.00 cm, destacándose sobre la altura de suspensión A3 (5 cm), que presentó un promedio más bajo de 13.12 cm.



Por otro lado, Callisaya (2016) destaca que la variedad Invicta alcanzó la mejor altura promedio de planta con 22.9 cm, este resultado resalta la importancia de considerar tanto la altura de suspensión como la selección de variedades específicas para optimizar el crecimiento y rendimiento en sistemas hidropónicos.

4.2. RENDIMIENTO DE VARIEDADES DE LECHUGA EN SISTEMA HIDROPÓNICO RECIRCULANTE NFT.

4.2.1. Rendimiento de variedades de lechuga en el sistema hidropónico recirculante NFT vertical.

En la Tabla 14 se muestra los pesos promedios de plantas de lechuga con raíz, allí se puede observar que la variedad Green Leaf obtuvo un rendimiento de 189.88 g/planta en promedio de 25 plantas. Considerando el total de plantas de la variedad Green Leaf producidas en sistema vertical, se obtuvo 4747.00 g/25 plantas. Igualmente, la variedad Great Lakes presentó un rendimiento promedio de 25 plantas de 186.53 g/planta, y considerando el total de plantas se obtuvo 4663.25 g/25 plantas. Ambas variedades, Green Leaf y Great Lakes mostraron rendimientos estadísticamente similares. Finalmente, la variedad White Boston tuvo un rendimiento de 164.86 g/planta, produciendo en total 4121.50 g/25 plantas, el cual es estadísticamente menor a las dos variedades anteriores.

En la Tabla 18 se puede observar los pesos promedios de las plantas de lechuga sin raíz, la variedad Green Leaf obtuvo un rendimiento de 173.31 g/planta en promedio de 25 plantas. Considerando el total de plantas de la variedad Green Leaf producidas en el sistema vertical, se obtuvo 4332.75 g/25 plantas. Igualmente, la variedad Great Lakes presentó un rendimiento promedio de 168.71

g/planta, estadísticamente diferente al rendimiento de la variedad Green Leaf, y considerando el total de plantas, se obtuvo 4217.75 g/25 plantas. Finalmente, la variedad White Boston mostró un rendimiento de 149.55 g/planta, produciendo en total 3738.75 g/25 plantas. De acuerdo a la prueba de Tukey de la Tabla 18, las tres variedades presentaron rendimientos estadísticamente diferentes. En la Tabla 23 se muestra un resumen de los rendimientos de las tres variedades de lechugas.

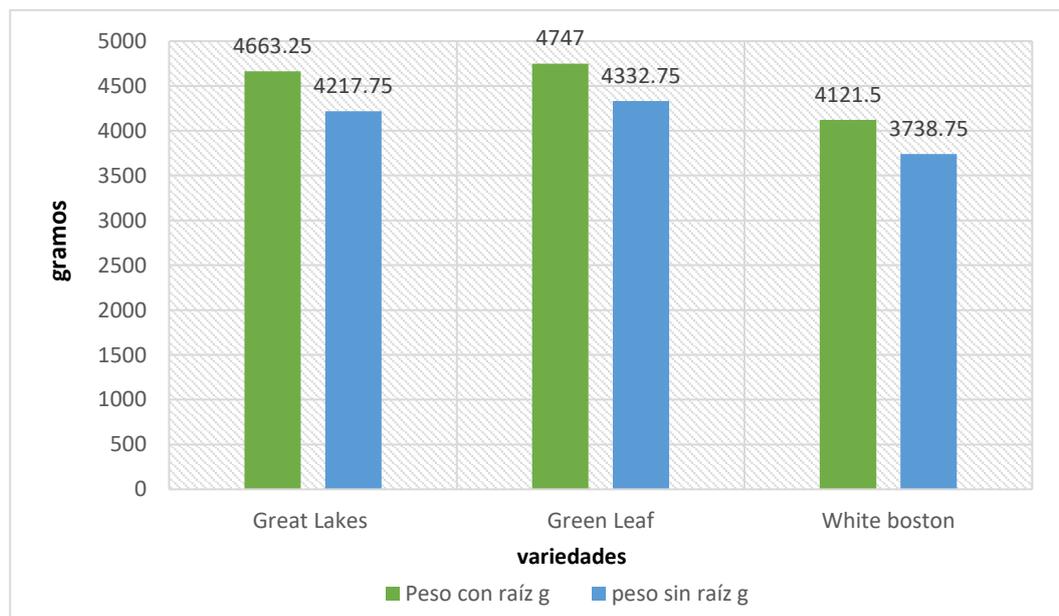
Tabla 23

Rendimiento de lechuga (g/25 plantas) por variedad en el sistema NFT vertical.

Peso de 25 plantas (g)	Variedades de Lechuga		
	Great Lakes	Green Leaf	White Boston
con raíz	4663.25	4747	4121.5
sin raíz	4217.75	4332.75	3738.75

Figura 10

Rendimiento de lechuga (g/25 plantas) por variedades en el sistema hidropónico NFT vertical.





4.2.2. Rendimiento de variedades de lechuga en el sistema hidropónico recirculante NFT horizontal

En la Tabla 14 se muestra los pesos promedios de plantas de lechuga con raíz, allí se puede observar que la variedad Green Leaf obtuvo un rendimiento de 300.43 g/planta en promedio de 25 plantas. Considerando el total de plantas de la variedad Green Leaf producidas en el sistema horizontal se obtuvo 7510.75 g/25 plantas, igualmente, la variedad Great Lakes presentó un rendimiento de 228.91 g/planta, estadísticamente diferente al rendimiento de la variedad Green Leaf, produciendo en total 5722.75 g/25 plantas. Finalmente, la variedad White Boston mostró un rendimiento de 204.69 g/planta, produciendo en total 5117.25 g/25 plantas y de acuerdo a la Tabla 14, la variedad White Boston muestra un rendimiento menor a las dos variedades anteriores con significación estadística.

En la Tabla 18 se puede observar los pesos promedios de las plantas de lechuga sin raíz, se observa que la variedad Green Leaf obtuvo un rendimiento de 280.60 g/planta en promedio de 25 plantas. Considerando el total de plantas de la variedad Green Leaf producidas en sistema horizontal, se tuvo 7015.00 g/25 plantas. igualmente, la variedad Great Lakes presentó un rendimiento de 212.12 g/planta, estadísticamente diferente al rendimiento de la variedad Green Leaf, produciendo en total 5303.00 g/25 plantas. Finalmente, la variedad White Boston mostró un rendimiento de 184.90 g/planta, produciendo en total 4622.50 g/25 plantas, el cual fue menor a las dos variedades anteriores con significación estadística.

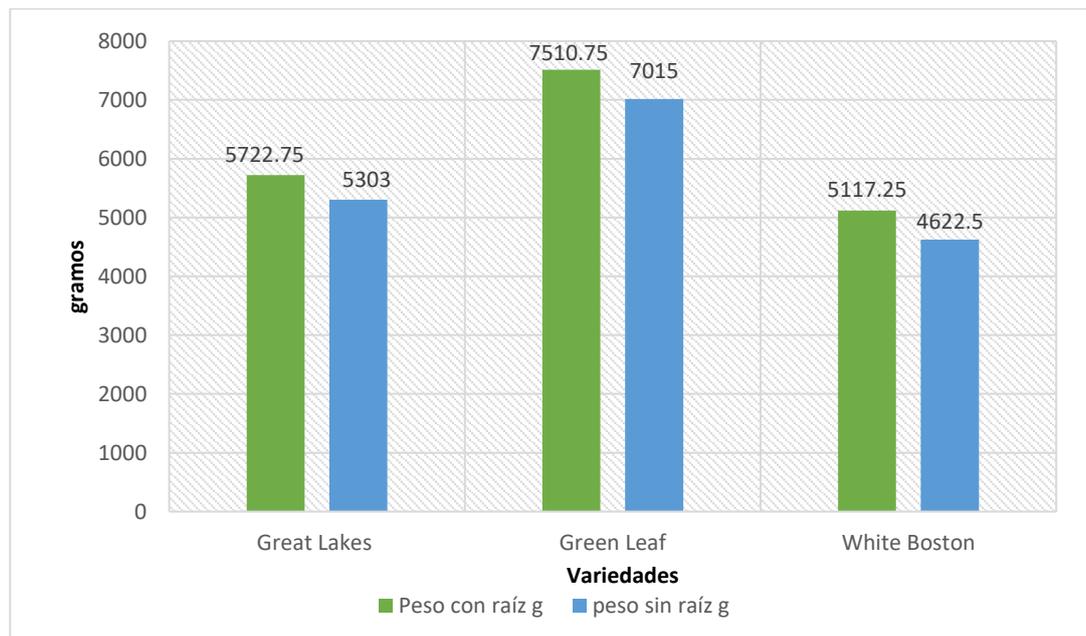
Tabla 24

Rendimiento de lechuga (g/25 plantas) por variedad en el sistema NFT horizontal

Peso de 25 plantas (g)	Variedades de Lechuga		
	Great Lakes	Green Leaf	White Boston
Peso con raíz	5722.75	7510.75	5117.25
peso sin raíz	5303	7015	4622.5

Figura 11

Rendimiento de lechuga (g/25 plantas) por variedad en el sistema hidropónico NFT horizontal.

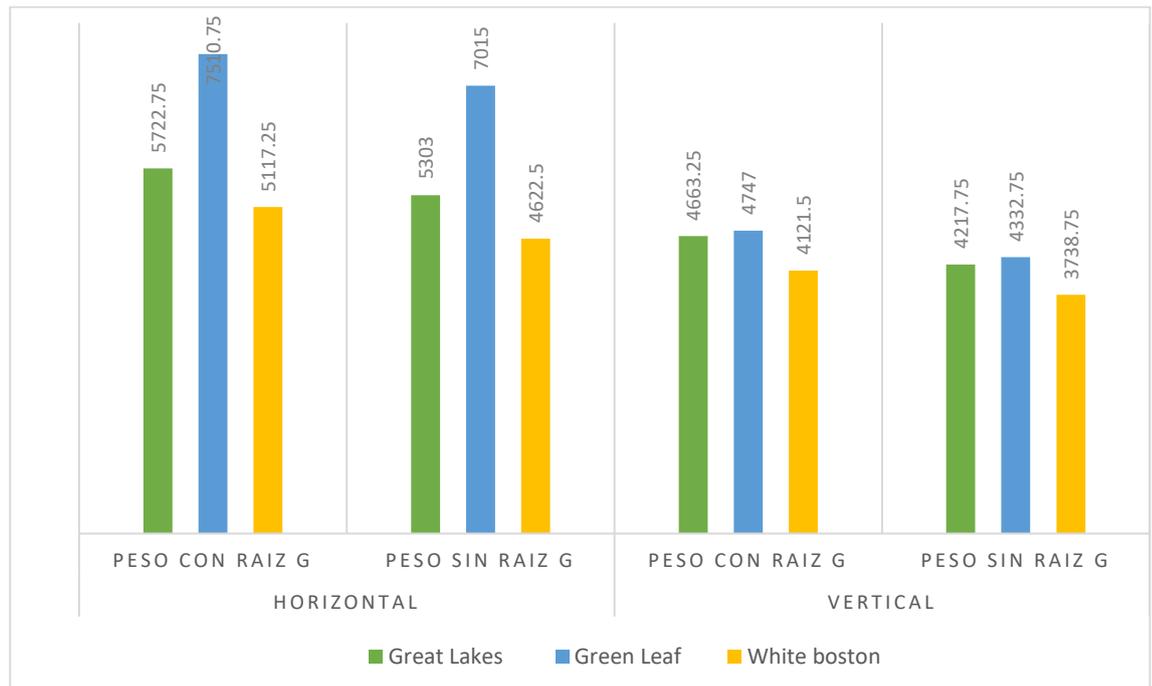


Según Pedraza, (2018) la solución FAO mostró el mayor rendimiento en peso fresco de lechuga con un promedio de 90 g, superando a las soluciones La Molina que registraron 64.66 g como resultado intermedio y 53.4 g como el menor promedio. En contraste, en el estudio de Rivera (2015), se encontraron variaciones en el peso fresco entre diferentes variedades de lechuga: White Boston destacó

con 166.296 g/planta, seguida por Grand Rapids TBR con 154.541 g/planta y Waldmann's Green con 150.354 g/planta.

Figura 12

Comparación de rendimiento de variedades de lechuga (g/25 plantas) en los dos sistemas hidropónicos recirculantes NFT.



4.3. COSTOS DE INVERSIÓN DEL MÓDULO NFT Y ANÁLISIS DE RENTABILIDAD.

El análisis de los costos del módulo NFT, con un total de 2195.49 soles, abarca desde la calidad del agua y la inversión en mano de obra y materiales, hasta los insumos necesarios y otros gastos adicionales. Además, incluye un 10% para gastos administrativos, como se muestra en el Anexo 1.

Tabla 25*Análisis comparativo de costo de producción y rentabilidad por variedades de lechuga.*

Variedad	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
White	Costo:	Costo:	Costo:	Costo:
Boston	S/. 2195.49	S/. 869.55	S/. 869.55	S/. 869.55
	Rentabilidad:	Rentabilidad:	Rentabilidad:	Rentabilidad:
	-59.42%	2.47%	2.47%	2.47%
Green Leaf	Costo: S/.	Costo:	Costo:	Costo:
	2195.49	S/. 869.55	S/. 869.55	S/. 869.55
	Rentabilidad:	Rentabilidad:	Rentabilidad:	Rentabilidad:
	-44.66%	39.73%	39.73%	39.73%
Great Lakes	Costo: S/.	Costo:	Costo:	Costo:
	2195.49	S/. 869.55	S/. 869.55	S/. 869.55
	Rentabilidad:	Rentabilidad:	Rentabilidad:	Rentabilidad:
	-55.73%	11.78%	11.78%	11.78%

4.3.1. Análisis de rentabilidad de lechuga variedad Great Lakes

El análisis de rentabilidad de la variedad Great Lakes 659 indica que, con una producción constante de 810 unidades en el sistema hidropónico recirculante NFT y un precio de venta de S/. 1.2 por unidad, se obtiene un valor bruto de la producción de S/. 972 cada año. En el primer año, el proyecto muestra una pérdida significativa, con un índice de rentabilidad de -55.73%, debido a los altos costos iniciales. Sin embargo, en los años 2, 3 y 4, la rentabilidad mejora, con un índice positivo de 11.78%, lo que sugiere una leve rentabilidad a partir del segundo año, aunque sigue siendo relativamente baja, como se detalla en el Anexo 3.



4.3.2. Análisis de rentabilidad de la lechuga variedad Green Leaf

El análisis de rentabilidad de la variedad Green Leaf muestra que, con una producción constante de 810 unidades en el sistema hidropónico recirculante NFT y un precio de venta de S/. 1.5 por unidad, se obtiene un valor bruto de la producción de S/. 1215 cada año. A pesar de este valor, el proyecto enfrenta una pérdida significativa en el primer año, con un índice de rentabilidad de -44.66%, debido a los altos costos iniciales. En los años siguientes, la rentabilidad mejora considerablemente, alcanzando un índice de 39.73%, lo que indica una buena rentabilidad en los años posteriores, como se detalla en el Anexo 4.

4.3.3. Análisis de rentabilidad de la lechuga variedad White Boston

El análisis de rentabilidad de la variedad White Boston muestra que, con una producción constante de 810 unidades en el sistema hidropónico recirculante NFT y un precio de venta de S/. 1.1 por unidad, se obtiene un valor bruto de la producción de S/. 891 cada año. Sin embargo, el proyecto enfrenta pérdidas significativas en el primer año, con un índice de rentabilidad de -59.42%, debido a los altos costos iniciales. En los años siguientes, la rentabilidad mejora ligeramente, alcanzando un índice de 2.47%, pero sigue siendo baja, lo que sugiere que el proyecto es apenas rentable a lo largo del tiempo, como se detalla en el Anexo 5.



V. CONCLUSIONES

- Con base en los objetivos establecidos y los resultados obtenidos, se llega a las siguientes conclusiones:
- En el sistema hidropónico NFT horizontal se obtuvo mayor rendimiento de lechuga con 5881.875 g/25 plantas, en relación al sistema hidropónico recirculante NFT vertical en el que se obtuvo 4303.5 g/25 plantas.
- En relación al rendimiento, la variedad de lechuga de mayor rendimiento fue Green Leaf tanto en el sistema hidropónico recirculante NFT horizontal, con 7510.95 g/25 plantas (con raíz) y 7015.00 g/25 plantas (sin raíz), como en el sistema vertical con 4747.10 g/25 plantas (con raíz) y 4332.75 g/25 plantas (sin raíz).
- El análisis de rentabilidad de producción de lechuga mostró valores negativos en el primer año de producción, debido a los altos costos iniciales, sin embargo, en los siguientes años mostró valores positivos; así, las variedades Green Leaf, Great Lakes y White Boston mostraron índices de rentabilidad de 39.72%, 11.78% y 2.46%, respectivamente.



VI. RECOMENDACIONES

- Para maximizar los rendimientos en sistemas hidropónicos NFT, se recomienda utilizar la estructura horizontal junto con la variedad Green Leaf. Esta combinación ha demostrado ofrecer resultados destacados en términos de peso y productividad por metro cuadrado, lo que puede aumentar la eficiencia y rentabilidad del cultivo hidropónico.
- Se recomienda realizar estudios adicionales, en particular, sería valioso investigar el uso de humus o biol como alternativas a las soluciones nutritivas convencionales, evaluando su impacto en la asimilación de nutrientes, el crecimiento de las plantas y la calidad de la cosecha.
- Se recomienda realizar investigaciones comparativas entre las soluciones nutritivas tradicionales y las formuladas por Molina para determinar su eficacia relativa y así identificar las prácticas más eficientes y sostenibles para la agricultura hidropónica.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ávila, E. (2015). *Manual Lechuga*. In Luis Felipe Fonseca Vasco (Ed.), *Cámara de Comercio de Bogotá*. <http://hdl.handle.net/11520/14316>
- Barrios, N. (2004). *Evaluación del cultivo de la lechuga, Lactuca sativa L. bajo condiciones hidropónicas en Pachalí, San Juan Sacatepéquez, Guatemala*. 30. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2071.pdf
- Bazan, A., Carranza, G., Dellepiane, S., Obregón, J., & Pupuche, J. (2021). *Diseño de sistemas hidropónicos modulares para los hogares de la ciudad de Piura*. Universidad de Piura.
- Beltrano, J., & Gimenez, D. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Cultivo En Hidroponía, 181. <https://doi.org/10.35537/10915/46752>
- Brenes, L., & Jimenez, M. (2014). *Manual de producción hidropónica para hortalizas de hoja en sistema NFT (Nutrient Film Technique)*. Tecnológico de Costa Rica, 26.
- Breta, G. (2010). *La Lechuga Manual para su cultivo en agricultura ecologica*.
- Cajo, A. (2016). *Producción hidropónica de tres variedades de lechuga (Lactuca sativa l), bajo el sistema NFTG, con tres soluciones nutritivas* [Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ciencias Agropecuarias Carrera de Ingeniería Agronómica]. [http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/23421/1/Tesis-136 Ingeniería Agronómica -CD 413.pdf](http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/23421/1/Tesis-136%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20413.pdf)
- Callisaya, P. (2016). *Evaluación de dos variedades de acelga (beta vulgaris var. cicla l.), bajo tres niveles de fertilizante foliar orgánico en sistema hidropónico nft, en cota cota* [Universidad Mayor de San Andrés Facultad de Agronomía Carrera de Ingeniería Agronómica.]. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/10343/T-2324.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carlos, A., Alvares, S., Maradiaga, C., & Molina, N. (2018). Producción de lechuga con buenas prácticas agrícolas. *Uia Técnica N° 2*, 2(0), 1–48.



- Carpio, L., & Gonzalo, A. (2019). *Estudio de factibilidad de la implementación de una planta para la producción de lechuga en invernadero con sistema nutrient film technique vertical*. 156.
- Castañares, J. (2020). ABC de la Hidroponia. *Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca Argentina, 1*, 1–15.
https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/8023/INTA_DireccionNacional_EEAAMBA_Castañares_JL_ABC_de_la_hidroponia.pdf?sequence=1
- Catata, L. (2015). *Comparativo de variedades de lechuga (Lactuca sativa L.) y soluciones nutritivas en cultivo hidropónico, en sistema "NFT" tipo piramidal, bajo condiciones de invernadero en Arequipa*. (Issue Tesis) [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa Facultad Agronomía].
<file:///D:/bibliografia/CATATA 11.pdf>
- Condor, D., & Romero, F. (2023). *Desarrollo de la lechuga (Lactuca sativa L.) por hidroponía con diferentes soluciones nutritivas*. 164.
- Cussi, M. (2018). *Determinación del caudal mínimo de riego para la producción óptima de lechuga (lactuca sativa L.) en un sistema N.F.T. en la ciudad de el Alto, la Paz*. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. Universidad Mayor de San Andrés Facultad de Agronomía Carrera de Ingeniería Agronómica.
- DGCA. (2013). *principales aspectos agroeconomicas de la cadena productiva de Lechuga. Lima, Peru* (1ra ed.).
- FAO. (2003). *Manual practico de huerta hidropónica popular*. In Izquierdo Juan (Ed.), *FAO* (Tercera ed, Vol. 3). <http://www.fao.org/3/a-ah501s.pdf>
- Favela, E., Preciado, P., & Benavides, A. (2006). *Soluciones nutritivas*. In *Cultivos sin Suelo*.
- Flores, M. (2023). *Efecto de tres alturas de suspensión para la aireación en tres densidades de trasplante para la producción hidropónica de lechuga (lactuca sativa L.) en el centro experimental de Cota Cota*. Universidad Mayor De San Andres Facultad De Agronomia Carrera De Ingeniería Agronómica.



- Gilsanz, J. C. (2007). Hidroponia. *Hidropinia*, 32.
- Gutierrez, I. (2023). *Producción Hidropónica vertical de lechuga (Lactuca sativa L.) utilizando abono de cuy (Cavia porcellus) y cerdo (Sus scrofa domesticus) en condiciones controladas* [Universidad Nacional del Altiplano Facultad de Ciencias Biológicas Escuela Profesional de Biología]. In *Tesis*.
http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza_Mamani_Joel_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Izquierdo Juan. (2003). *¿Que es la Hidroponía? Oficina Regional de La FAO Para América Latina y El Caribe*, 1–4.
http://www.ceibal.edu.uy/contenidos/areas_conocimiento/cs_sociales/fao/hidroponia.pdf
- Japon, J. (2015). *La Lechuga. Hojas Divulgadoras Del Ministerio de Agricultura*, 10, 21. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1977_10.pdf
- Jaramillo, J., Aguilar, P., Espitia, E., Julian, T., Argüello, O., & Guzmán, M. (2014). *Modelo tecnologico para el cultivo de lechuga en el Oriente Antioqueño*.
- Lardizabal, R. (2014). Manual de produccion de lechuga. *Usaid_Acceso*, 1, 1–46.
- Marhuenda, J., & García, J. (2016). *cultivos horticulas al aire libre* (Cajamar Ca).
<https://www.floresyplantas.net/wp-content/uploads/libro-cultivos-horticolas-al-aire-libre.pdf>
- Mendoza, M. (2017). *Cultivo de Lechuga (Lactuca sativa L.) Hidroponía en sistema recirculante “NFT” Tipo Piramidal con tres niveles de aireación* [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Agronomía, Escuela Profesional de Agronomía]. file:///D:/bibliografia/arequipa 20117.pdf
- MINAGRI. (2017). *Requerimientos Agroclimáticos del cultivo de cebolla - SENAMHI, Peru. Ficha Tecnica N° 17*.
- Montero, J. (2014). *Hidroponía Básica: El cultivo fácil y rentable de plantas sin tierra’ (PRIMERA)*.
- Morales, J. (2019). *Evaluación del cultivo de lechuga hidropónica (Lactuca sativa L) en raíz flotante bajo diferentes soluciones. Universidad Estatal Península de Santa*



Elena, 1–55.

- Pairo, L. (2017). *Evaluación de seis variedades de lechuga, (lactuca sativa l.) cultivadas con el sistema hidropónico recirculante NFT en el centro experimental de Cota Cota* [Universidad Mayor de San Andres Facultad de Agronomía Carrera de Ingeniería Agronomica]. file:///D:/bibliografia/tesis 2015 bolivia.pdf
- Paye, M. (2022). *Eficiencia de un sistema acuapónico de trucha arco iris (oncorhynchus mykiss) para el cultivo de lechuga (lactuca sativa) en Ollaraya, región Puno. TESIS, 182.*
<http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/1073%0Ahttp://www.unjbg.edu.pe/institucion/historia.php>
- Pedraza, W., & Perez, E. (2018). *Estudio De Factibilidad Para La Producción De Lechuga Hidropónica En La Ciudad De Cutervo, Provincia De Cutervo, Departamento De Cajamarca.* 175.
<http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/3424/BC-TES-TMP-2247.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramires, G. (2017). *Manual de curso práctico de hidroponía. 1*, 64. folder de 1935s
- Resh, H. (1997). *Cultivos hidropónicos.*
- Rivera, N. (2015). *Evaluación de tres variedades de lechuga (Lactuca sativa L.) cultivadas con la técnica hidrónica 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.]. file:///D:/EXCEL profesional/withi boston eso sin raiz.pdf
- Saavedra, G., Corradini, F., Antúnez, A., Felmer, S., Estay, P., & Sepúlveda, P. (2017). *Manual de producción de Lechuga. Manual de Producción de Lechuga Instituto de Desarrollo Agropecuario - Instituto de Investigaciones Agropecuarias Boletín*, 153.
- Salinas, C. (2013). *Introducción de cinco variedades de lechuga (Lactuca sativa L.) en el barrio de Snta Fé de la parroquia Atahualpa en el cantón Ambato. Universidad Técnica de Ambato*, 74.



<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6491/1/Tesis-63> Ingeniería Agronómica -CD 204.pdf

Soria, J. (2022). “*Comparativo de variedades de Lactuca sativa L. en el comportamiento en hidroponía, Loreto*” [Universidad Nacional la Amazonia Peruana Facultad de Agronomía Escuela Profesional de Ingeniería en Gestión Ambiental]. [file:///D:/bibliografia/iqitos 2022.pdf](file:///D:/bibliografia/iqitos%2022.pdf)

Soto, F. (2015). *Hidroponía familiar en sustrato : Hágalo fácil Sembrando hortalizas, cosechando salud Manual práctico*.
<https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10809.pdf>

Spinelli, L. (2014). *Curso inicial de hidroponía* (primera, p. 53).
<https://planetavivo360.com/wp-content/uploads/2022/03/Material-Curso-de-Hidroponia.pdf>

Sumarriva, L., Castro, A., Sotelo, A., & Chávez, N. (2019). *Evaluación biológica de proteína, vitaminas, minerales y aminoácidos del alga comestible Ulva lactuca “lechuga de mar” del litoral peruano*. In *Revista de la Sociedad Química del Perú* (Vol. 85, Issue 1, pp. 31–42).

Valdez, J. (2015). “*Estudio de factibilidad para la producción de lechuga hidropónica por el método NFT en la ciudad de Arequipa 2013.*” 248.

W, G. (2010). *Manual de formación*. 44.

Yauricasa, J. (2019). *Producción de fresa (Fragaria x ananassa Duch.) en dos sistemas de hidroponía bajo cobertura plástico* [Universidad Nacional de Huancavelica Facultad de Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Agronomía]. In *Repositorio Institucional - UNH*.
[http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2755%0Ahttps://repositorio.unh.edu.p
e/bitstream/handle/UNH/1655/T.A. CHAVEZ Y
ORTIZ.pdf?sequence=1&isAllowed=Y](http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2755%0Ahttps://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/1655/T.A.%20CHAVEZ%20Y%20ORTIZ.pdf?sequence=1&isAllowed=Y)

Zárate, M. (2014). *Manual práctico de hidroponía*. Sagarpa, 42.
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232367/Manual_de_hidroponi
a.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232367/Manual_de_hidroponia.pdf).



ANEXOS

ANEXO 1. Costo de producción e instalación del prototipo del sistema hidropónico.

COSTO DE INSTALACIÓN DEL PROTOTIPO Y PRODUCCION DE LECHUGA.					
CULTIVO: Lechuga			TIPO DE CULTIVO: Anual		
VARIEDAD: Great Lakes, Great Lake, White Boston			Rendimiento cabezas (33 días):		
NIVEL TECNOLÓGICO: Medio-Alto					
N°	Actividad	UNIDAD MEDIDA	CANT.	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL (s/.)
I. COSTOS DIRECTOS (Variable)					
1	Análisis de Agua				
	Análisis físico- químico de Agua	Análisis	1	60	60.00
Sub total					60.00
A MANO DE OBRA					
1	Construcción de la estructura				
	Limpieza del invernadero y mantenimiento	Jornal-H	3	45.00	135.00
	Abertura del pozo para el cilindro	Jornal-H	1	45.00	45.00
	Armado de Sistema hidropónico	Jornal-H	2	45.00	90.00
	Siembra y trasplante	Jornal-H	3	45.00	135.00
	Cosecha	Jornal-H	4	45.00	180.00
Sub total					585.00
2	Materiales				
	Tubo de 4"x3 m PVC	Unidad	10	21.50	215
	Tapone 4" hembra	Unidad	20	3.00	60
	Tubo 2"x3 m PVC	Unidad	3	10.80	32.4
	Tapones 2" hembra	Unidad	2	1.50	3
	Tuvo 1"x5 m roscado	Unidad	1	30.00	30
	Tapón de 1"	Unidad	1	1.50	1.5
	Unión Universal PVC 1"	Unidad	3	9.00	27
	Codo 2"x 90°	Unidad	2	2.50	5
	Codo 1"x 90°	Unidad	3	2.50	7.5
	Unión Tee 2"	Unidad	1	3.00	3
	Unión Tee 1"	Unidad	1	2.00	2
	Válvula de aire	Unidad	1	38.00	38
	Llave de paso PVC 1"	Unidad	1	5.00	5
	Motor Eléctrico Monofásico De 1/2 Hp	Unidad	1	165.00	165
	Manguera	Metros	7	3.00	21



	Cintas de 3"x 2"x 3m	Unidad	15	10.00	150
	Clavo de 6"	Kg	1	8.00	8
	Temporizador digital	Unidad	1	75.000	75
	Cilindro de polietileno	Unidad	1	150.000	150
3	Sub total				998.4
OTROS MATERIALES E INSUMOS					
Insumos					
	Semilla de lechuga	Unidad	6	9.00	54.00
	Nutriente A	Kg/ha	1	20.00	20.00
	Nutriente B	Kg/ha	1	20.00	20.00
	Insecticida Lannate 90	Unidad	1	10.00	10.00
Otros					
	Esponja	Unidad	2	10.00	20.00
	Vaso descartable	Unidad	3	2.50	7.50
	Tecnopor	Unidad	1	8.00	8.00
	Plástico	Metros	8	5.00	40.00
	Bandeja de germinación	Unidad	1	32.00	32.00
	Pintura blanca	Litro	1	30.00	30.00
	Tiñer	Litro	1	12.00	12.00
	cable	Metros	10	2.50	25.00
	Teflón 3/4	Unidad	3	7.00	21.00
	kit de herramientas	Unidad	1	45.00	45.00
	Aspersor	Unidad	1	5.00	5.00
	Adaptador	Unidad	2	1.50	3.00
	Sub total				352.50
4	TOTAL, COSTO DIRECTOS				1,995.90
COSTOS INDIRECTOS (Fijo)					
	Gastos administrativos	10%			199.59
					199.59

ANEXO 2. Costos de producción de lechuga del segundo año.

Nº	ACTIVIDAD	UNIDAD MEDIDA	CANT	COSTO UNITARI O	COSTOS TOTALES (S/.)
I.	COSTOS DIRECTOS (variable)				
A	MANO DE OBRA				
1	Mantenimiento del sistema				
	Limpieza del invernadero y sistema	Jornal-H	3	45.00	135.00
	Mantenimiento del sistema	Jornal-H	2	45.00	90.00
	Siembra	Jornal-H	2	45.00	90.00



	Trasplante	Jornal-H	2	45.00	90.00
	Cosecha	Jornal-H	4	45.00	180.00
				Sub total	585.00
Nº	ACTIVIDAD	UNIDAD MEDIDA	CANT	COSTO UNITARIO	COSTOS TOTALES S (S/.)
2	OTROS MATERIALES				
	Insumos				
	Semilla de lechuga	Unidad	3	9.00	27.00
	Nutriente A	Kg/ha	1	20.00	20.00
	Nutriente B	Kg/ha	1	20.00	20.00
	Insecticida Lannate 90	Unidad	1	10.00	10.00
	Otros				
	Esponja	Unidad	2	10.00	20.00
	Vaso descartable	Unidad	3	2.50	7.50
	Tecnopor	Unidad	1	8.00	8.00
	Plástico	Metros	8	5.00	40.00
	Bandeja de germinación	Unidad	1	32.00	32.00
	Teflón 3/4	Unidad	3	7.00	21.00
				Sub total	205.50
	TOTAL, COSTO DIRECTOS				790.50
	COSTOS INDIRECTOS (Fijo)				
	Gastos administrativos	10%			79.05
	TOTAL, COSTO INDIRECTOS				79.05

ANEXO 3. Análisis de rentabilidad de la variedad Great Lakes.

Análisis de Rentabilidad de la Variedad Great Lakes					
		1 año	2 año	3 año	4 año
1. Valoración de la cosecha		S/.	S/.	S/.	S/.
- Rendimiento probable por (U/m ²)		810	810	810	810
- Precio promedio de Ventas (s/. X Unidad.)		1.2	1.2	1.2	1.2
- Valor bruto de la producción	VBP =	972	972	972	972
2. Análisis de rentabilidad					
- Costo directo	CD=	1995.9	790.5	790.5	790.5
- Costo indirecto	CI=	199.59	79.05	79.05	79.05
- Costo total de producción	CTP=	2195.49	869.55	869.55	869.55
- Valor bruto de la producción	VBP =	972	972	972	972
- Utilidad bruta de la producción	UB=VBP-CD	-1023.9	181.5	181.5	181.5
- Utilidad neta de la producción	UN= VBP-CTP	-1223.49	102.45	102.45	102.45
- Índice de rentabilidad (%)	IR=(VBP-CTP) *100/CTP	-55.72	11.78	11.78	11.78

ANEXO 4. Análisis de rentabilidad de la variedad Green Leaf.

Análisis de rentabilidad de la variedad Green Leaf					
		1 año	2 año	3 año	4 año
1. Valoración de la cosecha		S/.	S/.	S/.	S/.
-Rendimiento probable por (U/m ²)		810	810	810	810
-Precio promedio de ventas (s/. X Unidad.)		1.5	1.5	1.5	1.5
-Valor bruto de la producción VBP =		1215	1215	1215	1215
2 Análisis de rentabilidad					
-Costo directo CD=		1995.9	790.5	790.5	790.5
-Costo indirecto CI=		199.59	79.05	79.05	79.05
-Costo total de Producción CTP=		2195.49	869.55	869.55	869.55
-Valor bruto de la Producción VBP =		1215	1215	1215	1215
-Utilidad bruta de la Producción UB=VBP-CD		-780.9	424.5	424.5	424.5
-Utilidad neta de la Producción UN= VBP-CTP		-980.49	345.45	345.45	345.45
Indicé de rentabilidad (%) IR=(VBP-CTP) *100/CTP		-44.65	39.72	39.72	39.72

ANEXO 5. Análisis de rentabilidad de la variedad White Boston.

Análisis de rentabilidad de la variedad White Boston					
		1 año	2 año	3 año	4 año
1 Valoración de la cosecha		S/.	S/.	S/.	S/.
Rendimiento probable por (U/m ²)		810	810	810	810
Precio promedio de ventas (s/. X Unidad.)		1.1	1.1	1.1	1.1
Valor bruto de la producción VBP =		891	891	891	891
2 Análisis de rentabilidad					
-Costo directo CD=		1995.9	790.5	790.5	790.5
-Costo indirecto CI=		199.59	79.05	79.05	79.05
-Costo total de producción CTP=		2195.49	869.55	869.55	869.55
-Valor bruto de la producción VBP =		891	891	891	891
-Utilidad bruta de la producción UB=VBP-CD		-1104.9	100.5	100.5	100.5
-Utilidad neta de la producción UN= VBP-CTP		-1304.49	21.45	21.45	21.45
-Indicé de rentabilidad (%) IR=(VBPCTP) *100/CTP		-59.41	2.46	2.46	2.46



ANEXO 6. Datos del monitoreo de la conductividad eléctrica.

Monitoreo Inter diario de Conductividad Eléctrica.							
Días	1	2	3	4	5	6	7
CE	0.21	0.3	0.5	1	1.1	1.5	2

ANEXO 7. Datos del monitoreo de la pH.

Monitoreo Inter diario de pH.																
Días	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
pH	6.5	7.31	7.2	7.15	7.2	7	6.99	6.9	6.88	6.71	6.6	6.56	6.58	6.5	6.49	6.44

ANEXO 8. Monitoreo semanal de temperaturas (mañana, medio día, tarde)

Monitoreo semanal de temperaturas °C			
Semanas	Mañana	Medio día	Tarde
1	12	28	13
2	14	26	14
3	14	28	12
4	13	25	15
5	15	27	15
6	14	28	14
7	16	26	10
8	13	25	12
9	12	28	11
10	15	29	13
Suma Total	138	270	129
Promedio	13.8	27	12.9



ANEXO 9. Análisis físico- químico de agua de Huajje.



RESULTADO DE ANÁLISIS

ASUNTO: ANALISIS FISICO- QUIMICO DE AGUA

PROCEDENCIA : HUAJJE - PUNO
INTERESADO : MAGALY CRUZ SONCCO
MOTIVO : ANALISIS FÍSICO - QUÍMICO
FECHA DE MUESTREO : 05/10/2023 (por la interesado)
FECHA DE ANALISIS : 05/10/2023.

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS:

	M1
aspecto	Líquido
color	Incoloro
olor	Aceptable
sabor	Aceptable

CARACTERÍSTICAS FISICOS:

		M1
pH		6.5
C.E.	mS/cm	0.21
T°,C°		14.15

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:

Dureza total (como CaCO ₃)	mg/L	129.20
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/L	33.27
Cloruros (como Cl ⁻)	mg/L	12.76
Sulfatos (como SO ₄ ⁻²)	mg/L	91.00
Calcio (como Ca ⁺⁺)	mg/L	18.24
Nitratos (como NO ₃ ⁻)	mg/L	0.01
Magnesio (como Mg ⁺)	mg/L	20.0
Solidos Disueltos Totales	g/L	0.11

INTERPRETACION:

El agua analizada es en iones líquido por lo tanto los resultados serán interpretados en el área correspondiente.

Dr. Evaristo Mamani Mamani
 ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUAS
 PLANTAS, ORNAMENTALES, ALIMENTOS Y FERTILIZANTES

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 JEFATURA
 PUNO - PERU
 Dr. Sc. Evaristo Mamani Mamani
 JEFE DE LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS



ANEXO 10. Análisis de semilla en laboratorio de análisis de semilla UNA- PUNO.

*Universidad Nacional del Altiplano - Puno*
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Av. Floral N° 1153, C.U. Telf. (051) 599430 - 366080 Casilla 291 e-mail: fca@unap.edu.pe



LABORATORIO DE ANALISIS DE SEMILLAS

INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE
Apellidos y nombres: Cruz Soncco, Magaly
Procedencia: Hortus- Juliaca
Fecha de ingreso: 18/12/2023
Especie: Lechuga (*Lactuca sativa*)
Cultivar: Great Lake, Green leafe, White Boston
Categoría: sin especificar
Lote: sin especificar

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA
Especie: Lechuga
Peso del lote: sobres (2.5g)
Nombre del muestreador: Cruz Soncco, Magaly

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO
Institución: Universidad Nacional del Altiplano
Facultad: Ciencias Agrarias
Escuela Profesional: Ingeniería Agronómica
Laboratorio: Laboratorio de análisis de semillas

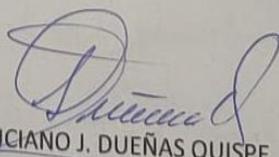
RESULTADOS

Número del lote	Análisis de pureza (%)			Prueba de germinación (%)		
	Semilla pura	Otras semillas	Material inerte	Plántulas normales	Plántulas anormales	Semillas no germinadas
Great Lake	99.9	0.1	0	95	2	3
Green leafe	99.7	0.3	0	92	3	5
White Boston	99.9	0.1	0	90	4	6

Observaciones: ninguna

Puno, C. U. 15 de enero de 2024.


Jefe SATUBRINO MARCA VILCA M.Sc.
Jefe de Laboratorio de análisis de semillas


LUCIANO J. DUEÑAS QUISPE
Técnico Lab. de análisis de semillas

ANEXO 11. Elaboración del prototipo y construcción del sistema vertical y horizontal



ANEXO 12. Preparación de la poza de agua.



ANEXO 13. Se realizo los orificios de 6 cm de diámetro.



ANEXO 14. Instalación del sistema NFT vertical y horizontal.



ANEXO 15. Instalación del sistema de riego y programación con temporizador.



ANEXO 16. Distribución del sistema de riego en el sistema NFT y llenado de agua



ANEXO 17. Preparación de sustrato y siembra de semillas en almacigo



ANEXO 18. Germinación de las primeras plántulas y plántulas pasado los 20 días.



ANEXO 19. Trasplante en el sistema de raíz flotante en esponjas.



ANEXO 20. Preparación de solución nutritiva e incorporación al sistema flotante.



ANEXO 21. Plántulas 18 días después del primer trasplante.



ANEXO 22. Trasplante en sistema NFT vertical y horizontal.



ANEXO 23. Preparación e incorporación a la poza de agua y control de C.E y pH.



ANEXO 24. Cosecha en sistema NFT vertical y horizontal.



ANEXO 25. Evaluación de todos los parámetros en el laboratorio.





ANEXO 26. Declaración jurada de autenticidad de tesis.



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo MAGALY CRUZ SONCCO
identificado con DNI 70970589 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERÍA AGRONÓMICA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“PRODUCCIÓN DE LECHUGA (Lactuca sativa L.) EN SISTEMA
HIDROPÓNICO RECIRCULANTE NET EN FORMA HORIZONTAL
Y VERTICAL, EN INVERMADERO - PUNO”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 13 de agosto del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



ANEXO 27. Autorización para el repositorio de tesis en el repositorio institucional.



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Magaly Cruz Soncco,
identificado con DNI 70970589 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA AGRÓNOMICA
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ PRODUCCIÓN DE LECHUGA (Lactuca sativa-L) EN SISTEMA
HIDROPÓNICO RECIRCULANTE NFT EN FORMA HORIZONTAL
Y VERTICAL, EN INVERNADERO - PUNO. ”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 13 de agosto del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella