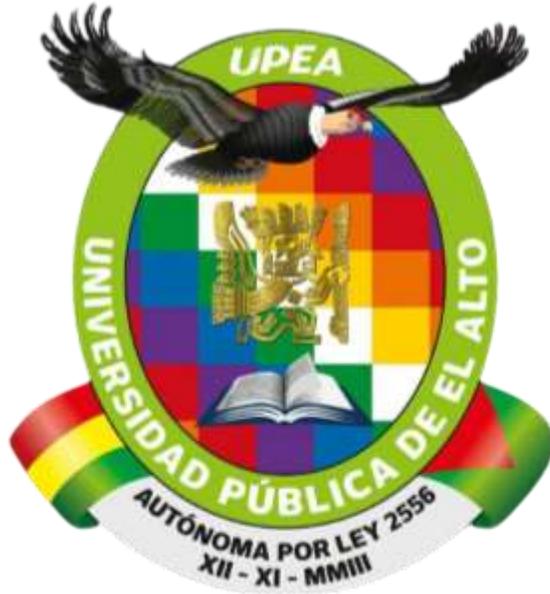


**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y
RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE DOS NIVELES DE NPK EN
UNA SOLUCIÓN NUTRITIVA EN EL CULTIVO DE LECHUGA
(*Lactuca sativa* L.) BAJO INVERNADERO EN UN SISTEMA NFT EN
LA ZONA BAUTISTA SAAVEDRA H. DEL MUNICIPIO DE EL ALTO**

Por:

Diana Miriam Huanca Mamani

EL ALTO – BOLIVIA

Diciembre, 2024

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE DOS NIVELES DE NPK EN UNA SOLUCIÓN
NUTRITIVA EN EL CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) BAJO INVERNADERO
EN UN SISTEMA NFT EN LA ZONA BAUTISTA SAAVEDRA H. DEL MUNICIPIO DE EL
ALTO**

*Tesis de Grado presentado
como requisito para optar el Título de
Ingeniera Agrónoma*

Diana Miriam Huanca Mamani

Asesores:

M. Sc. Lic. Ing. Raúl Ramiro Ochoa Torrez

Ing. Cosme Huanca Chui

Tribunal Revisor:

Lic. Ing. Graciela Deicy Quispe Cabrera

M. Sc. Lic. Ing. Luis Fernando Machicao Terrazas

M. Sc. Lic. Ing. Ciro Raúl Quiape Callocosi

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador

DEDICATORIA:

Dedico esta tesis primeramente a Dios que me dio la sabiduría, confió en mí y me regalo estos años de vida, quien inspiró mi espíritu para la conclusión de esta investigación.

A mi madre, a quien admiro y amo con todo mi corazón, le agradezco por su apoyo incondicional y por enseñarme a siempre mirar hacia adelante.

A mi padre, a quien siempre admiraré y amaré con todo mi corazón, le agradezco por los valores que me enseñó. Su legado de unión familiar, perseverancia en la lucha por nuestros sueños y la fortaleza para siempre mirar hacia adelante, seguirán guiando mi vida. Aunque ya no esté físicamente conmigo, su ejemplo y enseñanzas perdurarán siempre en mi corazón.

A mi esposo y mejor amigo Luis Alberto con todo cariño, a quien amo profundamente, por su apoyo incondicional en los momentos más difíciles cuando parecía que me iba a rendir, siendo la única persona que me conoce en realidad.

A mi querido hijo Mateo, por su amor infinito e incondicional, por ser mi punto de motivación e inspiración para superarme.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Pública de El Alto por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

De igual manera, agradezco a la carrera de Ingeniería Agronómica de la UPEA por brindarme los conocimientos que en el futuro me serán muy útiles, por proporcionar ambientes de estudio adecuados y, sobre todo, por hacer posible mi formación académica.

A mi docente de taller de grado II, Ing. Ramiro Ochoa por su comprensión y dedicación, quien, con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mi trabajo de investigación con éxito.

A todos mis estimados catedráticos de la carrera de Agronomía, les agradezco por compartir sus enseñanzas, experiencias y conocimientos, así como por inculcarme valores humanos. También agradezco los momentos de alegría y reflexión.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Ing. Cosme Huanca Chui por su apoyo, confianza en mi trabajo y su capacidad para guiar mis ideas. Le agradezco también el haberme facilitado los medios suficientes para llevar a cabo las actividades propuestas durante el desarrollo de esta tesis.

Doy las gracias a aquellos que participaron conmigo en la realización de esta tesis. En verdad, fue un proceso tan largo que, a veces, parecía interminable. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS.....	i
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
ABREVIATURAS	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvii

ÍNDICE DE TEMAS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivo	2
1.3.1. Objetivo general.....	2
1.3.2. Objetivos específicos	2
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. El cultivo de Lechuga.....	3
2.1.1. Origen de la Lechuga.....	3
2.1.2. Generalidades del cultivo de Lechuga.....	3
2.1.3. Taxonomía	4
2.1.4. Morfología	4
2.1.5. Variedades del cultivo de Lechuga.....	4
2.1.6. Enfermedades del cultivo de Lechuga.....	5
2.1.7. Principales plagas que afectan al cultivo de Lechuga	6
2.2. Hidroponía	6

2.2.1.	Ventajas de un sistema hidropónico.....	7
2.2.2.	Desventajas de un sistema hidropónico.....	7
2.3.	La hidroponía en Bolivia.....	7
2.4.	Tipos de Sistemas hidropónicos.....	8
2.4.1.	Sistema hidropónico de raíz flotante.....	8
2.4.2.	Sistemas hidropónicos de columnas.....	8
2.4.3.	Sistema hidropónico de canaletas suspendidas.....	9
2.4.4.	Técnica de cultivo con flujo laminar de nutrientes (NFT).....	9
2.5.	Soluciones nutritivas utilizadas en Hidroponía.....	12
2.6.	Parámetros de la solución nutritiva.....	12
2.6.1.	pH de la solución nutritiva.....	12
2.6.2.	Conductividad eléctrica de la solución nutritiva.....	12
2.6.3.	Temperatura de la solución nutritiva.....	13
2.6.4.	Contenido de oxígenos disueltos en la solución nutritiva.....	13
2.7.	Calidad de agua.....	14
2.8.	Software Hidrobuddy.....	14
2.9.	Duración y cambio de la solución nutritiva.....	14
2.10.	Nutrición de la planta.....	14
2.10.1.	Macro elementos esenciales en la planta.....	15
2.10.1.1.	Nitrógeno en la planta.....	15
2.10.1.2.	Fosforo en la planta.....	16
2.10.1.3.	Potasio en la planta.....	16
2.11.	Estudio realizado en niveles de Nitrógeno en Sistema NFT en solución nutritiva 17	
2.12.	Estudios realizados en niveles de Potasio en un Sistema NFT en solución nutritiva 18	
2.13.	Estudios realizados en niveles de Nitrógeno, Fosforo, Potasio en un Sistema NFT en solución nutritiva en el cultivo de Lechuga.....	18

2.14.	Estudios realizados en niveles de Nitrógeno, Fosforo, Potasio en Aeroponia en solución nutritiva en el cultivo de Tomate	19
3.	MATERIALES Y MÉTODO	20
3.1.	Localización	20
3.1.1.	Ubicación Geográfica	20
3.1.2.	Características climáticas de la zona de investigación	21
3.2.	Materiales	21
3.2.1.	Material de estudio	21
3.2.2.	Material de laboratorio	21
3.2.3.	Material de campo	22
3.2.4.	Materiales químicos	23
3.2.5.	Materiales para el control fitosanitario	23
3.2.6.	Material de escritorio	23
3.3.	Metodología	24
3.3.1.	Desarrollo de la investigación	24
3.3.2.	Acondicionamiento y limpieza del Invernadero	25
3.3.3.	Preparación de sustratos	25
3.3.4.	Siembra	26
3.3.5.	Formulación de solución nutritiva	27
3.3.6.	Preparación de Solución Nutritiva	28
3.3.7.	Calibración de equipos	29
3.3.8.	Titulaciones	29
3.3.9.	Corrección de la conductividad eléctrica y total de solidos disueltos en bandejas flotantes y sistema NFT	30
3.3.10.	Programación del temporizador	30
3.3.11.	Trasplante	30
3.3.12.	Monitoreo del cultivo	31

3.3.13.	Monitoreo de la solución nutritiva en bandejas flotantes y sistema NFT	32
3.3.14.	Monitoreo de Variables climáticas	33
3.3.15.	Monitoreo de deficiencia y exceso.....	33
3.3.16.	Manejo fitosanitario	34
3.3.16.1.	Monitoreo de plagas	34
3.3.16.2.	Monitoreo de enfermedades.....	35
3.3.17.	Protocolo de toma de muestras.....	35
3.3.18.	Cosecha y postcosecha	36
3.4.	Variables de respuesta	37
3.4.1.	Variables agronómicas.....	37
3.5.	Análisis económico	39
3.5.1.	Costo Variable (CV) y Costos Fijos (CF)	39
3.5.2.	Beneficio Bruto (BB).....	39
3.5.3.	Beneficio Neto (BN)	40
3.5.4.	Relación Beneficio/Costo	40
3.5.5.	Flujo de caja.....	40
3.6.	Diseño experimental	41
3.6.1.	Factores de estudio.....	42
3.6.2.	Formulación de tratamientos	42
3.6.3.	Croquis Experimental.....	42
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.1.	Relación entre Temperatura del ambiente y porcentaje de germinación	44
4.2.	Correlación entre Temperatura del Invernadero y Temperatura de la Solución Nutritiva (de ambos niveles)	45
4.3.	Correlación entre temperatura del ambiente e Intensidad Lumínica (de ambos niveles).....	49
4.4.	Correlación de los parámetros fisicoquímicos en la solución nutritiva	52

4.4.1.	Correlación entre Temperatura de la solución nutritiva y pH de la solución nutritiva (De ambos niveles)	52
4.4.2.	Correlación entre Conductividad eléctrica (CE) y total de solidos disueltos TDS (ppm) de la solución nutritiva de dos niveles de NPK	55
4.4.3.	Correlación entre Temperatura de la solución nutritiva y los Oxígenos disueltos de la solución nutritiva de dos niveles de NPK.....	58
4.5.	Volumen de la solución nutritiva en el sistema NFT	62
4.5.1.	Comportamiento del volumen real de la S.N. del nivel 1 (33% de N, 15% P ₂ O ₅ , 52%K ₂ O) y nivel 2 (33% de N, 25% P ₂ O ₅ , 42% K ₂ O)	62
4.5.2.	Comportamiento del volumen critico de la solución nutritiva nivel 1 (33% de N, 15% P ₂ O ₅ , 52%K ₂ O) y nivel 2 (33% de N, 25% P ₂ O ₅ , 42% K ₂ O).....	63
4.5.3.	Consumo de solución nutritiva por semana nivel 1 (33% de N, 15% P ₂ O ₅ , 52%K ₂ O) y nivel 2 (33% de N, 25% P ₂ O ₅ , 42% K ₂ O)	65
4.6.	Curvas de neutralización del agua y la solución nutritiva para nivel 1 (33% de N, 15% P ₂ O ₅ , 52%K ₂ O) y nivel 2 (33% de N, 25% P ₂ O ₅ , 42% K ₂ O)	66
4.6.1.	Curva de neutralización del agua para ambos niveles.....	66
4.6.2.	Curva de neutralización de la solución nutritiva antigua (SNA) con un pH acido, para el Nivel 1 (33% N, 15% P ₂ O ₅ , 52%K ₂ O)	68
4.6.3.	Curva de neutralización de la solución nutritiva antigua (SNA), para el Nivel 2 (33% de NT, 25% P ₂ O ₅ , 42% K ₂ O)	69
4.6.4.	Curva de neutralización para la solución nutritiva nueva del nivel 1 (33% N, 15% P ₂ O ₅ , 52%K ₂ O).....	70
4.6.5.	Curva de neutralización de la solución nutritiva nueva del nivel 2 (33% de NT, 25% P ₂ O ₅ , 42% K ₂ O)	71
4.6.6.	Curva de neutralización de la solución nutritiva antigua (SNA), del nivel 1 (33% N, 15% P ₂ O ₅ , 52%K ₂ O)	72
4.6.7.	Curva de neutralización de la solución nutritiva antigua (SNA), del Nivel 2 (33% de NT, 25% P ₂ O ₅ , 42% K ₂ O)	73
4.7.	Resultados del análisis químico de la solución nutritiva y la comparación con otros autores	74
4.8.	Resultados del Análisis químico de hojas	75
4.9.	Variables Agronómicas	76
4.9.1.	Altura de planta (cm)	76

4.9.2.	Número de hojas/planta	79
4.9.3.	Diámetro de tallo (mm)	81
4.9.4.	Largo de pan de raíz (cm)	84
4.9.5.	Volumen de raíz	86
4.9.6.	Peso fresco (g).....	88
4.9.7.	Área foliar.....	91
4.9.8.	Índice de Área Foliar	92
4.9.9.	Rendimiento (kg/m ²).....	94
4.10.	Incidencia de plagas en el cultivo.....	96
4.11.	Incidencias de enfermedades	98
4.12.	Análisis económico	99
4.12.1.	Presupuesto parcial	99
4.12.2.	Análisis de dominancia.....	100
4.12.3.	Flujo de caja.....	101
5.	CONCLUSIONES.....	102
6.	RECOMENDACIONES.....	104
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	105
8.	ANEXOS	107

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación Taxonómica.....	4
Cuadro 2. Enfermedades que afectan al cultivo lechuga	6
Cuadro 3. Soluciones nutritivas utilizadas en el cultivo de Lechuga.....	12
Cuadro 4. Niveles de conductividad eléctrica para algunas especies	13
en sistemas hidropónicos.....	13
Cuadro 5. Fórmula de solución nutritiva de “Hortícolas Chui” del 2020.....	27
Cuadro 6. Formulación de Solución nutritiva	28
Cuadro 7. Formulación de tratamientos	42
Cuadro 8. Superficie del área de investigación	43
Cuadro 9. Resultado de los análisis químicos de la S.N. y la comparación con otros autores.....	75
Cuadro 10. Análisis foliar de los 4 tratamientos	75
Cuadro 11. Análisis de Varianza para la Variable Altura de Planta	76
Cuadro 12. Prueba de Duncan de Variedad para Altura de Planta	77
Cuadro 13. Prueba de Duncan de Bloques para Altura de Planta.....	77
Cuadro 14. Análisis de Varianza para la Variable Número de Hojas.....	79
Cuadro 15. Prueba de Duncan para la Variable Número de Hojas, Variedad (Crocantela, Kristine)	80
Cuadro 16. Prueba de Duncan de Bloques para Numero de Hojas	80
Cuadro 17. Análisis de Varianza para la Variable Diámetro de tallo	82
Cuadro 18. Prueba de Duncan para Diámetro de Tallo, (Para ambos niveles)	82
Cuadro 19. Prueba de Duncan para la Variable Diámetro de tallo, Variedad (Crocantela, Kristine)	82
Cuadro 20. Prueba de Duncan de Bloques para Diámetro de tallo	83
Cuadro 21. Análisis de Varianza para la Variable Largo de pan de raíz	84

Cuadro 22.	Prueba de Duncan para la Variable Largo de pan de raíz, Variedad (Crocantela, Kristine)	85
Cuadro 23.	Análisis de Varianza para la Variable Volumen de raíz	86
Cuadro 24.	Prueba de Duncan para la Variable Volumen de raíz, Variedad (Crocantela, Kristine)	86
Cuadro 25.	Prueba de Duncan de Bloques para Volumen de Raíz.....	87
Cuadro 26.	Análisis de Varianza para la Variable Peso fresco	88
Cuadro 27.	Prueba de Duncan para la Variable Peso Fresco, (Ambos Niveles de NPK) 89	
Cuadro 28.	Prueba de Duncan para la Variable Peso fresco, Variedad (Crocantela, Kristine)	89
Cuadro 29.	Prueba de Duncan de Bloques para Peso Fresco.....	89
Cuadro 30.	Análisis de varianza para la Variable Área Foliar, en ambos Niveles de NPK 91	
Cuadro 31.	Prueba de Duncan para la Variable Área foliar, (Variedad Crocantela, Kristine) en Sistema NFT	91
Cuadro 32.	Análisis de Varianza para la Variable Índice de Área Foliar, con dos Niveles de NPK y dos Variedades de Lechuga en Sistema NFT	93
Cuadro 33.	Prueba de Duncan para la Variable índice de Área foliar, Variedad (Crocantela, Kristine)	93
Cuadro 34.	Análisis de Varianza para la Variable Rendimiento, con dos Niveles de NPK y dos Variedades de Lechuga en Sistema NFT.	94
Cuadro 35.	Prueba de Duncan para la Variable Rendimiento, (Nivel de NPK) en Sistema NFT	95
Cuadro 36.	Prueba de Duncan para la Variable Rendimiento, (Variedad Crocantela, Kristine)	95
Cuadro 37.	Rendimiento ajustado para 28.8 m2.....	99
Cuadro 38.	Presupuesto parcial para dos niveles de NPK.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Variedad Crocantela (Eco-Soder 2020).....	5
Figura 2.	Variedad Kristine (Rijk Zwaan 2019)	5
Figura 3.	Ubicación de la investigación (Google Earth 2022)	20
Figura 4.	Mapa mental del desarrollo de la investigación	24
Figura 5.	Croquis Experimental.....	43
Figura 6.	Comportamiento de la temperatura dentro del invernadero con relación al porcentaje de germinación.....	44
Figura 7.	Correlación entre Temperatura del Invernadero y Temperatura de la Solución Nutritiva del Nivel 1 (33% de N, 15% P ₂ O ₅ , 52% K ₂ O)	46
Figura 8.	Correlación entre Temperatura del ambiente y Temperatura de la Solución Nutritiva del nivel 2 (33% de N, 25% P ₂ O ₅ , 42% K ₂ O).....	47
Figura 9.	Correlación entre Temperatura del Ambiente e Intensidad Lumínica del Nivel 1 (33% de N, 15% P ₂ O ₅ , 52% K ₂ O).....	49
Figura 10.	Correlación entre la temperatura del ambiente y la intensidad lumínica del Nivel 2 (33% de N, 25% P ₂ O ₅ , 42% K ₂ O).....	50
Figura 11.	Correlación entre Temperatura de la solución nutritiva y pH de la solución nutritiva de Nivel 1 (33% de N, 15% P ₂ O ₅ , 52%K ₂ O).....	52
Figura 12.	Correlación entre Temperatura de la solución nutritiva y pH de la solución nutritiva del Nivel 2 (33% de N 25% P ₂ O ₅ , 42% K ₂ O).....	54
Figura 13.	Correlación entre la Conductividad eléctrica (CE) y el total de solidos disueltos TDS (ppm) de la solución nutritiva del nivel 1 (33% de N, 15% P ₂ O ₅ , 52% K ₂ O) 56	56
Figura 14.	Correlación entre la Conductividad eléctrica (CE) y el total de solidos disueltos TDS (ppm) de la solución nutritiva del nivel 2 (33% de N, 25% P ₂ O ₅ , 42% K ₂ O) 57	57
Figura 15.	Correlación entre Temperatura y Oxígenos disueltos de la solución nutritiva de nivel 1 (33% de N, 15% P ₂ O ₅ , 52%K ₂ O).....	59

Figura 16.	Correlación entre Temperatura y Oxígenos disueltos de la solución nutritiva de nivel 2 (33% de N, 25% P ₂ O ₅ , 42% K ₂ O).....	60
Figura 17.	Volumen real de la solución nutritiva del Nivel 1 (33% de N, 15% P ₂ O ₅ , 52%K ₂ O) y Nivel 2 (33% de N, 25% P ₂ O ₅ , 42% K ₂ O), en el sistema NFT.	62
Figura 18.	Volumen crítico de la solución nutritiva para nivel 1 (33% de N, 15% P ₂ O ₅ , 52%K ₂ O) y nivel 2 (33% de N, 25% P ₂ O ₅ , 42% K ₂ O), en el sistema NFT.....	64
Figura 19.	Volumen de consumo de la solución nutritiva de ambos niveles de NPK en el sistema NFT.....	65
Figura 20.	Curva de Neutralización del Agua del nivel 1 (33% de N, 15% P ₂ O ₅ , 52%K ₂ O) y nivel 2 (33% de N, 25% P ₂ O ₅ , 42% K ₂ O).....	67
Figura 21.	Curva de Neutralización de la Solución Nutritiva antigua del nivel 1(33% N, 15% P ₂ O ₅ , 52%K ₂ O)	68
Figura 22.	Curva de Neutralización de la Solución Nutritiva antigua (SNA), del Nivel 2 (33% de N, 25% P, 42% K).....	69
Figura 23.	Curva de neutralización de la solución nutritiva nueva del nivel 1 (33% N, 15% P ₂ O ₅ , 52%K ₂ O)	70
Figura 24.	Curva de neutralización de la solución nutritiva nueva del nivel 2 (33% de NT, 25% P ₂ O ₅ , 42% K ₂ O)	71
Figura 25.	Curva de neutralización de la solución nutritiva antigua (SNA), del Nivel 1 (33% N, 15% P ₂ O ₅ , 52%K ₂ O)	72
Figura 26.	Curva de neutralización de la solución nutritiva antigua (SNA), del nivel 2 (33% de NT, 25% P ₂ O ₅ , 42% K ₂ O)	74
Figura 27.	Desarrollo progresivo de la Altura de Planta para ambos niveles y variedades	79
Figura 28.	Desarrollo de Número de hojas del cultivo a base de dos Niveles de NPK y Dos Variedades de Lechuga, en Sistema NFT.	81
Figura 29.	Desarrollo del Diámetro de tallo (mm)	84
Figura 30.	Promedios de Longitud de raíz (cm).....	85
Figura 31.	Promedios de Volumen de pan de raíz (cm ³)	88

Figura 32.	Promedios de peso fresco por planta (g).....	90
Figura 33.	Medias de Área Foliar (cm ²).....	92
Figura 34.	Promedio de la Variable índice de Área foliar.....	94
Figura 35.	Rendimiento en kg/m ² de los 4 tratamientos.....	96
Figura 36.	Incidencia de plagas en el cultivo de lechuga.....	97
Figura 37.	Grafica de incidencia de enfermedades (%).....	98
Figura 38.	Relación Entre Costos Variables y Beneficios Netos para dos Niveles de NPK	100

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Análisis de laboratorio de agua 2021	107
Anexo 2.	Fertilizantes para Bandejas Flotantes y sistema NFT.....	107
Anexo 3.	Cálculo de la Normalidad para el Ácido Nítrico y Bicarbonato de Sodio	108
Anexo 4.	Presupuesto de fertilizantes, insumos para titulación, semilla, materiales y mano de obra para la solución nutritiva con el Nivel 1	109
Anexo 5.	Presupuesto de fertilizantes, insumos para titulación, semilla, materiales y mano de obra para la solución nutritiva con el Nivel 2	110
Anexo 6.	Planilla del monitoreo diario del sistema NFT del Nivel 1	111
Anexo 7.	Planilla de monitoreo diario del sistema NFT del Nivel 2	113
Anexo 8.	Planilla del monitoreo de temperatura del ambiente.....	114
Anexo 9.	Punto de equilibrio para el nivel 1 y el nivel 2.....	115
Anexo 10.	Flujo de caja para nivel 1 y nivel 2.....	116
Anexo 11.	Siembra.....	118
Anexo 12.	Trasplante a las bandejas flotantes	119
Anexo 13.	Limpieza y desinfección de almacigo y bandejas flotantes.....	119
Anexo 14.	Trasplante a las bandejas flotantes Desarrollo en Bandejas flotantes	120
Anexo 15.	Preparación de solución nutritiva para bandejas flotantes y sistema NFT 120	
Anexo 16.	Trasplante a Sistema NFT	121
Anexo 17.	Evaluación de variables agronómicas	121
Anexo 18.	Desarrollo en el sistema NFT	122
Anexo 19.	Titulaciones.....	122
Anexo 20.	Control Fitosanitario	123
Anexo 21.	Cosecha.....	123
Anexo 22.	Empaquetado y Distribución.....	124
Anexo 23.	Validación de Muestras líquidas y orgánicas	124

Anexo 24.	Monitoreo de enfermedades y Deficiencias.....	125
Anexo 25.	Equipos utilizados	125
Anexo 26.	Análisis químico de solución nutritiva antigua del Nivel 1	126
Anexo 27.	Análisis químico de solución nutritiva nueva del Nivel 2	127
Anexo 28.	Análisis químico de solución nutritiva nueva del Nivel 1	128
Anexo 29.	Análisis químico de solución nutritiva antigua del Nivel 2	129
Anexo 30.	Análisis químico de las hojas de lechuga del Nivel 1 (Var Crocantela) ...	130
Anexo 31.	Análisis químico de las hojas de lechuga del Nivel 1 (Var. Kristine)	131
Anexo 32.	Análisis químico de las hojas de lechuga del Nivel 2 (Var. Crocantela) ...	132
Anexo 33.	Análisis químico de las hojas de lechuga del Nivel 2 (Var. Kristine)	133

ABREVIATURAS

NFT	Nutrient Film Technique, Técnica de la Película Nutriente
Cm	Centímetro
M	Metro
kg	Kilogramo
cm ³	Centímetro cubico
mm	Milímetro
G	Gramos
mg	miligramos
GPS	Global Positioning System
pH	Logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrogeno (expresado en moles por litro).
Ppm	Partes por millón
CE	Conductividad eléctrica
TDS	Total, de solidos disueltos
Msnm	Metros sobre el nivel del mar
Mm	Milímetro
S.N.	Solución nutritiva
T° SN	Temperatura de solución nutritiva
Lx	Luxes (Unidad derivada del Sistema internacional de nivel de iluminación)

RESUMEN

El estudio se enfocó en evaluar el rendimiento de dos niveles de NPK en el cultivo de lechuga en un sistema NFT; Los bajos rendimientos de lechuga en Bolivia se deben a la escasez de conocimientos de la aplicación y al alto costo de los fertilizantes, lo que resulta en una producción de baja calidad que impacta tanto a las familias como a las ganancias de los horticultores, limitando la oferta disponible.

El objetivo principal es evaluar el rendimiento y además proporcionar información valiosa a agricultores e investigadores sobre la aplicación óptima de nitrógeno, fósforo y potasio, con el fin de mejorar el rendimiento, calidad y productividad de la lechuga.

La evaluación se llevó a cabo en las instalaciones de la empresa "Hortícolas Chui" en la zona Bautista Saavedra H. de la ciudad de El Alto. Para lograr este objetivo, se siguió un enfoque de investigación experimental.

En la metodología se aplicó un diseño jerárquico anidado en el factor del nivel. Se emplearon dos niveles: Nivel 1 (33% N, 15% P₂O₅, 52% K₂O) y Nivel 2 (33% N, 25% P₂O₅, 42% K₂O), con las variedades Kristine y Crocantela. Entre las variables de respuesta se evaluaron variables agronómicas (Rendimiento, altura de planta, peso fresco, número de hojas, grosor del tallo, volumen, etc.) y variables fisicoquímicas (pH, CE, temperatura, oxígenos disueltos y volumen). Posteriormente, se realizó un análisis estadístico para interpretar los resultados obtenidos.

De los resultados obtenidos de las variables fisicoquímicas se concluyó que el Nivel 1 como el Nivel 2 muestran correlaciones significativas y similares entre el pH y la temperatura de la solución nutritiva (97.83% y 98.1% respectivamente). Ambos niveles también presentan una correlación perfecta del 100% entre la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos totales. Sin embargo, la relación entre el oxígeno disuelto y la temperatura es más débil, con un 23% en el Nivel 1 y un 20% en el Nivel 2.

De los resultados obtenidos de variables agronómicas se concluyó que el Nivel 1 superó al Nivel 2 en rendimiento promedio (5.019 kg/m² a 3.62 kg/m²), y la variedad Kristine mostró un rendimiento superior a Crocantela. En el Nivel 1 mostró mejores resultados agronómicos con un diámetro de tallo con 15.63 mm, peso fresco con 195.50 g; respecto a la variedad, Kristine destacó en varios aspectos como altura de planta 20.16 cm, número de hojas 23

h/planta, longitud de raíz 48.29 cm, volumen de raíz 50.2 cm³, peso fresco 208 g, área foliar 792.64 cm², índice de área foliar resultó 134.22 cm² y rendimiento con 5.02 kg/m².

Del resultado del análisis químico de muestras de S.N. se concluyó que en el Nivel 1 el nitrógeno disminuyó de 143 mg/l a 134 mg/l, el fósforo acumulo de 26 mg/l a 32 mg/l y el potasio disminuyó de 194 mg/l a 46 mg/l; en el Nivel 2, el nitrógeno disminuyó de 138 mg/l a 121 mg/l, el fósforo de 31 mg/l a 27 mg/l y el potasio de 172 mg/l a 67 mg/l.

Respecto al análisis de hojas en el nivel 1, la variedad Kristine muestra 4% de nitrógeno y 8.51% de potasio, mientras que Crocantela presenta 3.6% de nitrógeno y 8.89% de potasio en cuanto al nivel 2, Kristine tiene 4% de nitrógeno y 6.71% de potasio, y Crocantela muestra 3.7% de nitrógeno y 7.76% de potasio.

ABSTRACT

The study focused on evaluating the performance of two NPK levels in lettuce cultivation using an NFT system. Low lettuce yields in Bolivia are attributed to insufficient knowledge in fertilizer application and high costs, resulting in low-quality production affecting families and horticulturists' profits, thereby limiting supply.

The main objective was to assess performance and provide valuable information to farmers and researchers on optimal nitrogen, phosphorus, and potassium application to enhance lettuce yield, quality, and productivity. The evaluation took place at "Hortícolas Chui" in Bautista Saavedra H., El Alto. The study followed an experimental research approach using a nested hierarchical design with two levels: Level 1 (33% N, 15% P₂O₅, 52% K₂O) and Level 2 (33% N, 25% P₂O₅, 42% K₂O), with the varieties Kristine and Crocantela.

Agronomic variables (yield, plant height, fresh weight, leaf number, stem thickness, volume, etc.) and physicochemical variables (pH, EC, temperature, dissolved oxygen, volume) were evaluated. Statistical analysis interpreted the results. From the physicochemical results, both Level 1 and Level 2 showed significant and similar correlations between pH and solution temperature (97.83% and 98.1% respectively). Both levels also exhibited a perfect 100% correlation between electrical conductivity and total dissolved solids. However, the relationship between dissolved oxygen and temperature was weaker, with 23% in Level 1 and 20% in Level 2.

Regarding agronomic variables, Level 1 outperformed Level 2 in average yield (5.019 kg/m² vs. 3.62 kg/m²), with Kristine showing superior agronomic performance in Level 1, including stem diameter (15.63 mm), fresh weight (195.50 g), plant height (20.16 cm), leaf number (23), root length (48.29 cm), root volume (50.2 cm³), fresh weight (208 g), leaf area (792.64 cm²), leaf area index (134.22 cm²), and yield (5.02 kg/m²).

Chemical analysis of nutrient solution samples concluded that in Level 1, nitrogen decreased from 143 mg/l to 134 mg/l, phosphorus increased from 26 mg/l to 32 mg/l, and potassium decreased from 194 mg/l to 46 mg/l. In Level 2, nitrogen decreased from 138 mg/l to 121 mg/l, phosphorus decreased from 31 mg/l to 27 mg/l, and potassium decreased from 172 mg/l to 67 mg/l.

Regarding leaf analysis, in Level 1, Kristine showed 4% nitrogen and 8.51% potassium, while Crocantela had 3.6% nitrogen and 8.89% potassium. In Level 2, Kristine had 4% nitrogen and 6.71% potassium, and Crocantela had 3.7% nitrogen and 7.76% potassium.

1. INTRODUCCIÓN

La *Lactuca sativa L.* conocida como lechuga es un alimento consumido por la población en general en ensaladas por su aporte nutricional, además que es un cultivo de fácil manejo agronómico y dispone de una gran adaptación, al tener una gran demanda de este cultivo requiere que se realice investigaciones para elevar el rendimiento.

El rendimiento del cultivo de lechuga en suelo a nivel mundial desde el año 2010 estuvo con 21.5 toneladas por hectárea a diferencia del año 2015 que obtuvo 21.6 Tm/ha y durante el año 2019 el rendimiento alcanzó 22.1 Tm/ha (FAO, 2019).

Según los datos del INE (2019), Bolivia tuvo una producción de 18.404 toneladas del cultivo de lechuga en suelo. La producción de lechuga en Bolivia ha desarrollado diversos factores desfavorables entre estos climáticos, desertificación, contaminación de suelos agrícolas, uso ineficiente del agua por malas técnicas de manejo y riego, son las limitantes para que el productor en Bolivia pueda obtener altos rendimientos y abastecer la demanda.

La hidroponía surge como una opción de producción aplicando sistemas hidropónicos, uno de estos es el sistema NFT, que nos ayudaría a aumentar los rendimientos de producción. A través del manejo adecuado de la solución nutritiva que contiene los elementos principales que son los macronutrientes (Nitrógeno, Fosforo, Potasio), estos elementos que se aplican como fertilizantes químicos ayudarían a ofrecer a la población plantas con mejor tamaño, color, calidad, etc.

Según el INE (2012), el último censo de población y vivienda realizado en Bolivia alcanzó los 10.059.856 habitantes, población que va creciendo anualmente, además de que cada boliviano se estima que se consume 150 gramos al día, debido a la demanda de este cultivo requiere elevar nuestros rendimientos para abastecer la creciente demanda.

1.1. Planteamiento del problema

Los bajos rendimientos en Bolivia se deben a que los horticultores tienen carentes conocimientos de las dosificaciones, manejo de los fertilizantes además de que no tienen la información y posibilidad de obtener los fertilizantes por el precio elevado y que en el país no es comercializado legalmente, por las razones mencionadas hay producción de baja calidad, afectando desde la canasta familiar hasta lo que los mismos horticultores invierten disminuyendo sus ganancias afectando en la economía.

1.2. Justificación

La presente investigación se justifica por la necesidad de evaluar las concentraciones de NPK en soluciones nutritivas dentro de sistemas hidropónicos y su impacto en el desarrollo del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Aunque existen estudios sobre el uso de nitrógeno y fertilizantes químicos en diferentes concentraciones, la aplicación específica de NPK en cultivos hidropónicos aún no ha sido ampliamente evaluada en comparación con el suelo tradicional.

Este estudio busca proporcionar información valiosa tanto para productores como para investigadores dedicados a la producción hidropónica de lechuga, permitiéndoles contar con herramientas técnicas y conocimientos científicos para una correcta aplicación de nitrógeno, fósforo y potasio. Los resultados contribuirán a mejorar el rendimiento, la calidad y la productividad del cultivo, beneficiando así la oferta a los consumidores y fortaleciendo la producción hidropónica como una alternativa eficiente y sostenible en el sector agrícola.

1.3. Objetivo

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar el rendimiento de dos niveles de NPK en una solución nutritiva en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo invernadero en un sistema NFT.

1.3.2. Objetivos específicos

- Comparar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos (pH, CE, temperatura, oxígenos disueltos y volumen) de la solución nutritiva en ambos niveles en el cultivo de lechuga.
- Analizar el comportamiento de las variables agronómicas del cultivo de lechuga (Altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, largo de raíz, volumen de raíz, área foliar, etc.)
- Interpretar los resultados de los análisis químicos de muestras orgánicas (hojas, tallo) y muestras líquidas (agua, SN).
- Analizar la relación beneficio costo de ambos niveles así también elaborar un flujo de caja.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. El cultivo de Lechuga

2.1.1. Origen de la Lechuga

La lechuga es nativa de la India en el Asia Central. Es citada con frecuencia en la antigua mitología: “Afrodita colocó a Adonis muerto por el jabalí, sobre un lecho de lechugas”. Algunos escritores, desde Plinio en su “Historia Natural” hasta Beatriz Potter en sus “Tales of the Flopsy Bunnies”, hablan de sus cualidades soporíferas; otros exaltan sus saludables propiedades (Balanza, 2011).

El centro de origen de la lechuga se ubica en la cuenca del mediterráneo. Las primeras indicaciones ciertas de la existencia de lechuga datan aproximadamente 4500 años a C. en grabados de tumbas egipcias en que se representan lechugas similares a la hoy conocidas como tipo de esparrago. Igualmente fue conocida y utilizada por los antiguos persa, griegos y romanos que incluso desarrollaron la técnica del blanqueamiento. Desde el Mediterráneo su cultivo se expandió rápidamente a Europa y fue traída por los primeros conquistadores a América, donde se ha convertido en una de las hortalizas más populares y de mayor importancia económica, especialmente en Estados Unidos, donde es la principal hortaliza (Murillo, 2010).

2.1.2. Generalidades del cultivo de Lechuga

La lechuga es un cultivo principalmente de zonas altas, donde su mejor desarrollo y calidad lo obtiene por encima de los 1100 msnm con una temperatura media alrededor de los 18°C. Es bastante tolerante a las bajas temperaturas, pero a altas temperaturas su calidad desmejora y la vida de anaquel se limita bastante. Para un desarrollo normal de la planta, es necesario que las temperaturas durante la fase de crecimiento permanezcan entre 20 y 24°C. Para poder iniciar la fase de inducción floral necesita entre 10 y 15° C durante varias horas del día (Theodoracopoulos et al., 2009).

La humedad relativa conveniente para la lechuga es del 60 al 80%, aunque en determinados momentos agradece menos del 60%. El problema que presenta este cultivo en invernadero es que se incrementa la humedad ambiental, por lo que se recomienda su cultivo al aire libre, cuando las condiciones climatológicas lo permitan (Casaca, 2005).

2.1.3. Taxonomía

La clasificación de la lechuga, según Lizarro (2009), es la siguiente:

Cuadro 1. Clasificación Taxonómica

Clasificación taxonómica	
Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Asterales
Subfamilia:	Cichorioideae
Familia:	Asteraceae
Tribu:	Lactuceae
Género:	<i>Lactuca</i>
Especie:	<i>Sativa</i>
Nombre científico:	<i>Lactuca sativa</i> L.

Fuente: Lizarro (2009)

2.1.4. Morfología

La lechuga es una planta anual y autógama, perteneciente a la familia Asteraceae y cuyo nombre botánico es *Lactuca sativa* L., su raíz que no llega nunca a sobrepasar los 25 cm. de profundidad, es pivotante, corta y con ramificaciones, 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 puede ser liso, ondulado o aserrado, el tallo es cilíndrico y ramificado, la inflorescencia está compuesta por capítulos florales amarillos dispuestos en racimos o corimbos, las semillas están provistas de pelos simples (Tarigo et al., 2004).

2.1.5. Variedades del cultivo de Lechuga

a) Variedades Crocantela

La variedad Crocantela es un nuevo cultivo crujiente con grandes hojas, resistente al mildiu (*Bremia lactucae*). Con hojas grandes y verde ligeramente oscuro, tiene un alto rendimiento para el cultivo en el campo de la hidroponía (FERCAM, 2012).



Figura 1. Variedad Crocantela (Eco-Soder 2020)

b) Variedad Kristine

Hoja de roble verde de gran calibre y sutilidad, con un color intenso y una cabeza suelta, no presenta problemas de acogollado ni en condiciones climáticas desfavorables, ideal para el mercado de cuarta gama. Variedad líder en su género, roseta de buen volumen y es lenta para la subida de flor (Rijk Zwaan, 2019).



Figura 2. Variedad Kristine (Rijk Zwaan 2019)

2.1.6. Enfermedades del cultivo de Lechuga

Botrytis causada por el hongo *Botrytis cinérea*; también se conoce como moho gris, se presenta como una pudrición blanda acuosa y de color gris parduzco, los tejidos que están húmedos o en contacto con el suelo son los más susceptibles, hay un crecimiento de tejido

gris vellosa sobre las áreas enfermas y que están bajo la sombra (Productores de Hortalizas de Centroamérica, 2011).

Adlercreutz et al. (2010) mencionan que, hay diversas enfermedades que afectan el cultivo de lechuga, las cuales se detallan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Enfermedades que afectan al cultivo lechuga

PATOGENO	ORGANO AFECTADO
Alternaria sp.	Hojas, nervaduras
Botrytis cinerea	Hojas, nervaduras, base de tallos
Bremia lactucae	Hojas, nervaduras
Fusarium oxysporum	Raíces, base de tallos, nervaduras
Microdochium panattonianum	Hojas, nervaduras
Pythium spp.	Base de tallos, hojas y nervaduras basales
Rhizoctonia solani	Raíces
Sclerotinia minor y S. sclerotiorum	Base de tallos, hojas y nervaduras basales

Fuente: Adlercreutz, et al, (2010)

2.1.7. Principales plagas que afectan al cultivo de Lechuga

a) Mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*)

La mosca blanca es muy polífaga y ataca a gran variedad de cultivos. El daño se produce cuando se alimenta de la savia de la planta, son las especies que se han identificado, el daño que produce es la transmisión del virus del amarillamiento de la lechuga y produce un daño directo al alimentarse las ninfas y los adultos del cultivo además de que se produce fumagina en las excretas del insecto. Las poblaciones son más altas en la estación seca (Jiménez, 2009).

b) Pulgón (*Myzus persicae*)

Conocidos como pulgones o piojillo, se alimentan en grandes colonias donde hay de todas las edades, se ubican en el envés de las hojas y cogollos. En climas cálidos no hay machos y las hembras se reproducen partenogenéticamente, cuando se encuentran hembras aladas es en respuesta al hacinamiento o a la falta de alimentación (Jiménez, 2009).

2.2. Hidroponía

El término hidroponía se genera de dos palabras griegas: hydro (agua) y ponos (labor o trabajo). La unión de estas palabras significa trabajar en agua. La hidroponía puede

definirse entonces como la ciencia del cultivo de plantas sin uso de tierra, en un medio inerte, siendo este medio el agua o incluso un sustrato distinto del suelo tal como lo conocemos, por ejemplo: granza de arroz, grava, carbón o piedra volcánica, entre otros. A este medio se le agrega una solución nutriente que contiene todos los elementos esenciales requeridos por la planta para su crecimiento normal (Barbado, 2005).

2.2.1. Ventajas de un sistema hidropónico

Las ventajas de los sistemas hidropónicos pueden resumirse en los siguientes aspectos: (Rivera, 2015).

- Menor número de horas de trabajo y más livianas
- No es necesaria la rotación de cultivos
- Las raíces se desarrollan en mejores condiciones de crecimiento
- Mínima pérdida de agua
- Mínimo problema con las malezas
- El sistema se ajusta a áreas de producción no tradicionales

2.2.2. Desventajas de un sistema hidropónico

Las desventajas de los cultivos hidropónicos son: (Gilsanz, 2007)

- Costo inicial alto.
- Se requieren conocimientos de fisiología y nutrición.
- Desbalances nutricionales causan inmediato efecto en el cultivo.
- Se requiere agua de buena calidad.

2.3. La Hidroponía en Bolivia

La hidroponía en Bolivia en 2005, Intervida Bolivia, en convenio con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), implemento el proyecto “Micro huertas familiares para la seguridad alimentaria”, el proyecto consistía en cultivar hortalizas en huertos orgánicos e hidropónicos, en la ciudad de El Alto (Estrada, 2009).

Se puede mejorar la capacidad productiva de los invernaderos al transformarlos en cultivos hidropónicos bajo sistema NFT, pues se demostró que bajo este sistema hidropónico

recirculante se puede producir durante todo el año de forma sistemática, en la localidad de Chicani de la ciudad de La Paz – Bolivia (Murillo, 2010).

2.4. Tipos de Sistemas hidropónicos

Según Rodríguez et al., (2004), Básicamente los sistemas de producción de cultivos hidropónicos se pueden clasificar en dos grandes grupos a saber según el tipo de sustrato que utilizan como sigue:

- Sistemas hidropónicos en agua.
- Sistemas hidropónicos con sustrato.

Cada uno de estos dos tipos de sistemas hidropónicos cuenta con una serie de variantes, que dependen básicamente de la forma en que se dispone el sustrato y el recipiente utilizado para ello. Por ejemplo, en los sistemas hidropónicos con sustrato líquido se encuentran, el sistema de raíz flotante y el sistema recirculante o NFT; para los sistemas hidropónicos que emplean sustrato sólido se cuenta con el sistema de canales, sistema de cajuela y el sistema de mangas colgantes.

2.4.1. Sistema hidropónico de raíz flotante

Los métodos de cultivo sin suelo, el cultivo en agua, por definición, es el auténtico cultivo hidropónico. El sistema de raíz flotante fue uno de los primeros sistemas hidropónicos que se utilizó tanto a nivel experimental como a nivel de producción comercial, el cual maximiza la utilización del área de cultivo. En este tipo de sistema hidropónico, las plantas están soportadas en una plancha de duroport o tecnopor perforada para permitir el paso de las raíces hacia el medio líquido o solución nutritiva (Rodríguez et al., 2004).

2.4.2. Sistemas hidropónicos de columnas

Este sistema permite una alta producción de plantas por unidad de área, pero está restringido solo para plantas de porte pequeño. Es muy usado para la producción de fresas. Las plantas que crecen en un sistema de columnas deben estar bien iluminadas, de lo contrario tendrían una menor tasa fotosintética, afectando su rendimiento (Rodríguez et al., 2004).

Las columnas pueden ser mangas plásticas de 8 micras de espesor y de 25 y 30 cm de diámetro, o macetas de tecnopor de 3,4 a 4,0 litros de capacidad, las cuales van apiladas una sobre otra; también puede utilizarse tubos de PVC de 6 ó 8 pulgadas de diámetro, aunque no es aconsejable por su mayor costo con respecto a las dos primeras opciones. En cada columna de 8 macetas apiladas se pueden cultivar hasta 32 plantas (Samperio, 2004).

Las columnas, mangas o macetas contienen un sustrato liviano, como piedra pómez o perlita; o mezclados con arena, turba, musgo, cascarilla de arroz o fibra de coco (Rodríguez et al., 2004).

2.4.3. Sistema hidropónico de canaletas suspendidas

En países con fuerte demanda de fresas; sobre todo para mejorar y obtener producción en invierno, las plantas son cultivadas en invernaderos y emplean canaletas o canales de PVC. El sistema fue fabricado en Israel por Polygal Industries, el cual consiste en láminas plásticas corrugadas en forma de U de 10 cm de profundidad y 12 cm de ancho; sobre las canaletas se colocan contenedores; los diámetros de los agujeros son de 5cm; los agujeros están separados cada 20 cm. Las láminas corrugadas se colocan sobre una sección de gotero de PVC. Las canaletas van suspendidas a 1,2 - 1,6 m del suelo; alturas mayores complican la observación de las plantas y el manejo de cultivo. El distanciamiento entre canaletas es 0,8 -1,0 m (Rodríguez et al., 2004).

El sustrato que se coloca en los contenedores debe ser liviano como perlita, piedra pómez; se puede usar mezclas de musgo, fibra de coco, aserrín de pino y/o cascarilla de arroz. La solución nutritiva se aplica con sistema de riego por goteo. (Rodríguez et al., 2004).

2.4.4. Técnica de cultivo con flujo laminar de nutrientes (NFT)

Es un sistema complejo, pero muy eficaz para la producción a gran escala. La cantidad del líquido que fluye por las raíces de la planta debe ser poco; es decir, que apenas toque las raíces y el tallo de la planta; para ello es importante que los canales sean de estructura rectangular. El choque constante del fluido en las raíces impulsa a la planta a crecer más rápido, lo cual acorta el ciclo de cultivo, haciéndolo altamente rentable (Alpizar, 2004).

La NFT es una técnica de cultivo en agua en la cual las plantas crecen teniendo su sistema radicular dentro de un tubo de plástico, a través del cual circula continuamente la solución de nutrientes (Rodríguez et al., 2004).

a) Historia del NFT

La técnica de la solución nutritiva recirculante conocida como NFT, fue desarrollada en la década del sesenta por el Dr. Allan Cooper, en Inglaterra. Desde esa época, este sistema de cultivo, destinado principalmente a la producción de hortalizas de alta calidad, se ha desarrollado y difundido por un gran número de países, donde existen condiciones limitantes de suelo y un mercado promisorio para suplir con hortalizas frescas de alta calidad y sanidad. (Rodríguez, 2002).

b) Componentes y materiales del sistema NFT

Según Rodríguez et al., (2002), el sistema básico "NFT" se constituye de los siguientes elementos:

- **Estanque colector**

Almacena la solución nutritiva y su capacidad dependerá del número de plantas que se pretenda cultivar. Por ejemplo, un tanque de 1000 litros puede servir para cultivar alrededor de 2500 lechugas, aunque siempre es preferible contar con un tanque de mayor volumen para tener un remanente de solución. Cualquier tanque o depósito usado para almacenar agua potable puede servir; es preferible los de fibra de vidrio o plástico. En la medida que se cuente con un estanque de pequeña capacidad, el volumen de la solución disminuirá rápidamente por lo que las correcciones de la solución serán más frecuentes, incluso llegando a más de una corrección por día, lo que hace prácticamente al sistema inoperable. Por este motivo al contar con instrumentos manuales que controlan la solución nutritiva, se deberá optar por volúmenes de solución al menos que dupliquen los requerimientos diarios del cultivo.

- **Canales de cultivo**

El sistema "NFT", se caracteriza por no utilizar ningún tipo de sustrato, sino por el contrario, es un sistema estrictamente hidropónico, o sea, se cultiva directamente en agua con sales minerales disueltas. Así, al no contar con un medio sólido de sostén, éste es brindado a las

plantas por el tipo de contenedor utilizado como también por el canal de cultivo, el cual permite la sujeción de las plantas.

- **Bomba**

Su función es impulsar permanentemente la solución nutritiva desde el estanque colector hasta la parte alta de los canales de cultivo. La potencia de la electrobomba dependerá del tamaño del área de producción. Una electrobomba de 0,5 HP es suficiente para una instalación de 100 m². En cada canal, el flujo de la solución nutritiva debe ajustarse aproximadamente en 2 a 3 L * min. Este caudal es importante porque permite una adecuada aireación de la solución nutritiva, favoreciendo la oxigenación de las raíces y la absorción de agua y nutrientes. Para cultivos de mayor desarrollo radicular (apio, tomate), este flujo debe ser superior, ya que la masa de raíces que se forma dificulta el paso de la solución nutritiva.

- **Red de distribución**

La solución nutritiva es distribuida a través de una red compuesta por tuberías y mangueras de PVC o goma desde la bomba impulsora hacia la parte superior de los canales de cultivo. En la actualidad se utiliza este tipo de materiales que han desplazado los de aleación metálica, ya que éstos interactúan con los elementos minerales que componen la solución nutritiva. En relación a su dimensión, depende del volumen a transportar a través del sistema, sin embargo, como el flujo requerido no supera los 2 a 3 litros por minuto, normalmente el diámetro de las tuberías es de 1 pulgada.

- **Tubería colectora**

La tubería colectora recoge la solución nutritiva desde los canales de cultivo y la lleva de retorno hacia el estanque. La localización de esta tubería se ubica frente y en un nivel más bajo que la altura inferior de los canales, de esta forma la solución nutritiva desciende por gravedad, oxigenándose. Además, esta tubería se encuentra en pendiente descendente hacia el estanque colector. Al final de ésta, se requiere colocar un codo de PVC recubierto con material aislante (polietileno) para facilitar su caída.

2.5. Soluciones nutritivas utilizadas en Hidroponía

No existe una solución teórica ideal para un cultivo en particular ya que la concentración óptima de elementos nutritivos para una especie vegetal en particular, depende de la parte de la planta que se va cosechar, la estación del año, el clima, la calidad del agua y el estado de desarrollo de la planta (Bautista, 2000).

En el cuadro, se puede observar recomendaciones de autores que realizaron ensayos con diferentes concentraciones, para al final poder recomendar la más adecuada para la producción de lechuga en hidroponía en el sistema recirculante "NFT" (Urey, 2007).

Cuadro 3. Soluciones nutritivas utilizadas en el cultivo de Lechuga

Autores	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Bo	Zn	Cu	Mo
Furiani, (1998)	198	39	183	142	38	52	2.0	0.4	0.3	0.06	0.02	0.06
La Molina, (2001)	154	36	260	150	45	70	1.0	0.5	0.5	0.15	0.15	0.01
Morgan, (1999)	141	25	96		151	25	33	2.5	1.0	0.45	0.06	0.05
Resh, (2001)	190	50	210	200	40	113	5.0	0.5	0.5	0.1	0.1	0.05

Fuente: Rodríguez; Hoyos; Chang, (2002).

2.6. Parámetros de la solución nutritiva

2.6.1. pH de la solución nutritiva

Es el índice que permite valorar la concentración de iones hidrógeno (H) contenidos en una solución. Las soluciones nutritivas con pH menor de 4 o pH mayor que 9 no deben emplearse para la producción vegetal, porque son muy ácidas o muy alcalinas respectivamente. Se determina el pH de los suelos agrícolas que son más apropiados para un determinado cultivo. Así también se puede determinar el pH que requieren los cultivos hidropónicos (Barbado, 2005).

2.6.2. Conductividad eléctrica de la solución nutritiva

La conductividad eléctrica es un indicador indirecto de la concentración salina del agua y de la solución nutritiva; nos puede dar un indicio si el agua a utilizar es la adecuada y sobre la vida útil de la solución nutritiva en el sistema. Al comienzo el agua de nuestra fuente deberá contar con el nivel más bajo posible de conductividad eléctrica; son adecuados valores de 0.7 - 1.2 mS * cm⁻¹. Luego del agregado de sales, al formular la solución, la

conductividad dependerá del cultivo y el estado de crecimiento, por ejemplo, la lechuga tiene márgenes bajos para su desarrollo (entre 2 -2.5) en el cual se puede observar en el Cuadro 4. (Gilsanz, 2007).

Cuadro 4. Niveles de conductividad eléctrica para algunas especies en sistemas hidropónicos.

Cultivo	Conductividad eléctrica, dS/m
Lechuga	1.3
Espinaca	2.0
Tómate	2.5
Frutilla	1.0
Apio	1.8

Fuente: Gilsanz (2007).

2.6.3. Temperatura de la solución nutritiva

La temperatura influye por una parte en la capacidad de absorción de agua y nutrientes. Temperaturas muy altas o muy bajas provocan un menor crecimiento de las raíces. Por debajo de 12 °C, la absorción de iones por las raíces de tomate o de pepino se ve muy limitada. Por encima de 29 °C, la absorción se vuelve a ver limitada. En cultivos sensibles como el pepino, temperaturas de la raíz por debajo de 8 °C dificultan incluso el flujo de agua hacia el resto de la planta (Santos et al., 2016).

2.6.4. Contenido de oxígenos disueltos en la solución nutritiva

La disponibilidad de O² juega un rol fundamental en la absorción iónica. La restricción de este elemento por estancamiento en los sustratos hidropónicos o la falta de aireación pueden producir acumulación de CO₂ en el medio radicular. Los bajos niveles de O² en la solución nutritiva disminuye la disponibilidad de Fe en los sistemas NFT, asociándose con acumulaciones de Mn en las hojas de las plantas, inhibiendo además la absorción de iones K y NO₃. Esto producirá síntomas de deficiencias que se observarán visualmente. La disponibilidad de O² en la solución nutritiva es fundamental para el normal crecimiento y funcionamiento de las raíces. En un medio aeróbico las células pueden respirar y generar energía metabólica (ATP) y en consecuencia poder absorber todos los nutrientes necesarios para su normal crecimiento (Beltrano et al., 2015).

2.7. Calidad de agua

Así como en los sistemas convencionales la calidad del suelo es determinante del éxito, en los sistemas hidropónicos la calidad del agua es esencial tanto desde el punto de vista microbiológico como en su calidad química. El agua deberá estar exenta de contaminantes microbianos que de alguna manera puedan ser un perjuicio para la salud humana, ya que no debemos olvidar que producimos hortalizas que van a ser consumidas en fresco. Respecto a la calidad química, deberán usarse aguas con bajos contenidos de sales. Los contenidos elevados de calcio o magnesio (mayores a 30 ppm en cada caso), obligarán a realizar correcciones en la formulación de la solución nutritiva. Por su parte, elementos como sodio o cloro en forma excesiva podrán ser tóxicos para la planta. En todos los casos se recomienda la realización de análisis del agua antes de comenzar con estos sistemas, además de análisis cíclicos, en especial cuando la fuente es subterránea (Gilsanz, 2007).

2.8. Software Hidrobuddy

El Hidrobuddy es un programa gratuito y de código abierto para el cálculo de soluciones de nutrientes para hidroponía y agricultura en general realizado por Daniel Fernández (Químico profesional), este software se codificó desde cero con el paquete Lazarus y se implementó con soluciones de bases de datos apropiadas, así como con potentes algoritmos de resolución de ecuaciones lineales. El programa permite que cualquiera pueda realizar fácilmente los cálculos para las preparaciones de soluciones nutritivas (Fernández, 2016).

2.9. Duración y cambio de la solución nutritiva

La vida útil de la solución de nutrientes depende principalmente del contenido de iones que no son utilizados por las plantas. La medida semanal de la conductividad eléctrica nos indicará el nivel de concentración de la solución, si es alto o bajo. La vida media de la solución nutritiva que haya sido ajustada por medio de análisis semanales suele ser de dos meses. En caso de no efectuarse dichos análisis se recomienda un cambio total de la solución nutritiva a las 3 o 4 semanas (Rodríguez et al., 2004).

2.10. Nutrición de la planta

Los síntomas de deficiencia en las plantas aparecen cuando, por mal nutrición, el cultivo ha perdido una buena parte de su potencial de rendimiento. Por esto, es importante mantener

un programa adecuado de fertilización durante el ciclo vegetativo. Sin embargo, cuando por diferentes razones aparecen los síntomas, es posible determinar su gravedad o intensidad teniendo en cuenta la edad de la planta la época del año y el estado general de la plantación y de esta forma, determinar la clase, cantidad y forma de aplicación de fertilizantes necesarios para corregir la deficiencia (Moreno, 2007).

2.10.1. Macro elementos esenciales en la planta

2.10.1.1. Nitrógeno en la planta

a) Forma de asimilación y funciones del Nitrógeno en la planta

El nitrógeno, cuyas formas de asimilación son el ion nitrato (NO_3^-) y el ion amonio (NH_4^+) es el motor del crecimiento de la planta. Dentro de la planta se combina con componentes generados por el metabolismo de los hidratos de carbono o carbohidratos para formar aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos. Además, por ser constituyentes esenciales de las proteínas, está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas y en la elaboración del rendimiento, un buen suministro de nitrógeno en la planta es importante también por la absorción de los demás elementos nutritivos. Asimismo, este elemento es parte esencial de la molécula de la clorofila (Moreno, 2007).

b) Sintomatología de deficiencia de Nitrógeno en la planta

Cuando el nitrógeno está ausente se presenta un amarillamiento general del follaje, el cual comienza en las hojas viejas o seniles y posteriormente, aparece en las hojas nuevas. Las hojas se vuelven progresivamente más amarillas. En casos graves, las hojas mueren y esto es seguido por la pérdida del follaje. Las plantas presentan un aspecto enfermizo y su desarrollo es lento y escaso. Se reduce significativamente el rendimiento vegetal (Moreno, 2007).

c) Sintomatología de exceso de Nitrógeno en la planta

Cuando el nitrógeno se suministra en cantidades excesivas en relación con los demás elementos, la planta produce mucho follaje de color verde oscuro; sin embargo, el desarrollo de las raíces es reducido. La floración y la producción de frutos y semillas se retardan (Moreno, 2007).

2.10.1.2. Fosforo en la planta

a) Forma de asimilación y funciones del fosforo en la planta

El fosforo presenta dos formas de asimilación, (H_2PO_4^-) ion ortofosfato primario y ortofosfato secundario (HPO_4^{2-}). Este elemento juega un papel importante en la transferencia de energía. Es esencial para diversos procesos como la fotosíntesis, la respiración y otros procesos químico-fisiológicos. También resulta indispensable para la diferenciación de las células y el desarrollo de los tejidos que forman los puntos de crecimiento de las plantas. Interviene en la formación de nucleoproteínas, ácidos nucleicos, fosfolípidos, síntesis de azúcares y grasas, en la regulación del pH de las células. Vital para la acumulación de energía (ATP Y NADP) en los fenómenos de la fosforilación (Moreno, 2007).

b) Sintomatología de deficiencia del fosforo en la planta

Las plantas muestran desarrollo y madurez lentos, aspecto raquítico de los tallos, bajo rendimiento de frutos y semillas en consecuencia, existe una mala germinación de estas. Debido a que es un elemento móvil en las hojas más viejas aparecen tonalidades purpuras también en tallos (Moreno, 2007).

c) Sintomatología de exceso de fosforo en la planta

El exceso de fósforo no provoca aparentemente ninguna sintomatología de intoxicación. Sin embargo, las cantidades excesivas de este elemento pueden dificultar la absorción de otros elementos y ocasionar deficiencias de Cobre (Cu) o de Zinc (Zn) (Moreno, 2007).

2.10.1.3. Potasio en la planta

a) Forma de asimilación y función del potasio en la planta

El potasio es asimilado por las plantas en forma iónica (K^+). Este elemento es de vital importancia para el desarrollo vegetal ya que activa más de sesenta enzimas. Por ello, juega un papel en la síntesis de carbohidratos y proteínas. Mejora el régimen hídrico de la planta, regula el cierre y apertura de estomas y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad. Las plantas sufren menos enfermedades, participa en el potencial osmótico celular, regulando su contenido de agua. Participa en la síntesis de azúcar, almidón y

proteínas. Interviene en la fosforilación oxidativa que se produce en las membranas de las mitocondrias (Moreno, 2007).

b) Sintomatología de deficiencia de potasio en la planta

Cuando el potasio es deficiente, las hojas viejas de las plantas se queman en los bordes y puntas, y tienden a enrollarse; generalmente, las venas centrales de las hojas conservan el color verde. Debido al pobre desarrollo de las raíces, las plantas se degeneran antes de llegar a la etapa de producción. Se reduce el traslado de azúcares hacia la raíz y la fotosíntesis, y se incrementa la respiración. En las células se promueve la formación de sustancias catabólicas iniciándose los procesos de muertes celular y tejidos o necrosis. Las plantas son más susceptibles al ataque de plagas y enfermedades. Adicionalmente se retrasa el desarrollo de y crecimiento de la planta, ya que la velocidad relativa de crecimiento está relacionada con el transporte del potasio a la raíz al tallo y a las hojas. Esto repercute en la presión de la turgencia y en la apertura y cierre de estomas. Se reduce el uso eficiente de del agua por lo que hay pérdida de turgencia en hojas, tejidos de las plantas, los cuales se encuentran en un estrés hídrico y ocasión a plantas pequeñas (Moreno, 2007).

c) Sintomatología de exceso de potasio en la planta

La toxicidad por potasio no existe como tal. Sin embargo, los niveles excesivos de potasio pueden causar antagonismos que lleven a deficiencias de otros nutrientes como el magnesio o el calcio. Si ocurre esto, es mejor realizar pruebas al sustrato y al tejido de la planta para determinar el contenido de nutrientes y ajustar el programa de fertilización o la cantidad de aplicación (Moreno, 2007).

2.11. Estudio realizado en niveles de Nitrógeno en Sistema NFT en solución nutritiva

El trabajo realizado por Carita (2019), que se realizó en el municipio de El Alto en el departamento de La Paz en un sistema hidropónico NFT evaluó dos niveles Nitrógeno (nitrato y amonio) del en el cultivo de lechuga con dos variedades Crocantela y Románela. el nivel uno (80 % de NO_3^- – (-20% de NH_4^+)), la variedad Crocantela obtuvo mayor rendimiento con 5,0 Kg/m^2 y la variedad Románela 4,2 kg/m^2 expresado en kg/m^2 . Respecto al nivel dos (90 % de NO_3^- – (-10% de NH_4^+)) la variedad Crocantela alcanzo un valor de

4,6 kg/m² y la variedad Romanela un valor de 4,0 kg/m². La diferencia del rendimiento es atribuida a las características genéticas de cada una de las variedades.

2.12. Estudios realizados en niveles de Potasio en un Sistema NFT en solución nutritiva

El estudio realizado en el cultivo de lechuga sembrado con la variedad romana; se aplicaron cinco niveles de K (0, 59, 117, 180 o 360 mg/L-1) dispuestos en un diseño DCA cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones causó necrosis en los bordes de las hojas adultas. Los valores más bajos de número de hojas, área foliar, peso seco de raíz, hojas y total, y de índices de crecimiento se obtuvieron con 0mg L-1 de K, mientras que la respuesta más favorable, incluyendo producción, se logró con 360 mg/L-1 de K. Por lo cual, 360 mg/L-1 de K es la dosis más recomendable para el cultivo de lechuga (Martínez, 2010).

2.13. Estudios realizados en niveles de Nitrógeno, Fosforo, Potasio en un Sistema NFT en solución nutritiva en el cultivo de Lechuga

Estudio realizado de un análisis comparativo de los emocionales directivas en cultivos hidropónicos en invernadero se comparó dos soluciones nutritivas, esta investigación fue realizada en el cultivo de lechuga de la variedad Walmands Green se utilizó dos formulaciones de Sonneveld con N (12%) = 273 mg, P₂O₅ (6%) = 142 mg, K₂O (23%) = 517 mg; Formulación de Hoagland y Arnon con N (10%) = 225mg, P₂O₅ (6%) = 144 mg, K₂O (21%) = 475mg, a lo largo de 50 días desde la siembra la solución de Sonneveld obtuvo un peso fresco de 244.41 gramos, mientras que en la solución del Clan y Arnold sí tuvo un peso fresco a los 50 días de 243 g por lo tanto no había mucha diferencia entre ambas soluciones solo se tuvo problemas que a lo largo de su ciclo presenta la lechuga Cómo es el alargamiento para la floración (Robredo et al., 2000).

En la investigación se menciona que en el Zamorano se han experimentado soluciones nutritivas para crecimiento de lechuga con tres variedades , se evaluaron dos soluciones: Solución 1 con una concentración de nutrientes (N = 143, P = 27, K = 159) y Solución 2 (N = 190, P = 36, K = 212, donde se presentó los siguientes resultados la variedad Parris obtuvo mayor rendimiento en peso (167 g/planta) con la solución 2, Vulcan y Verónica obtuvieron pesos muy bajos (72 g/planta y 52 g/planta) con las dos soluciones nutritivas (Garzón, 2006).

2.14. Estudios realizados en niveles de Nitrógeno, Fosforo, Potasio en Aeroponia en solución nutritiva en el cultivo de Tomate

En esta investigación reportan que en tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) cv. Sunny., probaron una combinación factorial con 25, 75 y 225 mg/l-1 de N; 5, 15 y 45 mg/l-1 de P y 25, 75 y 225 mg/l-1 de K. Ellos encontraron lo siguiente: Cuando el N se aumenta de 25 a 225 mg/l-1, los pesos frescos se incrementaron. El N aportó la mayor fuente de variación. El P a 45 mg/l-1 incrementó el peso del brote, altura de la planta, diámetro de tallo, número de hojas y área foliar comparándolo con la dosis de 5 y 15 mg/l-1. El K no tuvo efecto en ninguna de las variedades estudiadas. Para producir plántulas de calidad, recomiendan usar una solución nutritiva con 225 mg de N, 45 mg de P y 25 mg de K por litro de agua (Melton et al.,1991).

3. MATERIALES Y MÉTODO

3.1. Localización

3.1.1. Ubicación Geográfica

La presente investigación se llevó a cabo en el Municipio de El Alto en la provincia Murillo del departamento de La Paz, situada al oeste de Bolivia, La empresa Hortícolas Chui” está ubicada en la Zona Bautista Saavedra H. a 5 km del centro de la ciudad de El Alto de acuerdo a la ubicación geográfica presenta una altitud de 4005 m.s.n.m. con las siguientes coordenadas $16^{\circ}29'38,86''$ latitud Sur y $68^{\circ}14'21,02''$ longitud Oeste.



Figura 3. Ubicación de la investigación (Google Earth 2022)

3.1.2. Características climáticas de la zona de investigación

El Municipio de El Alto se caracteriza por un clima variable, la temperatura oscila entre 0 a 15 °C con variaciones diarias. La precipitación anual del 2021 es de 182.8 mm, la velocidad del viento es de 7 a 77 km/h. (SENAMHI, 2021).

Al respecto, Mamani, (2021) afirma, que el valor más alto de la temperatura media máxima se registró el 3 de noviembre donde alcanzo una temperatura de 39,3 °C, la temperatura mínima más baja se registró el 28 de octubre con 1,2 °C.

3.2. Materiales

3.2.1. Material de estudio

El material vegetal que se utilizó fue semillas peletizadas del cultivo de Lechuga para esto se empleó dos variedades:

- Variedad Crocantela
- Variedad Kristine

3.2.2. Material de laboratorio

- | | |
|---|--|
| • Jeringas (1, 5, 10 ml) | • Conductímetro (CE) (HANNA-HI98318 Exactitud EC $\pm 2\%$ FS, Exactitud TDS $\pm 2\%$ FS, Exactitud temperatura ± 0.5 °C / ± 1 °F |
| • Vaso de precipitados (1000,100 ml) | • Oxímetro DO 9100 |
| • Probeta (100 ml) | • Pipeta |
| • Embudo | • Cucharillas |
| • Balanza CAMRY Modelo: EK5055 (5 Kg) | • Matraz Erlenmeyer |
| • Peachimetro (pH) (APERA-Precisión: $\pm 1\%$ F.S) | • Pipeta |
| | • Vernier digital (UYUSTOOLS) |

3.2.3. Material de campo

a) Material de almacigo

- Esponja Poliuretano de 2.5 cm de ancho por 3 cm de altura de grosor (Sustrato)
- Varillas de metal para perforaciones
- Marcadores
- Regadera
- Nylon negro
- Manta térmica
- Atomizador

b) Material en las Bandejas flotantes

- Nylon de 70 micrones
- Scoch
- Letreros
- Bandeja de madera dimensiones (50x180) cm
- Plastoformo de 3 cm de grosor (50x50) cm
- Cinta Adhesiva
- Tijeras

c) Material en el sistema NFT

- Reglas de madera
- 2 electrobombas de 1/2 HP marca (Petrollo, Bambosi)
- 2 tanques de Polietileno PEDROLLO (300, 400 litros)
- Recipientes para muestras
- Poxilina
- Temporizador

d) Materiales para Cosecha

- Bolsas celofán de 30 x 40 cm
- Cajas plásticas
- Masking
- Tijeras
- Códigos de barra
- Cúter

e) Herramientas

- Martillo
- Llaves (Crecen, stylson)
- Alicates de presión
- Alicates
- Pelacables
- Cierra mecánica
- Flexómetro

f) Materiales para preparación de solución nutritiva

- Jarras de (1, 2, 3 litros)
- Baldes de 20 litros

- Recipientes para pesar los fertilizantes
- Cucharas plásticas para pesar
- Paletas para diluir

3.2.4. Materiales químicos

a) Fertilizantes

- Nitrato de Calcio
- Nitrato de Magnesio
- Nitrato de Potasio
- Fosfato Monoamónico
- Fosfato Mono potásico
- Sulfato de Potasio
- Sulfato de Magnesio
- Sulfato de Zinc
- Sulfato de Hierro
- Sulfato de Manganeso
- Ácido Bórico
- Nitro- S
- Cloruro de Potasio

b) Reactivos para la titulación de pH

- Bicarbonato de Sodio (NaHCO_3)
- Solución Diádico (Ácido Fosfórico, Ácido Nítrico)

3.2.5. Materiales para el control fitosanitario

- Insecticida orgánico (Cebolla, limón, ajo, detergente y alcohol)
- Fungicida orgánico (Cal viva, azufre)
- Fungicida (Canela, miel)
- Fitohormonas (Lenteja)
- Trampas amarillas (Aceite, azúcar, miel)
- Mochilas fumigadoras (10, 20) litros
- Ollas de aluminio

3.2.6. Material de escritorio

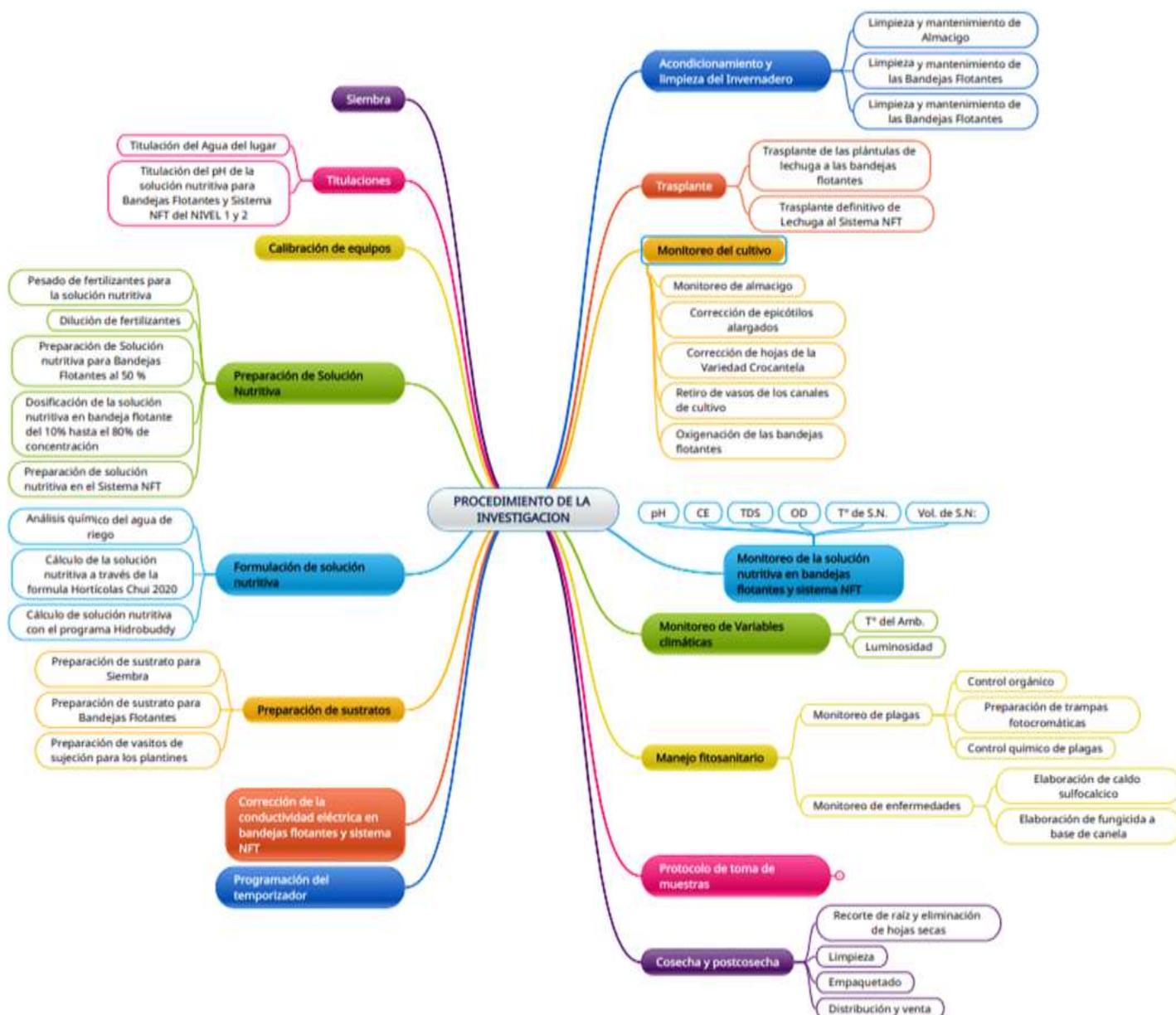
- Cuaderno de campo
- Hojas Bond
- Laptop
- Impresora
- Bolígrafos
- Tijeras
- Regla
- Flash Memory

3.3. Metodología

3.3.1. Desarrollo de la investigación

El desarrollo del cultivo en total duró 104 días, los días en el almácigo fue de 12 días luego se trasplanto a las Bandejas Flotantes donde quedó durante 43 días, pasado ese tiempo se trasplanto al sistema NFT y hasta la cosecha pasaron 47 días.

Figura 4. Mapa mental del desarrollo de la investigación



Fuente: Elaboración Propia

3.3.2. Acondicionamiento y limpieza del Invernadero

Se realizó una limpieza general semanalmente en el invernadero además se realizó un mantenimiento al almácigo, bandejas flotantes, sistema NFT y una desinfección de todos los materiales de laboratorio y herramienta que se utilizó durante la investigación.

a) Limpieza y mantenimiento de Almacigo

Se realizó una previa limpieza y una desinfección con Hipoclorito de Sodio al 1%, seguidamente se lavó con detergente, jabonando de extremo a extremo con una esponja finalmente se enjuago con abundante agua.

b) Limpieza y mantenimiento de las Bandejas Flotantes

Se procedió a reparar las bandejas flotantes sellando con cinta adhesiva los orificios del plástico para evitar fugas de la solución nutritiva seguidamente se procedió a la limpieza con detergente y una desinfección con hipoclorito de sodio al 1%, en seguida se enjuago con mucha agua para eliminar residuos de lavandina o detergente.

c) Limpieza y mantenimiento del sistema NFT

Se procedió a la limpieza del sistema NFT de ambos módulos se empezó por los canales de cultivo empleando una botella atada por una cuerda para restregar utilizando hipoclorito de sodio al 1% más detergente y se enjuago varias veces igualmente se lavó los tanques y retornos.

En el mantenimiento del sistema NFT se renovó los retornos; mangueras corrugadas debido a que estaban algasas y con filtraciones seguidamente se realizó la nivelación de los canales de cultivo a un 1.5%, también se reparó las mangueras de alimentación (micro mangueras) verificando igualmente si tenían algunas fugas.

3.3.3. Preparación de sustratos

a) Preparación de sustrato para Siembra

El sustrato que se utilizó fue una esponja de poliuretano con 3 cm de grosor, el cual se fraccionó en cuadrantes de (50x50) cm, posteriormente se moldeó los alveolos para

después perforar con un alambre caliente, finalmente se procedió al corte de líneas verticales de 2.5 cm de distancia.

b) Preparación de sustrato para Bandejas Flotantes

Se procedió a elaborar plataformas flotantes para tal efecto se cortó láminas de plastroformo a una sección de (50x50) cm, cada plataforma se forro con un nylon (bicapa celeste y negro) para evitar que las algas se impregnaran a continuación, se moldeo 49 alveolos en la plataforma y se perforo con un tubo galvanizado previamente calentado.

c) Preparación de vasitos de sujeción para los plantines

Para tal efecto se perforo 1100 vasos de plástico de 180 ml para el soporte de los plantines de lechuga en el sistema NFT, para lo cual se procedió al calentado de un tubo galvanizado para perforar la base del vaso, seguidamente se realizó 5 perforaciones con un alambre a los laterales del vaso para mejorar el sistema de oxigenación y evitar pudriciones de tallo o posibles enfermedades a causa de la humedad igualmente se realizó cortes verticales a los vasos.

3.3.4. Siembra

La siembra se realizó el 1 de noviembre del 2021, como primer paso se procedió al conteo de 1100 semillas peletizadas de las variedades Kristine y Crocantela, seguidamente se procedió a humedecer el sustrato para luego sembrar proceder a sembrar depositando semillas en los alveolos, para finalmente cubrirlos con un nylon negro para brindarle humedad, oscuridad y temperatura a las semillas.

El sustrato se humedeció una vez al día durante los primeros días, después de la emergencia de la semilla se rego dos veces al día, pero esto dependió de la humedad del sustrato en ese momento. Para este procedimiento se utilizó medio litro de agua, cuidando de evitar encharcamientos para prevenir enfermedades en el cultivo.

A los 4 días se retiró el nylon negro con la finalidad de generar hojas verdaderas a partir de ese momento se procedió a cubrir con manta térmica para proteger del sol directo. Finalmente se realizó un monitoreo diario hasta los 12 días de germinación.

3.3.5. Formulación de solución nutritiva

a) Análisis químico del agua de riego

Para el análisis químico del agua, se llevó al laboratorio 1000 ml de muestra de agua del lugar de la investigación al Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA) de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) ubicado en Cota Cota donde se realizó un análisis químico de las cantidades de cada elemento esencial para el cultivo de lechuga, cuyos parámetros se pueden apreciar en el (Anexo 1).

b) Cálculo de la solución nutritiva a través de la formula Hortícolas Chui 2020

Para determinar las concentraciones del Nivel 1 y el nivel 2, se utilizó de referencia la fórmula de solución nutritiva de la Empresa “Hortícolas Chui” del año 2020, esta fórmula la empresa obtuvo a partir de las investigaciones realizadas en el lugar, formula que se puede apreciar en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Fórmula de solución nutritiva de “Hortícolas Chui” del 2020

Requerimiento del cultivo de Lechuga Hidropónica (ppm)															
NO ₃ ⁻	N- NH ₄	P	K	Mg	Ca	S	Fe	Zn	B	Cu	Mo	Na	Si	Cl	Mn
170,0	26,9	36,9	245	50	159,5	89,54	5.00	0,05	0,50	0,084	0,05	2,10	0,001	56.00	0,50

Fuente: Hortícolas Chui (2020)

c) Cálculo de solución nutritiva con el programa Hidrobuddy

Para la formulación se utilizó el programa software Hidrobuddy el cual nos ayudó a determinar la cantidad de fertilizantes químicos que requiere el cultivo de Lechuga, se realizó el cálculo para 1000 litros de solución nutritiva a partir de eso se realizó cálculos para el volumen requerido. Se tomó en cuenta los requerimientos de macro elementos y micro elementos esenciales del cultivo de Lechuga. Se utilizó una concentración N (Nitrógeno) 33%, P (Fosforo) 15%, K (Potasio) 52% para el Nivel 1 y para el nivel 2 N (Nitrógeno) 33%, P (Fosforo) 25%, K (Potasio) 42%. La fórmula obtenida se puede observar en el (Cuadro 6).

Cuadro 6. Formulación de Solución nutritiva

NIVEL	NO ₃ ⁻	N-NH ₄	P	K	Mg	Ca	S	Fe	Zn	B	Mn	Cu	Mo	Cl
1	170.0	20.0	38,0	245.0	50.0	160.0	69,66	5.00	0,05	0,50	0,50	0,01	0,05	17,27
2	163	20.0	61.0	200.0	50.0	160.0	60,61	5.00	0,05	0,50	0,50	0,01	0,05	1,8

Fuente: Propia a base de la fórmula de Hortícolas Chui (2020)

3.3.6. Preparación de Solución Nutritiva

a) Pesado de fertilizantes para la solución nutritiva

Para realizar este procedimiento se utilizó recipientes de plástico en los cuales se procedió al pesado de los macronutrientes en una balanza de 5 kg y los micronutrientes en una pequeña balanza de 500 g y se verifico si la unidad estaba en gramos, se procedió a medir para un específico volumen de solución nutritiva para el Nivel 1 y 2 de manera exacta para después diluirlos, cuyos pesos se pueden observar Anexo 3.

b) Dilución de fertilizantes

Para la dilución de los fertilizantes se empleó baldes de plástico en los cuales diluyeron en un definido volumen de agua, para el grupo de fertilizantes nitrogenados se utilizó 3 litros de agua y para el grupo de fosfatos más sulfatos se utilizó la misma cantidad, posteriormente se disolvió 5 minutos con una paleta por cada fertilizante añadido al agua hasta que quedo del todo disuelto.

Para los micronutrientes se diluyo en 1 litro de agua donde se disolvió por 5 minutos, el sulfato de hierro se diluyo en 0.4 litros donde se rebajó a un pH ácido con 3 ml de di ácido.

c) Preparación de Solución nutritiva para Bandejas Flotantes al 50%

Las bandejas flotantes tenían una capacidad de 80 litros, entonces se utilizó dos bandejas por nivel. Se preparo solución nutritiva para un volumen 40 litros que es el 50% del volumen total de la bandeja. En un bañador se puso agua la mitad de lo que se iba a preparar y se realizó la corrección de pH. Una vez diluido las sales minerales se agregó en orden de nitrogenados, sulfatados y micronutrientes al agua titulada con pH de 6.0, finalmente se agito suavemente el cual se administró a las bandejas flotantes con una paleta y se mezcló homogéneamente.

d) Dosificación de la solución nutritiva en bandeja flotante del 10% hasta el 80% de concentración

Pasado una semana se añadió el 10% de solución nutritiva así también cada semana se agregó hasta alcanzar el 80% en las bandejas flotantes. Para este procedimiento se separó el 10% de SN de las bandejas, se preparó solución nutritiva en un bañador donde se agregó los fertilizantes diluidos en orden (Nitrogenados, fosfatos más sulfatos y micronutrientes), después se agito despacio y se distribuyó a las bandejas flotantes, cuya concentración se puede observar Anexo 4.

e) Preparación de solución nutritiva en el Sistema NFT

La preparación de solución nutritiva se realizó para 250 litros por nivel, se llenó 50% de agua a cada tanque después se agregó los fertilizantes diluidos de cada Nivel, en seguida se agito suavemente y se aforo a 250 litros con agua, posteriormente se tomó una muestra el cual se corrigió la conductividad eléctrica hasta llegar a 1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el pH finalmente se corrigió a 6.5.

3.3.7. Calibración de equipos

Para el empleo del equipo antes de empezar a utilizar se realizó una limpieza a los equipos, para esto se mantuvo el equipo apagado posteriormente se lavó con agua del grifo y agua destilada, así también se secó delicadamente con papel secante.

La calibración de equipos se realizó antes de empezar la investigación, el conductímetro marca (HANNA), se calibro con una solución buffer HI 70300 y para calibrar el peachimetro (APERA) se utilizaron la solución buffer (4.01, 7.01).

Se realizo una limpieza de los electrodos de los equipos en el transcurso de la investigación el cual consistió en limpiar con agua de grifo seguidamente con agua destilada y finalmente se introdujo a la solución Cleaning 7061 por un tiempo de una hora en posición vertical, pasado el tiempo se sacó los equipos, finalmente se lavó con agua de grifo.

3.3.8. Titulaciones

a) Titulación del Agua del lugar

El agua del lugar presenta pH de 8.4 al ser un agua con la presencia de bicarbonatos y carbonatos para evitar la precipitación de los fertilizantes se realizó una corrección antes de preparar la solución nutritiva para las bandejas flotantes y el sistema NFT para esto lleno con agua al 50% en el recipiente después se tomó una muestra de 200 ml donde se agregó pequeña cantidad de mezcla de ácidos (HNO_3 con una concentración de 0.2 N y H_3PO_4 con 0.01 N), y se redujo hasta los rangos 5.5-6.5.

b) Titulación del pH de la solución nutritiva para Bandejas Flotantes y Sistema NFT

Se corrigió el pH de la solución nutritiva antes de añadir a las bandejas flotantes con bicarbonato de sodio (NaHCO_3 con una concentración de 0.45 N), para evitar reacciones en la solución nutritiva. En el periodo de desarrollo en las bandejas igualmente se realizó correcciones de pH manejando entre los rangos de 5.5 a 6.5 debido a las subidas y bajadas del pH, también en el sistema NFT se realizó correcciones de pH tratando de mantener en los rangos adecuados.

3.3.9. Corrección de la conductividad eléctrica y total de sólidos disueltos en bandejas flotantes y sistema NFT

Para tal procedimiento se realizó un cálculo con el cual se determinó el volumen de agua a agregar para lograr bajar la conductividad de rangos iguales o mayores a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

3.3.10. Programación del temporizador

Para el desarrollo del cultivo en el sistema NFT se realizó la programación tomando en cuenta las necesidades del cultivo también los factores climáticos para ello se utilizó un temporizador digital para un riego automático, se utilizó en total 45 diferentes frecuencias de riego y tiempo de riego.

3.3.11. Trasplante

a) Trasplante de las plántulas de lechuga a las bandejas flotantes

El trasplante se realizó el 12 de noviembre de 2021, 11 días después de la siembra se procedió a fraccionar en cuadrados de 2.5 cm para luego introducir a los alvéolos en las

plataformas flotantes, considerando que la raíz debería estar sumergidas en la solución nutritiva, mientras se verifico que la plántula no tenga lesiones y sus raíces no se encuentren rotas.

b) Trasplante definitivo de Lechuga al Sistema NFT

Para este procedimiento el trasplante se realizó el 27 de diciembre de 2021 a los 43 días después del trasplante a bandejas flotantes, se empezó a sacar plantas de las bandejas flotantes, después se limpió con agua delicadamente las raíces y hojas, también se eliminó hojas viejas, seguidamente se introdujo el plantin a los vasos elaborados, a medida que se fue lavando se trasplanto a los canales de cultivo revisando que la raíz quede en contacto con la lámina de solución nutritiva.

3.3.12. Monitoreo del cultivo

a) Monitoreo de almacigo

El monitoreo consistió en revisar diariamente las semillas sembradas, se verifico la humedad, la germinación, el desarrollo de los cotiledones y la presencia de enfermedades y plagas.

b) Corrección de epicótilos alargados

Para tal procedimiento se realizó una corrección de epicótilos a las plántulas que se desarrollaron erguidos el cual se reacomodo el epicótilo delicadamente en el mismo sustrato sin causarle lesiones finalmente se puso en las platabandas flotantes.

c) Corrección de hojas de la Variedad Crocantela

Para la corrección de hojas de la variedad de crocantela se procedió a la apertura de las hojas el cual se realizó por las tardes debido a la temperatura las hojas son más flácidas, la finalidad de la corrección fue porque la variedad tiende a enrollarse y además ese enrollamiento causa enfermedades a las hojas jóvenes.

d) Retiro de vasos de los canales de cultivo

Se procedió a retirar los vasitos en la tercera semana después del trasplante al sistema NFT para evitar enfermedades para esto se sacó la planta del canal del cultivo

seguidamente se abrió el vaso cuidadosamente, después de realizar el anterior paso se volvió a poner la planta en el mismo lugar sin dañar la raíz.

e) Oxigenación de las bandejas flotantes

La oxigenación en las bandejas flotantes se realizó tres veces al día durante 5 minutos, empleando una paleta de plástico realizando movimientos circulares creando burbujas para darle oxígeno a la solución nutritiva tomando en cuenta que las raíces en la platabanda se mantengan en sombra y no sean expuestas al sol ya que esto quemaría sus raíces.

3.3.13. Monitoreo de la solución nutritiva en bandejas flotantes y sistema NFT

El procedimiento de monitoreo de la solución nutritiva se realizó cada día, donde se tomó muestras de 250 ml a las 8:00 am y por las tardes a las 14:00 pm de las bandejas flotantes y en el sistema NFT se evaluó los siguientes parámetros:

a) Potencial de Hidrogeniones (pH)

Para determinar el potencial de hidrogeniones se midió con un peachimetro (APERA), dos veces al día verificando el rango 5.5 - 6.5. Durante el ciclo del cultivo el pH fue variable y se realizó correcciones con reactivos titulantes como el Bicarbonato de Sodio y la mezcla Di ácida.

b) Conductividad Eléctrica (CE) y Total de Sólidos Disueltos (TDS)

La conductividad eléctrica y total de sólidos disueltos se midió desde el primer trasplante hasta el definitivo en los canales, igualmente se registró dos veces al día con el conductímetro (HANNA) revisando que no sobrepasara los 2300 uS/ cm se tomó dos veces al día y en el momento de cambios de solución nutritiva.

c) Oxígenos Disueltos (OD)

En las bandejas flotantes se midió 6 veces por día durante todos los días igualmente en el sistema NFT se registró en la mañana junto con los demás parámetros y en tarde de igual manera. Cada 7 días se tomó muestras del sistema NFT de los tubos de alimentación e igualmente de los retornos de ambos niveles en el cual se evaluó oxígenos disueltos y saturación con un oxímetro sumergible esperando un minuto para registrar los datos obtenidos.

d) Temperatura de la solución nutritiva

Para evaluar la temperatura se inició desde las bandejas flotantes hasta el sistema NFT y se registró el último día en la cosecha la temperatura de la solución nutritiva juntamente con el pH introduciendo a la solución nutritiva, se realizó con el peachimetro ya que el equipo tiene la capacidad de medir también la temperatura en unidades de Celsius (°C).

e) Volumen de la solución nutritiva

El volumen de la solución nutritiva de ambos se registró dos veces al día con una regla de madera ya previamente marcado, se anotó en la mañana el volumen real a las 7:59 antes que riegue, en la tarde se evaluó el volumen crítico a horas 13:39.

3.3.14. Monitoreo de Variables climáticas

a) Temperatura del ambiente

Para este procedimiento se registró diariamente las temperaturas máximas y mínimas desde la siembra hasta el día de la cosecha con un termómetro digital en el cual se tomó el dato a las 8:00 am.

b) Luminosidad

Para determinar la luminosidad se midió a partir del trasplante definitivo una vez a la semana en la mañana a las 8:00 am, a media mañana a las 11:00 am y por la tarde a las 15:00 pm con la ayuda de un luxómetro con una aplicación llamado Lux Meter en unidades de lux.

3.3.15. Monitoreo de deficiencia y exceso

El monitoreo se realizó cada semana en el cual se registró en una planilla de campo, para tal efecto se observó todos los órganos de la planta revisando síntomas visibles presentar de deficiencia o exceso de los elementos esenciales para la planta

3.3.16. Manejo fitosanitario

3.3.16.1. Monitoreo de plagas

Para este procedimiento se observó las muestras el cual se registró en planillas de campo cada semana. Se reviso toda la planta, se cuantifico el número de pulgones o moscas blancas que son principales plagas en la lechuga hidropónica, al detectar alguna plaga se realizó un control manual finalmente se aplicó un control orgánico.

a) Control orgánico

Para el control de plagas se realizó preparaciones insecticidas orgánicos el cual se aplicó cada 15 días se elaboró a base de cebolla, ajo, detergente en polvo limón y alcohol.

Para elaborar el insecticida se picó finamente en cuadraditos 5 cebollas rojas después se machacó 5 dientes de ajos y se añadió en 5 litros de agua en un balde. Seguidamente se exprimió 3 limones a la mezcla, luego se puso 10 cucharas de detergente en polvo y se agitó suavemente sin crear espuma como último paso se agregó 128 ml de alcohol, esta mezcla se hizo reposar 24 horas, para la dosificación se utilizó 1 litro de la preparación para 20 litros de agua.

b) Preparación de trampas fotocromáticas

Para el montaje de las trampas fotocromáticas se procedió al embadurnado a base de una mezcla de aceite y azúcar, se fraccio cuadrado de 50 cm por 50 cm de nylon, después con una brocha se embadurnó el nylon por ambos lados. Se colgó a una distancia de 1.80 m del piso y se revisó que no escurra a la solución nutritiva ya que podría quemar las raíces, el cambio de las trampas amarillas se renovó cada 7 días para que los insectos queden adheridos.

c) Control químico de plagas

Un control preventivo químico fue aplicado cada 15 días el cual se utilizó diferentes plaguicidas fumigando solo el ambiente y no a las lechugas. Se intercalo los plaguicidas para evitar una resistencia de áfidos con una dosis de 5 ml para 20 litros. Para la aplicación de plaguicidas se tomó precauciones con la vestimenta (Se utilizó como protección un impermeable, mascarilla y guantes). Los plaguicidas que se utilizó son Machazo HC,

THODOTRIN 250, STERMIN 600 SL y CYPERTRIN 250 EC. Terminando de fumigar se realizó la limpieza de recipientes, la ropa finalmente se realizó un aseo personal.

3.3.16.2. Monitoreo de enfermedades

Se realizó un monitoreo cada 7 días, donde se registró en una planilla de campo las muestras de ambos niveles, los cuales se observó la sintomatología de cada planta y se identificó la enfermedad, entre ellas se identificaron (Rhizoctonia, Phytium, Oídio y Fusarium los cuales se pueden observar en el Anexo 25, para controlar estas enfermedades se aplicó un control orgánico a base de fungicidas orgánicos y desinfectantes.

a) Elaboración de caldo sulfocálcico

Para un control preventivo se procedió al fumigado cada 15 días con el caldo elaborado a base de azufre y cal. Para preparar el fungicida se puso a hervir 5 litros de agua a fuego fuerte con 200 g de Cal y 200 g de azufre durante 45 minutos hasta que tome un color naranja rojizo. Después se reposó 48 horas luego se procedió al filtrado con una tela y se aforó a 5 litros por la pérdida de volumen en la ebullición. La dosificación que se utilizó fue medio litro del fungicida para 20 litros.

b) Elaboración de fungicida a base de canela

Se preparó también un fungicida a base de canela, miel el cual se diluyó con 40 g de canela molida en medio litro de agua tibia seguidamente tres cucharas de miel, después se destiló varias veces y se puso en un atomizador para aplicar a las raíces dañadas por enfermedades.

3.3.17. Protocolo de toma de muestras

a) Muestras líquidas

Para recolectar muestras se recicló botellas PET antes de utilizarlas se realizó una limpieza con detergente posteriormente se enjuagó con abundante agua varias veces. Cada semana se tomó muestras de agua (H₂O_{ST}, H₂O_T) y solución nutritiva (SN Nueva, SN Corregida., SN Antigua) con un volumen de 300 ml por muestra, todas las muestras se guardaron en un lugar fresco, seco y oscuro los cuales fueron enviados a un laboratorio a analizar.

b) Muestras de hojas

Para este procedimiento se tomó muestras del nivel 1 y 2, el cual se lavó minuciosamente las hojas con agua y se desmembró las hojas. Se codificó a cada una de las muestras después de hermetizarlos se conservó a 4 °C, posteriormente se llevó al horno a deshidratar a 60 °C durante 24 horas.

c) Validación de muestras orgánicas y líquidas

La validación de muestras líquidas se realizó juntamente con el supervisor Ing. Cosme Huanca Chui donde cada una de las muestras orgánicas después de la deshidratación en el horno se revisó el estado de la misma y con la aprobación del supervisor se llevó al laboratorio. Las muestras líquidas obtenidas en el transcurso de la investigación de igual manera se revisó si los parámetros estuviesen correctos por el supervisor y según se fue revisando se desarrolló un cuadro donde se puede observar en el Anexo 24.

3.3.18. Cosecha y postcosecha

Se procedió a realizar la cosecha a los 104 días después de la siembra, cuando las plantas alcanzaron el tamaño adecuado para su comercialización, se retiró por la mañana una a una las lechugas de los canales de cultivo.

a) Recorte de raíz y eliminación de hojas secas

Posterior a la cosecha, se procedió al corte de las raíces sin cortar la principal raíz para evitar la deshidratación del producto, como segundo paso se recortó los bordes quemados de las hojas. Hojas viejas mencionar

b) Limpieza

Para la limpieza del producto se lavó en un recipiente con agua y detergente con una esponja tratando de no lesionar las hojas, seguidamente se enjuagó con abundante agua y se realizó un control de calidad revisando desde hojas dañadas hasta plagas o enfermedades presentes.

c) Empaquetado

Para el empaquetado se utilizó una bolsa celofán de 30x40 cm ya previamente etiquetadas con códigos de barra, donde se empaquetó manualmente en la bolsa en forma de ramo,

seguido esto se sujetó con masking. Para conservar las lechugas frescas se llevó a un lugar frío para después distribuirlos.

d) Distribución y venta

Los productos empaquetados se trasladaron a la Ciudad de La Paz donde se procedió a distribuir las lechugas hidropónicas entre los supermercados de Ketal, Hospitales, tiendas de barrio y mercados.

3.4. Variables de respuesta

3.4.1. Variables agronómicas

a) Porcentaje de germinación

Para evaluar el porcentaje de germinación de las variedades Crocantela y Kristine se realizó un conteo diario donde se registró el número de emergidos de las plántulas y el número de días desde la siembra.

b) Altura de Planta (AP)

La altura de planta se evaluó desde bandejas flotantes hasta el sistema NFT con una regla en unidades de cm, la medición se realizó desde el nudo vital que se encuentra en la base del tallo de la planta hasta la hoja más alta que se pudo observar, a medida que las plantas iban creciendo se midió cada 7 días las 120 muestras del nivel 1 y del nivel 2 se tomó 120 muestras hasta el día de la cosecha.

c) Número de Hojas (NH)

La evaluación del número de hojas se realizó a través del conteo cada 7 días desde las bandejas que empezó por tener solo dos cotiledones que no se contaron y solo se contó hojas verdaderas, también no se tomó en cuenta las hojas muertas y muy pequeñas.

d) Diámetro de Tallo (DT)

Para determinar el diámetro de tallo de la planta se utilizó un vernier digital que midió en unidad de mm, para conocer el dato se encendió el vernier digital, se revisó la medida en mm, para evaluar el diámetro se rodeó el nudo vital de la planta con la pata fija y pata móvil del vernier.

e) Largo de Raíz (LR)

El largo de raíz se evaluó en el momento del trasplante, se empleó una regla para medir en unidades de cm desde el nudo vital hasta la punta más larga de la raíz, teniendo en cuenta que no se debe jalar por que se causaría lesiones a la raíz.

f) Largo de Pan de Raíz (LPR)

El largo de pan de la raíz se midió con una regla el cual se midió en unidades de mm, como el canal del cultivo tiene una dirección horizontal, por lo tanto, la raíz se desarrolló horizontalmente, entonces el largo se midió de extremo a extremo.

g) Volumen de Raíz (VR)

Para determinar el volumen de raíz de la planta se empleó un vaso de precipitados de 1000 ml, se agregó 200 ml de agua luego se escurrió el excedente de agua de la esponja (sustrato), posteriormente se sumergió la planta con la ayuda de una pipeta se retiró el agua sobrante y se recolecto en una probeta entonces se registró como volumen de la raíz el agua recolectada

h) Área Foliar (AF)

Para el procedimiento se tomó fotografías a las 240 muestras de ambos niveles, para luego calcular el área foliar con un programa software ImageJ, estas fotografías fueron tomadas desde un plano cenital con fondo blanco enfocando toda la planta.

i) Índice de Área Foliar (IAF)

Para esto se procedió a tomar muestras de ambos niveles los cuales se lavaron cuidadosamente con agua y se desmembró las hojas de cada planta después se tomó fotografías desde un plano cenital con fondo blanco, para después determinar el índice de área foliar con el programa ImageJ.

j) Peso Fresco (PF)

En la cosecha se evaluó las 120 muestras del nivel 1 y 120 muestras del nivel 2, para esto se utilizó una balanza de 5 kg para pesar la planta se exprimió cuidadosamente el excedente de agua finalmente se registró el peso fresco en gramos.

k) Rendimiento

Para determinar el rendimiento se trazó sobre la superficie del suelo un metro cuadrado para determinar cuántas lechugas entraban en un 1 m² se cuantifico 4 lechugas en un canal de cultivo y como se tubo 6 canales de cultivo, entonces en 1 m² entraron 24 plantas de lechuga, posteriormente se pesó en gramos con una balanza.

3.5. Análisis económico

3.5.1. Costo Variable (CV) y Costos Fijos (CF)

Costo variable es la que incurre la empresa y guarda dependencia importante con los volúmenes de fabricación. Costos fijos son aquellos en los que incurre la empresa y que en el corto plazo o para ciertos niveles de producción, no dependen del volumen de productos. Dentro de la visión general, el costo total es la suma del costo fijo total con el costo variable total, el costo variable total consta del producto entre el costo variable unitario y la cantidad.

$$CT = CF + CV*Q$$

Donde:

CT = Costo Total

CF = Costo Fijo

CV = Costo variable

Q = Cantidad

3.5.2. Beneficio Bruto (BB)

Se utilizo la siguiente formula que recomienda CIMMYT (1988):

$$BB = P*NPIs$$

Donde:

BB = Beneficio Bruto (Bs/N° de plantas de todo el tratamiento)

P = Precio por planta (Bs/ unidad de planta)

NPIs = Numero de plantas (cantidad de plantas por tratamiento)

3.5.3. Beneficio Neto (BN)

Se obtuvo por la diferencia del total de los costos variables del beneficio bruto con la relación que recomienda CIMMYT (1988).

$$\mathbf{BN = BB - CV}$$

Donde:

BN = Beneficio Neto (Bs/tratamiento)

BB = Beneficio Bruto (Bs/N° de plantas de todo el tratamiento)

CV = Costo Variable (Bs/tratamiento)

3.5.4. Relación Beneficio/Costo

CATIE (1994), manifiesta que resulta de dividir el ingreso bruto entre el costo total. En el caso de analizar la factibilidad de tecnologías nuevas a través de un presupuesto parcial, este índice se puede calcular tomando en cuenta solo los costos variables.

$$\frac{\mathbf{B}}{\mathbf{C}} = \frac{\mathbf{BB}}{\mathbf{CV}}$$

Donde:

BN = Beneficio/Costo

BB = Beneficio Bruto (Bs/N° de plantas de todo el tratamiento)

CV = Costo Variable (Bs/tratamiento)

3.5.5. Flujo de caja

La realización del flujo de caja no se muestra complejo si es que la empresa que lo realiza tiene al día todos los datos organizados, que son necesarios para el cálculo. Según De Guindos y Martin (2019) y Apaza (2010), el procedimiento sigue la siguiente secuencia:

- a) Obtienes el “Beneficio Bruto”, el cual se obtiene con la sustracción de las ventas menos los costos.
- b) Al “Beneficio Bruto” se le resta los gastos de ventas y también los gastos amortizables; asimismo, se le suma otros ingresos. Con ello se obtendrá el EBIT o también conocido como beneficio antes de impuestos e intereses.
- c) Se le añaden los gastos por pronto pago, obteniendo de esta manera el flujo de caja bruto.
- d) Al flujo de caja bruto se le disminuye la inversión en activo circulante operativo y la inversión en activo fijo operativo, obteniendo el flujo de caja libre.

3.6. Diseño experimental

El presente Trabajo de investigación se realizó a través del diseño jerárquico o anidado con Bloques Anidados en el factor del Nivel con 4 tratamientos.

Por lo que el modelo lineal aditivo es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta(\alpha) + \gamma_j + \alpha\gamma_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Una observación cualquiera de la variedad de respuesta

μ = Media poblacional

α_i = Efecto de i-esimo nivel (NPK)

$\beta(\alpha)$ = Efecto de bloques anidados en el Factor del nivel (NPK)

γ_j = Efecto de la j-esima variedad

$\alpha\gamma_{ij}$ = Efecto de la interacción del i-esimo nivel de NPK y el j-esimo variedad de la lechuga

ϵ_{ijk} = Error experimental

3.6.1. Factores de estudio

Factor A: Son dos niveles de NPK

$a_1 = 33\% \text{ N, } 15\% \text{ P, } 52\% \text{ K.}$

$a_2 = 33\% \text{ N, } 25\% \text{ P, } 42\% \text{ K.}$

Factor B: Son dos variedades de Lechuga

$b_1 = \text{Variedad Crocantela}$

$b_2 = \text{Variedad Kristine}$

3.6.2. Formulación de tratamientos

Cuadro 7. Formulación de tratamientos

TRATAMIENTO	NIVEL		VARIEDAD
T1 (a_1, b_1)	(33% N, 15% P ₂ O ₅ , 52%K ₂ O)	NIVEL 1	Crocantela
T2 (a_1, b_2)	(33% N, 15% P ₂ O ₅ , 52%K ₂ O)	NIVEL 1	Kristine
T3 (a_2, b_1)	33% de N _T , 25% P ₂ O ₅ , 42% K ₂ O	NIVEL 2	Crocantela
T4 (a_2, b_2)	33% de N _T , 25% P ₂ O ₅ , 42% K ₂ O	NIVEL 2	Kristine

Fuente: Propia

3.6.3. Croquis Experimental

El invernadero tiene un total 185 m² en el cual el sistema NFT cuenta con dos pirámides que tiene una altura de 2.8 metros y un ancho de 1.8 m. Los canales de cultivos tienen un largo de 16 m con un diámetro de 4 pulgadas, la distancia entre canales de cultivo es de 30 cm.

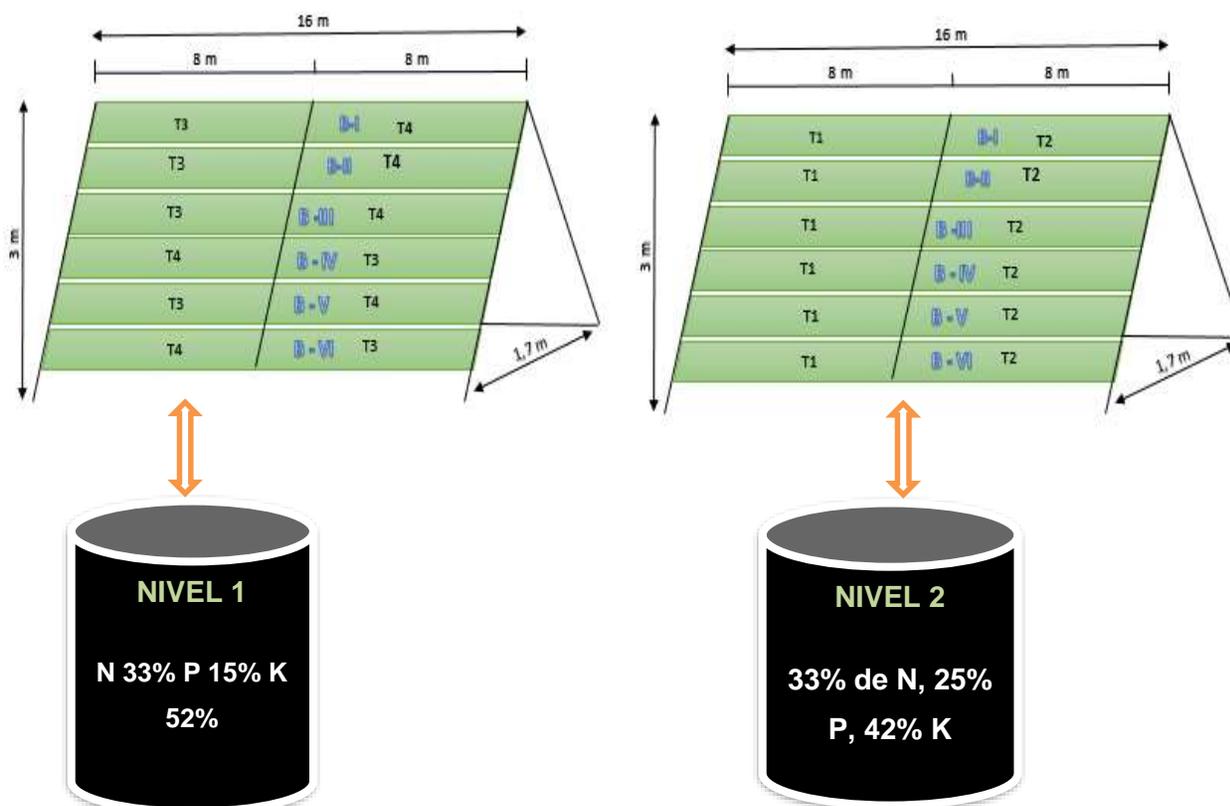


Figura 5. Croquis Experimental

Cada módulo cuenta con 12 canales de cultivo con su respectivo tanque de distribución, cada canal de cultivo distribuye a 44 plantas y se tuvo 240 muestras experimentales con 24 bloques con 4 tratamientos en estudio.

Cuadro 8. Superficie del área de investigación

	Medida	Unidad
Área total del invernadero	18.5	m ²
Largo del invernadero	18.5	m
Ancho del invernadero	9	m
Largo del sistema NFT	16	m
Ancho del sistema NFT	1.8	m
Altura del sistema NFT	2.8	m
Diámetro de canal de cultivo	4	Pulgadas
Distancia entre canal de cultivo	30	cm
Distancia entre planta	34	cm

Fuente: Hortícolas Chui (2021)

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Relación entre Temperatura del ambiente y porcentaje de germinación

En la Figura 6, se pueden observar los resultados del comportamiento de la temperatura en el invernadero en relación con los porcentajes de germinación diaria de las variedades de lechuga (Variedad Kristine y Variedad Crocantela). La línea roja representa la variedad Kristine, la línea azul representa la variedad Crocantela, y la línea naranja muestra la temperatura del invernadero.

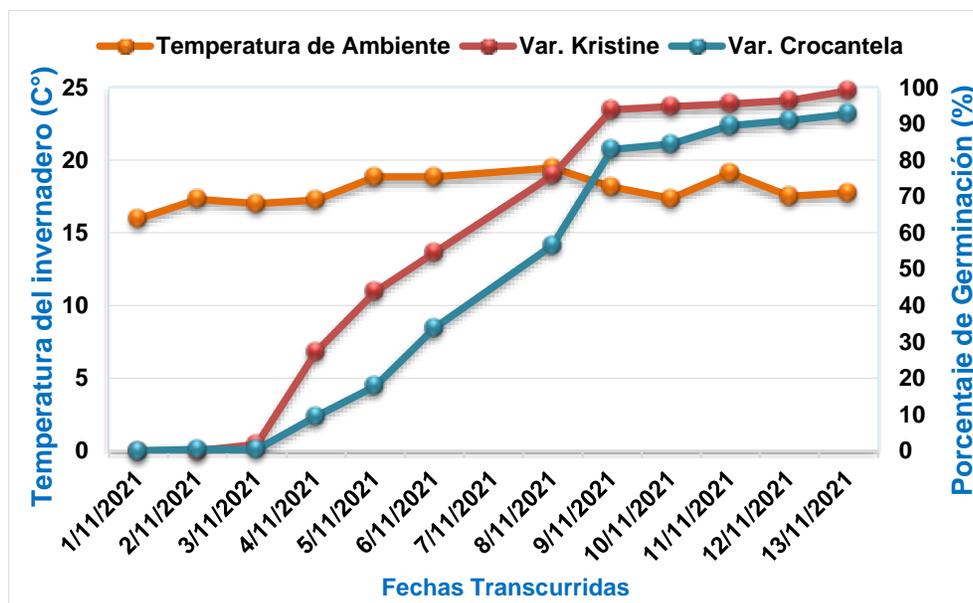


Figura 6. Comportamiento de la temperatura dentro del invernadero con relación al porcentaje de germinación

En la Figura 6, se puede observar que la variedad Kristine inició la germinación en el tercer día y finalizó en el undécimo día con un 99% de germinación. Por otro lado, la variedad Crocantela mostró una germinación más lenta, pero después de nueve días germinó hasta alcanzar un 93.72% en el undécimo día. Al analizar los resultados de la gráfica, se observa que la temperatura del invernadero el día de la siembra fue de 15 °C. Durante el período de almácigo, la temperatura promedio fue de 20 °C. También se obtuvo una temperatura mínima extrema de 3.9 °C y una temperatura máxima extrema de 31.7 °C.

En la Figura 6, se pueden observar las fechas correspondientes al tiempo de almácigo, en las cuales se registró una temperatura adecuada para la germinación de ambas

variedades. Sin embargo, a pesar de esta condición favorable, no se alcanzó el 100% de germinación debido a la presencia de otros factores que pueden influir en el proceso.

Andrade (2022) indica que, en su investigación obtuvo temperatura media del ambiente con 20,41 °C, registrándose también 4,1 como mínima.

Carita (2019) señala que, durante su investigación obtuvo una temperatura del invernadero como promedio una temperatura mínima de 5,1 °C, y una temperatura máxima de 30,8 °C y la temperatura media de 17,97 °C.

Ryder (1999) explica que, la influencia importante en la germinación es la temperatura. La germinación de semillas de lechuga ocurre en un rango óptimo de 18 a 21 °C. Temperaturas sobre 26 °C pueden inhibirla, esto es llamado termo-dormancia.

Andrade (2022) afirma que, a partir del tercer día se obtuvo un 15,4% de germinación en la variedad Kristine. En los siguientes días, se observa un incremento importante, y la variedad Kristine alcanzó un 97%.

Mamani (2021) menciona que, se llegó a un porcentaje de germinación la variedad Crocantela con 96,2% y la variedad Kristine alcanzo un 97,8 %.

4.2. Correlación entre Temperatura del Invernadero y Temperatura de la Solución Nutritiva (de ambos niveles)

En la Figura 7, se pueden observar los puntos de dispersión morados que representan la correlación entre la temperatura ambiente del invernadero y la temperatura de la solución nutritiva del Nivel 1 (33% de N, 15% P₂O₅, 52% K₂O). Estos datos fueron evaluados en función del tiempo de investigación.

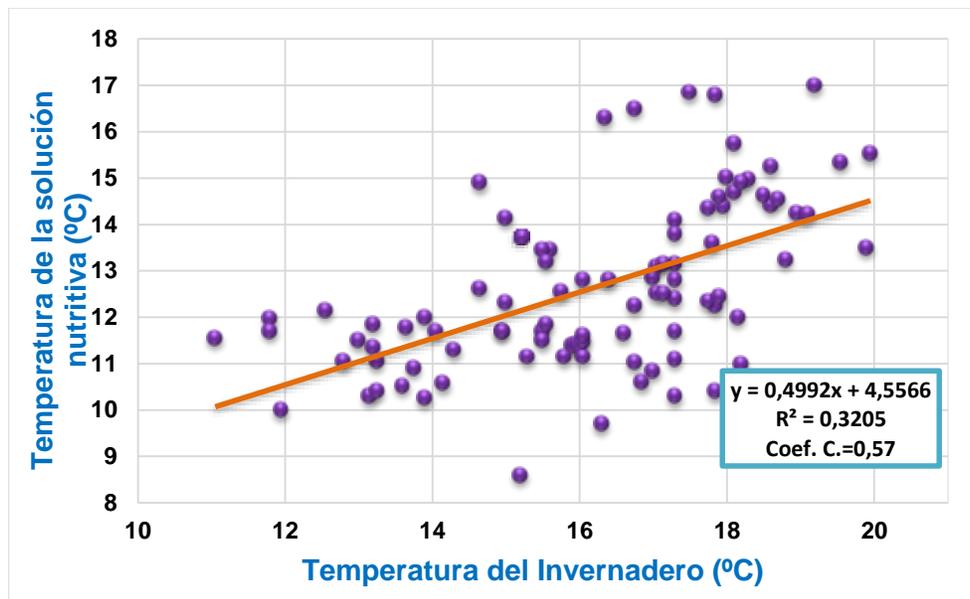


Figura 7. Correlación entre Temperatura del Invernadero y Temperatura de la Solución Nutritiva del Nivel 1 (33% de N, 15% P₂O₅, 52% K₂O)

En la Figura 7, se puede observar una correlación positiva moderada entre la temperatura de la solución nutritiva del Nivel 1 (33% de N, 15% P₂O₅, 52% K₂O), durante el desarrollo del cultivo el coeficiente de correlación obtenido es de 0.57 con una línea de tendencia positiva. Además, el coeficiente de determinación (R²) con un valor de 0.32 indica que aproximadamente el 32% de la variabilidad en la temperatura de la solución nutritiva puede ser atribuida a la temperatura del invernadero.

En la Figura 7, la correlación muestra una relación positiva moderada entre la temperatura del ambiente y la temperatura de la solución nutritiva del nivel 1. Sin embargo, es importante destacar que una correlación positiva no implica que las variables sean completamente dependientes o independientes. Podría haber relaciones no lineales o influencias de otros factores que afecten la relación entre ambas variables. Durante la etapa de investigación se registraron los siguientes valores de temperatura para la solución nutritiva del Nivel 1 (33% de N, 15% P₂O₅, 52% K₂O) un promedio de 12.6 °C, una temperatura máxima promedio de 17 °C y una temperatura mínima promedio de 8.6 °C. En cuanto a la temperatura del invernadero durante el mismo período, se obtuvo un promedio de 16.4 °C, con una temperatura máxima promedio de 31.7 °C y una temperatura mínima promedio de 3.9 °C.

En la Figura 8, se pueden observar los puntos de dispersión rojos que representan la correlación entre la temperatura del ambiente y la temperatura de la solución nutritiva del Nivel 2 (33% de N, 25% P, 42% K) en función del tiempo de investigación. Estos puntos indican la relación entre ambas variables y permiten analizar su comportamiento a lo largo del tiempo.

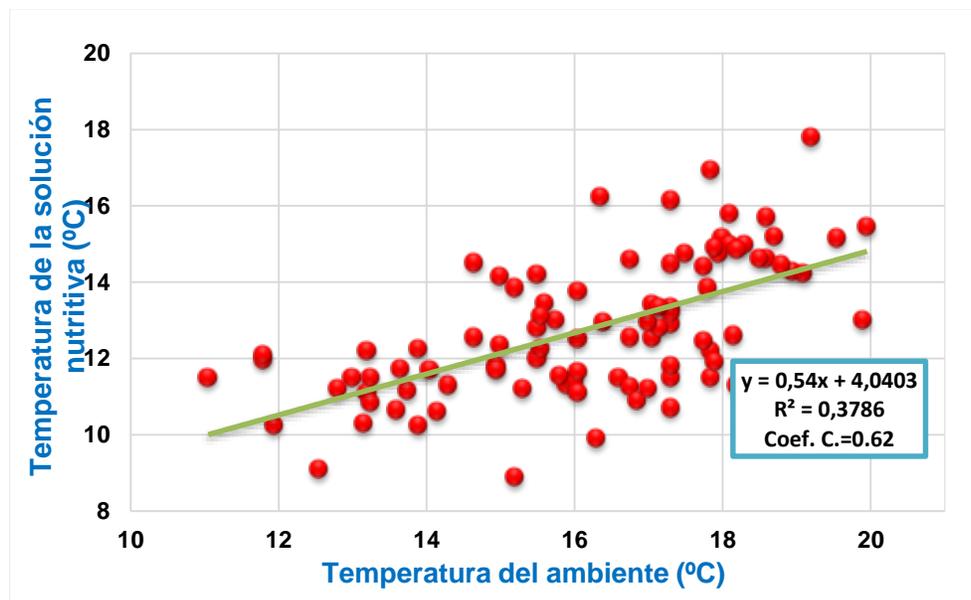


Figura 8. Correlación entre Temperatura del ambiente y Temperatura de la Solución Nutritiva del nivel 2 (33% de N, 25% P₂O₅, 42% K₂O)

En la Figura 8, se observa una correlación positiva fuerte entre la temperatura del ambiente y la temperatura de la solución nutritiva del Nivel 2 donde se obtuvo un coeficiente de correlación de 0,62. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el coeficiente de determinación (R²) es de 0,38 significa que aproximadamente el 38% de la cantidad en la temperatura de la solución nutritiva puede atribuirse a la temperatura del invernadero.

Estos resultados sugieren que otros factores también pueden influir en la temperatura de la solución nutritiva, además de la temperatura del ambiente del invernadero. Por lo tanto, aunque hay una relación positiva fuerte entre ambas variables, es posible que existan relaciones no lineales o que otros factores también desempeñen un papel en la variación de la temperatura de la solución nutritiva del Nivel 2.

Durante la etapa de investigación se registraron los siguientes valores de temperatura para la solución nutritiva del Nivel 2 (33% de N, 25% P, 42% K) un promedio de 12.8 °C,

una temperatura máxima promedio de 17.8 °C y una temperatura mínima promedio de 8.9 °C. En cuanto a la temperatura del invernadero durante el mismo período, se obtuvo un promedio de 16.4 °C, con una temperatura máxima promedio de 31.7 °C y una temperatura mínima promedio de 3.9 °C.

Hadad (2023) señala que, la correlación positiva es cuando un aumento en una variable conduce a un aumento en el otro. Este tipo de correlación puede ser fuerte o débil. Una fuerte correlación positiva significa que las variables están altamente relacionadas.

Cabezas (2018) señala que, en una zona cálida, la temperatura del ambiente del invernadero, supera los 38 °C, pero no se puede permitir que la temperatura del ambiente eleve la temperatura de la solución nutritiva. Evite que la temperatura de la solución nutritiva ascienda valores superiores a 28 °C.

Andrade (2022) afirma que, para el primer tratamiento de solución nutritiva no reciclada la temperatura mínima fue de 11,2 °C, la temperatura máxima fue de 18,3 °C, con un promedio de 14,11 °C. Para la solución nutritiva reciclada obtuvo como mínimo un valor de 11,7 °C y un valor máximo de 24,3 °C con un promedio de 14,7 °C.

Chocata (2023) menciona que, obtuvo temperatura máxima de 31,9 °C, y mínima de 22,2 °C, con una media de 25,7 °C en la localidad de Sapecho. En algunas ocasiones, cuando solía calentar la solución nutritiva por la temperatura elevada, se colocó hielos al tanque, tanto en la mañana como en la tarde de manera gradual, esto nos ayuda a mantener regulado la temperatura de la solución nutritiva evitando el estrés.

Chávez y Medina (2013) señalan que, la temperatura media óptima para el desarrollo normal de la planta de lechuga es 15 a 18 °C con máximas a 21 °C y mínimas de 7 °C. Las temperaturas extremas inducen la emisión prematura de los tallos florales y afectan la calidad del producto de consumo, debido a la acumulación de látex en las venas.

Huanca (2017) indica que, el comportamiento de temperatura de la solución nutritiva en la etapa de bandejas flotantes oscilo entre los rangos de 23 °C como máximo y mínimo 12 °C, en la etapa de sistema NFT presento como la mínima 11,7 °C, la investigación se realizó en la temporada de otoño, no se observaron alteraciones ni deficiencias.

4.3. Correlación entre temperatura del ambiente e Intensidad Lumínica (de ambos niveles)

En la Figura 9, se pueden observar los puntos de dispersión morados que representan el aumento entre la intensidad lumínica y la temperatura dentro del invernadero, estos puntos reflejan la relación entre la intensidad de la luz y la temperatura y permiten analizar su comportamiento durante todo el ciclo de cultivo, desde el trasplante hasta la cosecha.

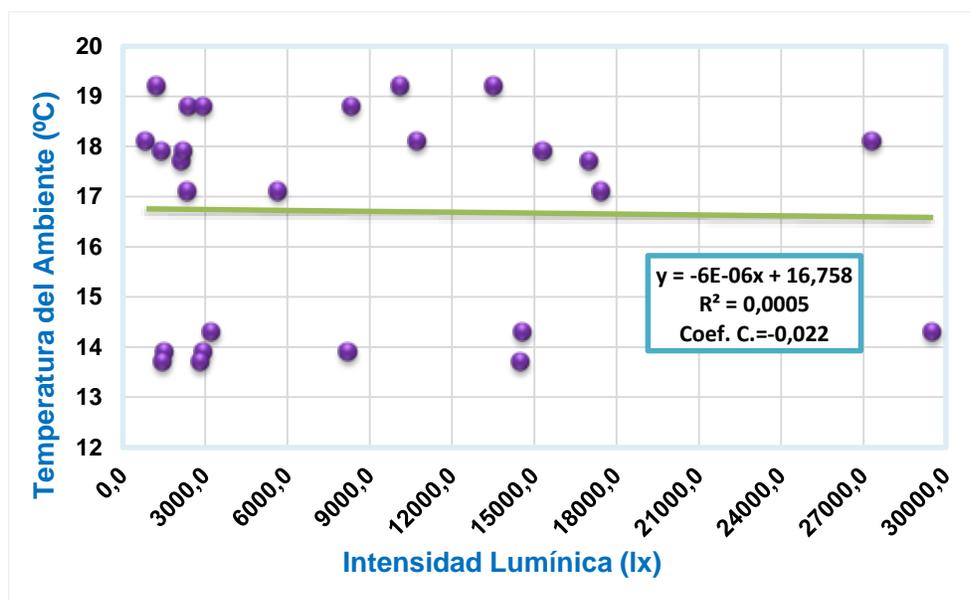


Figura 9. Correlación entre Temperatura del Ambiente e Intensidad Lumínica del Nivel 1 (33% de N, 15% P₂O₅, 52% K₂O)

En la Figura 9, se observa una correlación negativa inexistente entre la temperatura del ambiente y la intensidad lumínica del Nivel 1 (33% de N, 15% P₂O₅, 52% K₂O). El coeficiente de correlación es de -0.022 entre ambas variables, además, el coeficiente de determinación (R²) de 0.0005 sugiere que solo el 0.05% de la variabilidad en la temperatura del invernadero puede ser atribuida a la intensidad lumínica.

Sin embargo, es importante considerar que otros factores como las condiciones climáticas, altitud, latitud y obstrucciones que pueden influir en esta correlación.

En esta investigación se obtuvo una intensidad lumínica máxima promedio fue de 29543.72 lx, con un promedio de 8667.3 lx y una mínima promedio de 856,33 lx. En

cuanto a la temperatura del invernadero, se obtuvo una temperatura máxima promedio de 31.7 °C, un promedio de 16,4 °C y una mínima promedio de 3.9 °C.

Estos datos proporcionan información adicional sobre las condiciones ambientales del invernadero durante los días de evaluación y permiten comprender mejor la intensidad lumínica y la temperatura a lo largo de la investigación.

En la Figura 10, se pueden observar los puntos de dispersión verdes que representan la correlación entre la temperatura del ambiente y la intensidad lumínica del Nivel 2 (33% de N, 25% P₂O₅, 42% K₂O). Estos puntos reflejan la relación entre ambas variables y permiten analizar su comportamiento y posibles relaciones.

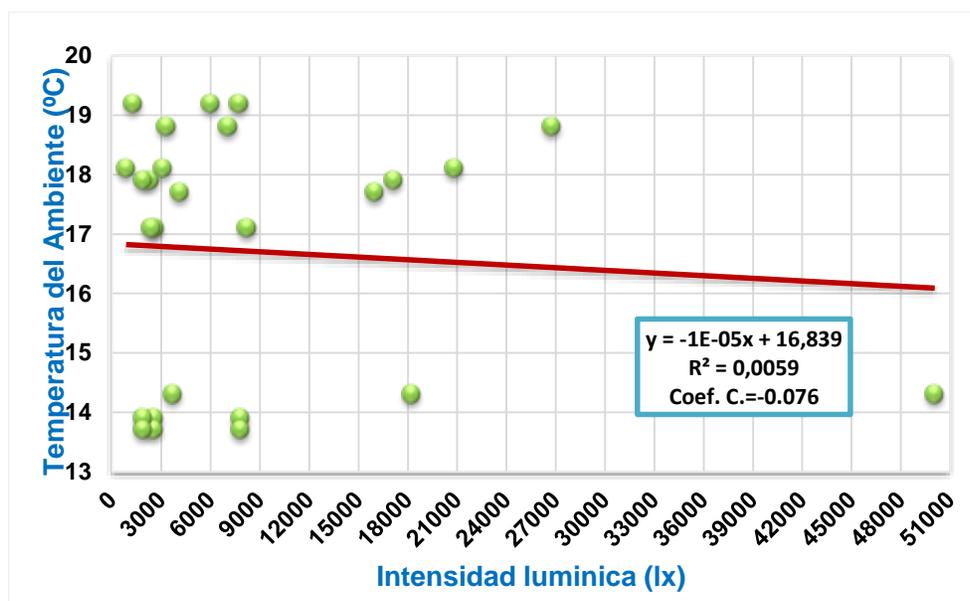


Figura 10. Correlación entre la temperatura del ambiente y la intensidad lumínica del Nivel 2 (33% de N, 25% P₂O₅, 42% K₂O)

En la Figura 10, se observa una correlación negativa inexistente donde el coeficiente de correlación entre la temperatura del ambiente y la intensidad lumínica del Nivel 2 (33% de N, 25% P, 42% K) es de -0,076. Además, presenta una línea de tendencia negativa por otro lado el coeficiente de determinación (R²) es de 0,0059, lo que indica que solo el 0,59% de la temperatura del ambiente puede ser explicada por la intensidad lumínica en el Nivel 2.

La correlación nula entre la intensidad lumínica y la temperatura en el invernadero puede deberse a varios factores. Algunas posibles ambientales además de la intensidad

lumínica, existen otros factores ambientales que influyen en la temperatura del invernadero, como la ventilación, la humedad, la ubicación geográfica y la época del año. Estos factores pueden tener un impacto mayor en la temperatura que la intensidad lumínica en sí misma.

En esta investigación la intensidad lumínica máxima fue de 50062,6 lx, con un promedio de 8789,9 lx y una mínima de 862 lx. En cuanto a la temperatura del invernadero, se obtuvo una temperatura máxima de 31.7 °C, un promedio de 16,4 °C y una mínima de 3.9 °C, estos datos obtenidos proporcionaron información importante sobre las condiciones ambientales en el invernadero durante los días de evaluación.

Cabe destacar que cada invernadero es único y presenta condiciones ambientales específicas, por lo que es importante realizar un análisis detallado considerando todos los factores relevantes para comprender mejor la relación entre la intensidad lumínica y la temperatura.

Bergez (2006) señala que, una gráfica sin relación se presenta cuando las variables, dependiente o independiente, no presentan un comportamiento gráfico definido; ascendente o descendente, o corresponde cuando “y” no se relaciona con “x”, entonces no existe correlación.

Layme (2016) señala que, en su investigación obtuvo un promedio de 31913 lx con una mínima de 6300 lx y máxima 51600 lx en cultivo de lechuga.

Maocho (2009) menciona que, en la fase de crecimiento del cultivo se requiere temperaturas entre 14-18 °C por el día y de 5-8 °C por la noche pues la lechuga exige que exista diferencia entre el día y la noche, puede soportar temperaturas elevadas que las bajas ya que como máxima soporta hasta 30 °C.

Según Hydro Environen (2015), la intensidad de la luz, medida en lux un rango optimo es de 10.000 a 40.000 lux para el cultivo de lechuga. En general, durante la etapa de crecimiento vegetativo, se busca una iluminación más alta para estimular un crecimiento

Por su parte, Gutiérrez et al., (2009), señalan que, el cultivo de la lechuga tiene un rango de temperatura para su desarrollo de 13 a 25 °C, siendo la óptima de 16 a 22 °C, con una temperatura máxima de 25 °C y una mínima de 10 °C.

4.4. Correlación de los parámetros fisicoquímicos en la solución nutritiva

A continuación, se presentan las figuras de correlación de los parámetros físico químicos de la solución nutritiva (potencial de hidrogeniones (pH), conductividad eléctrica (CE), Total, solidos disueltos (TDS) y temperatura de la S.N.).

4.4.1. Correlación entre Temperatura de la solución nutritiva y pH de la solución nutritiva (De ambos niveles)

En la Figura 11, se pueden observar los puntos de dispersión amarillos que representan la correlación entre la temperatura y el pH de la solución nutritiva del nivel 1 (33% de N, 15% P₂O₅, 52%K₂O) en las bandejas flotantes y el sistema NFT. Esta correlación nos muestra la relación entre estos dos factores y cómo se afectan mutuamente.

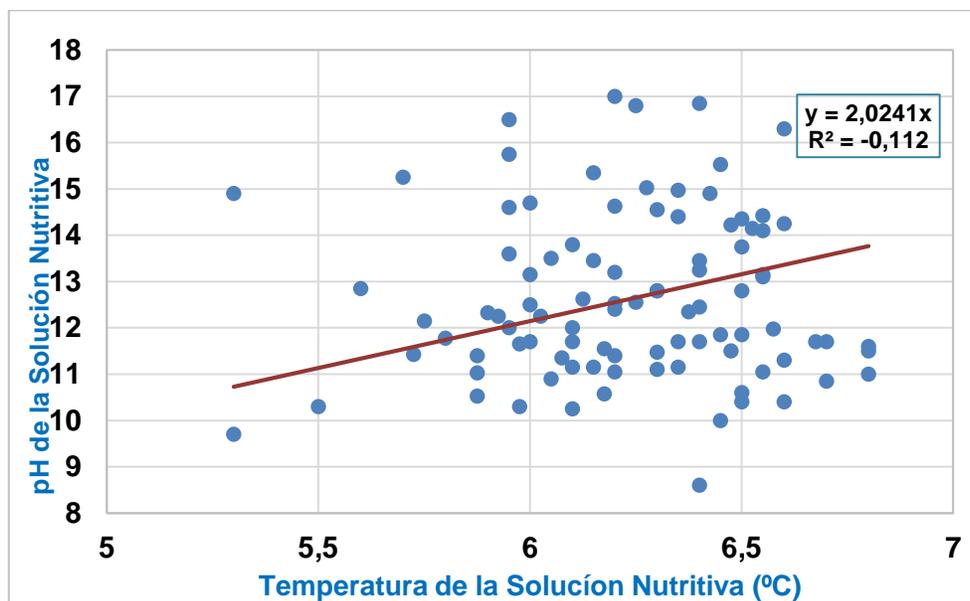


Figura 11. Correlación entre Temperatura de la solución nutritiva y pH de la solución nutritiva de Nivel 1 (33% de N, 15% P₂O₅, 52%K₂O)

En la Figura 11, se observa una correlación positiva fuerte entre la temperatura de la solución nutritiva y el pH del nivel 1 (33% N, 15% P₂O₅, 52% K₂O), con un coeficiente de determinación (R^2) es de 0,978 lo cual sugiere que el 97.83% de la variabilidad en el pH puede ser explicada por la temperatura de la solución nutritiva.

Estos resultados indican que hay una relación significativa entre la temperatura de la solución nutritiva y el pH en el nivel 1. Esto podría significar que los cambios en la

temperatura de la solución nutritiva tienen un impacto sustancial en el pH. Es importante tener en cuenta que estos resultados se basan en los datos y análisis específicos utilizados en la figura. Si hay otros factores o variables que podrían influir en el pH.

Durante la investigación realizada en las bandejas flotantes y el sistema NFT del nivel 1 (33% de N, 15% P₂O₅, 52%K₂O), se obtuvieron datos del pH de la solución nutritiva. El pH promedio fue de 6,2, con un pH máximo de 6,7 y un pH mínimo de 5,4.

La inestabilidad del pH puede deberse a diversos factores, como cambios en la composición de la solución nutritiva, interacciones entre nutrientes y raíces de las plantas, actividad microbiana, entre otros. Para mantener un pH estable y adecuado para el crecimiento de las plantas, se realizaron correcciones para ajustar el pH cuando fue necesario.

En cuanto a la temperatura de la solución nutritiva, durante la investigación se obtuvo un promedio de 12,6°C, con una temperatura máxima de 17°C y una mínima de 8,6°C. Estos datos muestran que la temperatura de la solución nutritiva también tuvo variaciones a lo largo del tiempo.

A continuación, en la Figura 12, se observa la correlación presente en los puntos de dispersión rojos, entre la temperatura y el pH de la solución nutritiva del Nivel 2 (33% de N, 25% P₂O₅, 42% K₂O), utilizada en las bandejas flotantes y en el sistema NFT.

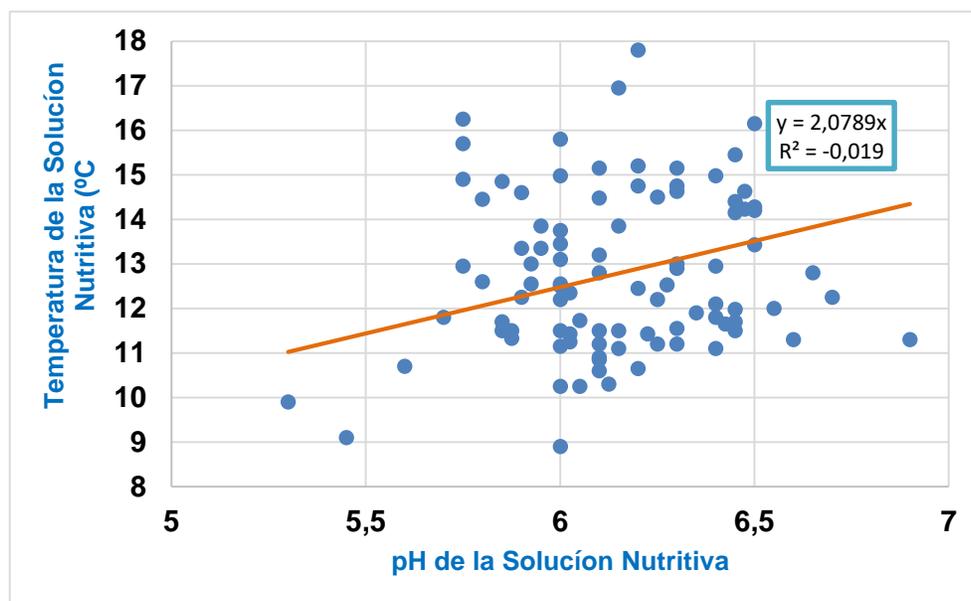


Figura 12. Correlación entre Temperatura de la solución nutritiva y pH de la solución nutritiva del Nivel 2 (33% de N 25% P₂O₅, 42% K₂O)

En la Figura 12, se aprecia una correlación positiva fuerte entre la temperatura y el pH de la solución nutritiva del Nivel 2 (33% de N, 25% de P₂O₅ y 42% de K₂O), con un coeficiente de determinación (R^2) de 0,981 lo cual representa que el 98.1% de la variabilidad en el pH puede ser explicada por la temperatura de la solución nutritiva.

Esto sugiere que el pH de la solución nutritiva podría depender significativamente de la temperatura, otras variables y factores podrían estar influyendo en las variaciones del pH. Por tanto, es esencial considerar otros elementos y condiciones que pueden afectar el pH

Durante la investigación, se recopilaron datos de las bandejas flotantes y el sistema NFT del nivel 2. En cuanto al pH de la solución nutritiva, se encontró un promedio de 6.1, con un pH máximo de 6.8 y un pH mínimo de 5.3. Debido a la inestabilidad observada en el pH, se realizaron varias correcciones para mantenerlo dentro de los rangos deseados.

En cuanto a la temperatura de la solución nutritiva del Nivel 2, se obtuvo un promedio de 12.8°C. La temperatura máxima alcanzó los 17,8°C, mientras que la temperatura mínima fue de 8,9°C., estos datos reflejan la temperatura experimentada en el sistema de cultivo.

HANNA (2023) señala que, el pH del agua se afecta directamente con la temperatura, éste es un resultado ligero pero medible. Cuando hay un incremento en la temperatura, el pH disminuye, de igual forma una disminución de temperatura implica un aumento en el pH.

HANNA (2023) indica que, a medida que aumenta la temperatura de una solución, también aumenta la movilidad de los iones. a medida que la temperatura de una solución disminuye, la movilidad de los iones también disminuye.

HANNA (2023) indica que, la causa de que se afecte el pH del agua por la temperatura es que cuando aumenta la temperatura, las moléculas tienden a separarse en sus elementos: hidrógeno y oxígeno. Al aumentar la proporción de moléculas descompuestas se produce más hidrógeno, lo cual, por supuesto aumenta a su vez el potencial de hidrógeno pH, según

Ayala (2019) menciona que, los niveles altos de pH registrados en bandejas flotantes fueron de 6,8 y 6,7 y las mínimas registradas fueron de 5,0 y 5,10.

Tarqui (2019) menciona que, en la etapa del sistema NFT el pH nos muestra un comportamiento muy inestable, por esta principal razón se realizaba la titulación con frecuencia, en el nivel uno se registró un valor máximo de 6,0. Respecto al nivel dos un pH máximo igual a 6,5.

Apaza (2022) destaca que, la temperatura máxima que se registró en la solución nutritiva fue de 17.2 °C, la mínima de 12.2 °C en el primer nivel (25% Ca²⁺, 65% K⁺, 10% Mg²⁺) y en el segundo nivel (40% Ca²⁺, 40% K⁺, 20% Mg²⁺), la máxima temperatura registrada en la solución nutritiva fue de 17 °C y la mínima de 12.0 °C.

4.4.2. Correlación entre Conductividad eléctrica (CE) y total de solidos disueltos TDS (ppm) de la solución nutritiva de dos niveles de NPK

En la Figura 13, se presenta la correlación entre la conductividad eléctrica y el contenido total de sólidos disueltos en la solución nutritiva del nivel 1 (33% de N, 15% P₂O₅ y 52% d K₂O) durante el ciclo de desarrollo del cultivo en bandejas flotantes y el sistema NFT. Los puntos de dispersión verdes en la figura representan los datos recopilados y muestran la relación entre la conductividad eléctrica y el total de sólidos disueltos en la solución nutritiva.

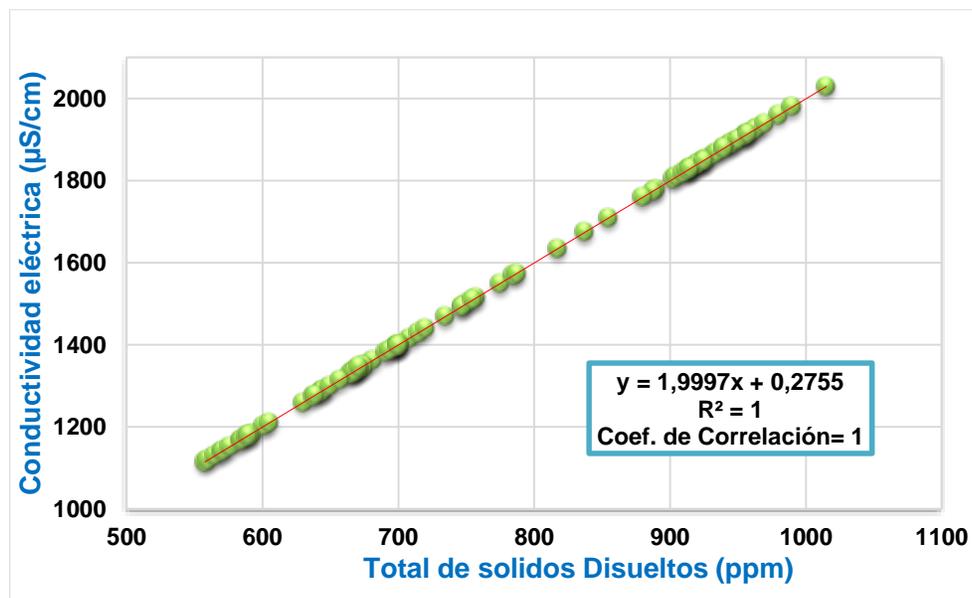


Figura 13. Correlación entre la Conductividad eléctrica (CE) y el total de sólidos disueltos TDS (ppm) de la solución nutritiva del nivel 1 (33% de N, 15% P₂O₅, 52% K₂O)

En la Figura 13, se puede observar una correlación positiva fuerte, además, se obtuvo un coeficiente de correlación de 1.0, lo cual indica una relación perfecta entre ambas variables. Por otro lado, el coeficiente de determinación de 1,0 indica que el 100 % de los disueltos sólidos puede explicarse por la conductividad eléctrica

Estos resultados podrían indicar que a medida que aumenta la conductividad eléctrica, también aumenta proporcionalmente el contenido total de sólidos disueltos en la solución nutritiva, además, los puntos de dispersión siguen un sentido y se acumulan cerca de la línea de tendencia. Es importante tener en cuenta que otros factores y variables pueden influir en la conductividad eléctrica y el contenido de sólidos disueltos,

Durante la investigación, se recopilaron datos de las bandejas flotantes y el sistema NFT del nivel 1. En relación a la conductividad eléctrica, se obtuvo un promedio de 1554 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un valor máximo de 2030 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un valor mínimo de 1115 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos valores indican la capacidad de la solución nutritiva para conducir la corriente eléctrica, lo cual está relacionado con la concentración de iones presentes en la solución.

En cuanto al total de sólidos disueltos en la solución nutritiva, se presentó un promedio de 777,1 ppm (partes por millón), con un valor máximo de 1015 ppm y un valor mínimo de 557,5 ppm. Estos valores representan la cantidad de sustancias sólidas presentes en la solución nutritiva, incluyendo nutrientes, sales y otros compuestos.

En la Figura 14, se muestra la correlación entre la conductividad eléctrica y el contenido total de sólidos disueltos en la solución nutritiva del nivel 2 (33% de NT, 25% de P₂O₅ y 42% de K₂O), utilizado en las bandejas flotantes y el sistema NFT. Los puntos azules en la figura representan los datos registrados diariamente y reflejan la relación entre la conductividad eléctrica y el contenido total de sólidos disueltos en la solución nutritiva a lo largo del desarrollo del cultivo.

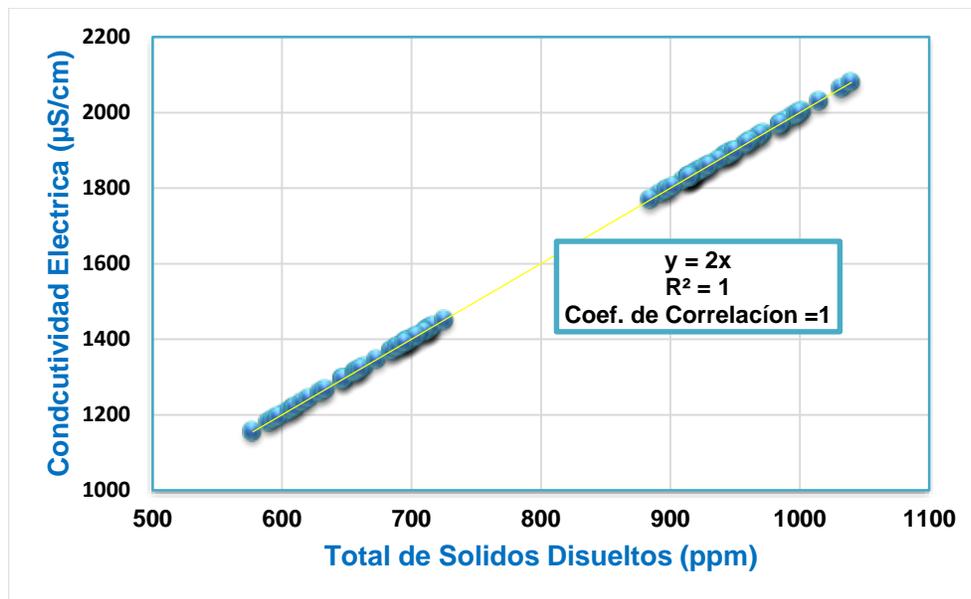


Figura 14. Correlación entre la Conductividad eléctrica (CE) y el total de sólidos disueltos TDS (ppm) de la solución nutritiva del nivel 2 (33% de N, 25% P₂O₅, 42% K₂O)

En la Figura 14, se puede observar una correlación positiva fuerte donde el coeficiente de correlación obtenido es de 1.0, además, el coeficiente de determinación es de 1,0 indica que el 100 % de la conductividad eléctrica puede explicarse por el total de sólidos disueltos

Estos resultados podrían significar que a medida que aumenta el contenido total de sólidos disueltos, también aumenta proporcionalmente la conductividad eléctrica en la solución nutritiva, además los puntos de dispersión siguen un sentido y se acumulan cerca de la línea de tendencia.

En la Figura 14, también se puede observar una falta de coincidencia en ciertos puntos de los datos. Esta discrepancia puede atribuirse a la pérdida de algunos datos en una fecha específica, pero no se refleja una alteración en la correlación entre la conductividad eléctrica y el contenido de sólidos disueltos.

Durante la investigación, se recopilaron datos de las bandejas flotantes y el sistema NFT del nivel 1. Los resultados mostraron que la conductividad eléctrica promedio de la solución nutritiva fue de 1640 µS/cm, con un valor máximo de 2080 µS/cm y un mínimo de 1115 µS/cm. En relación al total de sólidos disueltos en la solución nutritiva, se

encontró un promedio de 820,3 ppm, con un máximo de 1040 ppm y un mínimo de 577,5 ppm.

Equipos y Laboratorio de Colombia (2013) señala que, el total de sólidos disueltos y la conductividad eléctrica están estrechamente relacionadas. Cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas en el agua, mayor será el valor de la conductividad eléctrica.

HANNA (2023) señala que, la relación entre las cantidades de sólidos tales como las sales que se encuentran en los fertilizantes son directamente proporcional a su conductividad, por lo tanto, cuanto mayor sea la cantidad de sólidos, mayor será la conductividad.

Choque (2020) indica que, el comportamiento general de la CE en las diferentes etapas de desarrollo de las plantas, en la etapa de bandejas flotantes para el N1 tuvo un valor promedio de 1486 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el nivel 2 obtuvo un valor de 1786 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Mamani (2021) menciona que, en su investigación obtuvo para el factor a1 con la frecuencia de riego de 3 minutos se registró una máxima de 2170 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$, la mínima registrada fue de 1520 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$. Para el factor a2 con la frecuencia de riego de 5 minutos tuvo una máxima registrada de 2360 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$, el dato se encuentra dentro los parámetros aceptados y la mínima registrada fue de 1430 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$.

4.4.3. Correlación entre Temperatura de la solución nutritiva y los Oxígenos disueltos de la solución nutritiva de dos niveles de NPK

En la Figura 15, los puntos de dispersión verdes representan la relación entre la temperatura y el oxígeno disuelto en la solución nutritiva del nivel 1 (33% de N, 15% P₂O₅, 52% K₂O), evaluados en el sistema NFT.

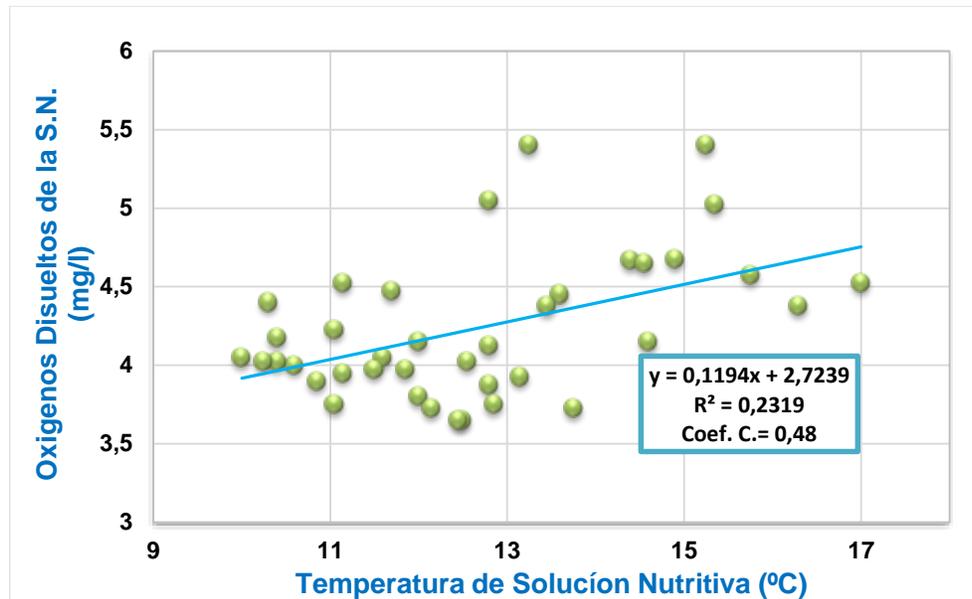


Figura 15. Correlación entre Temperatura y Oxígenos disueltos de la solución nutritiva de nivel 1 (33% de N, 15% P₂O₅, 52%K₂O)

En la Figura 15, se observa una correlación positiva débil con un coeficiente de correlación de 0,48 y un coeficiente de determinación (R^2) de 0,23 el cual indica que el 23% de los oxígenos disueltos puede ser influido por la temperatura.

En resumen, la Figura 16 muestra una correlación positiva débil, pero es importante considerar que la concentración de oxígeno disuelto puede ser influenciada por diversos factores, como la actividad microbiana, la tasa de respiración de las plantas, la calidad del agua utilizada.

Durante la investigación se obtuvo datos del sistema NFT del nivel 1 ((33% N, 15% P₂O₅, 52%K₂O)), en el cual los oxígenos en promedio fue 3,9 mg/l con un máximo de 5,2 mg/l y un mínimo de 2,5 mg/l, en relación a la temperatura de la solución nutritiva el promedio fue de 12,7°C con máxima de 17°C y una mínima de 10°C.

HANNA (2023) indica que, a medida que aumenta la temperatura de una solución, aumenta el movimiento de partículas dentro de esa solución. Con un mayor movimiento de partículas, los gases disueltos escapan más fácilmente de la solución. En agua tibia, el oxígeno es menos soluble, mientras que en agua fría el oxígeno es más soluble. La concentración de OD en aguas saturadas de aire disminuye al aumentar la temperatura.

Martínez et al., (2012) indican que, la temperatura afecta el balance de oxígeno de la solución nutritiva. Conforme se incrementa la temperatura, la cantidad de oxígeno del agua decae rápidamente. La falta de oxígeno reduce la permeabilidad de las raíces, provocando la muerte de microorganismos benéficos y hace más susceptibles a las plantas a ataques de patógenos.

Catata (2015) indica que, la lechuga es la que más tolera la falta de oxígeno, sin embargo, se recomienda que la solución mantenga una concentración de 4 a 8 mg/l.

Bastida (2019) afirma que, la temperatura del agua es el factor que determina la cantidad de oxígeno disuelto en la solución nutritiva.

La temperatura de la SN tiene relación directa con la cantidad de oxígeno que consumen las plantas, e inversa con el oxígeno disuelto en ella (Steiner, 1968; Vestergaard, 1984).

En la Figura 16, los puntos de dispersión rojos representan la relación entre la temperatura y el oxígeno disuelto en la solución nutritiva del nivel 2 (33% de N, 25% P₂O₅, 42% K₂O). (33% de N, 15% P₂O₅, 52% K₂O), evaluados en el sistema NFT.

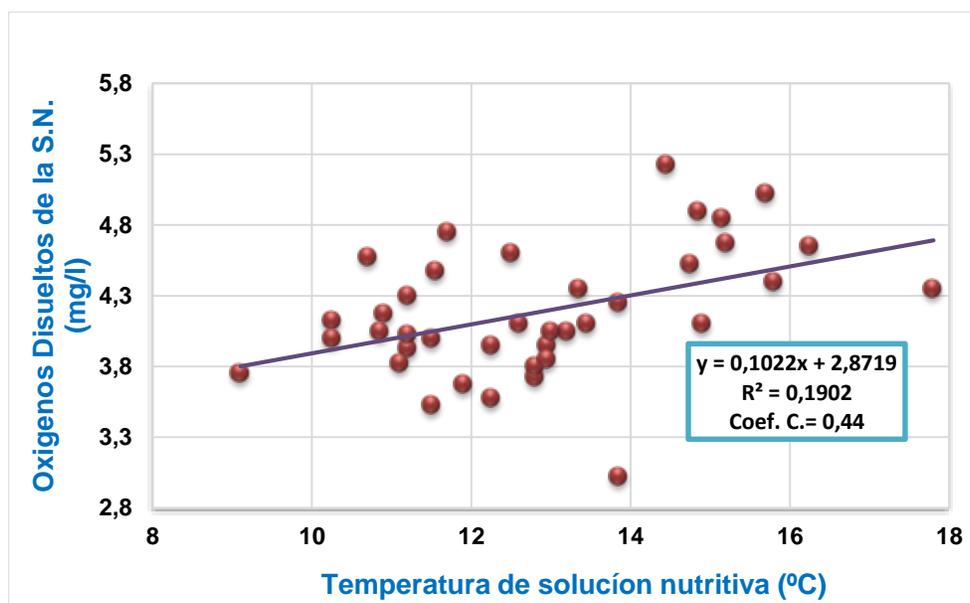


Figura 16. Correlación entre Temperatura y Oxígenos disueltos de la solución nutritiva de nivel 2 (33% de N, 25% P₂O₅, 42% K₂O)

En la Figura 16, se observa una correlación positiva débil con un coeficiente de correlación de 0.44 y un coeficiente de determinación de 0.19 el cual indica que el 20%,

de los oxígenos disueltos podrían ser influenciados por la temperatura de la solución nutritiva.

Esta fuerte influencia sugiere que, aunque existe una tendencia positiva entre la temperatura y los niveles de oxígeno disuelto en la solución nutritiva del nivel 2, otros factores también están influyendo en los niveles de oxígeno. Puede haber otros componentes en el sistema, como el volumen de las raíces, la fenología del cultivo o al flujo del agua de riego, que disminuir los niveles de oxígeno disuelto en la solución nutritiva.

Durante la investigación se obtuvo datos del sistema NFT del nivel 2 (33% de N_T , 25% P_2O_5 , 42% K_2O), en el cual los oxígenos en promedio fue 3.9 mg/l con un máximo de 5 mg/l y un mínimo de 3,3 mg/l, en relación a la temperatura de la solución nutritiva el promedio fue de 12,9°C con máxima de 18°C y una mínima de 9,1°C. graficar con los de antes de encender

GVA (s.f.) señala que, el oxígeno disuelto en agua varía de forma inversamente proporcional a la temperatura, es decir, una mayor temperatura implica una menor concentración de oxígeno disuelto en el agua.

Rodríguez (2018) menciona que, la oxigenación está relacionada con la temperatura de la solución. Para la mayoría de los cultivos bajo invernadero lo adecuado sería mantenerla cerca de los 22 °C para satisfacer la demanda de la planta.

Martínez et al., (2012) señalan que, la lechuga es considerada la especie más tolerante a la falta de oxígeno, siendo unos de los cultivos más recomendados para los sistemas hidropónicos. Los niveles adecuados de oxígeno disuelto se encuentran entre 3 a 4 ppm.

Carbone (2015) afirma que, la disponibilidad de O_2 juega un rol fundamental en la absorción iónica. La restricción de este elemento por estancamiento en los sustratos hidropónicos o la falta de aireación puede producir acumulación de CO_2 en el medio radicular. Los bajos niveles de O_2 en la solución nutritiva disminuye la disponibilidad de Fe en los sistemas NFT, asociándose con acumulaciones de Mn en las hojas de las plantas, inhibiendo además la absorción de iones K y NO_3^- .

4.5. Volumen de la solución nutritiva en el sistema NFT

4.5.1. Comportamiento del volumen real de la S.N. del nivel 1 (33% de N, 15% P₂O₅, 52%K₂O) y nivel 2 (33% de N, 25% P₂O₅, 42% K₂O)

A continuación, se puede observar en la Figura 17, en la línea azul el comportamiento del volumen real¹de la solución nutritiva del Nivel 1 (33% de N, 15% P₂O₅, 52%K₂O), también se observa en la línea roja el comportamiento del Nivel 2 (33% de N, 25% P, 42% K) dos niveles de NPK en el sistema NFT.

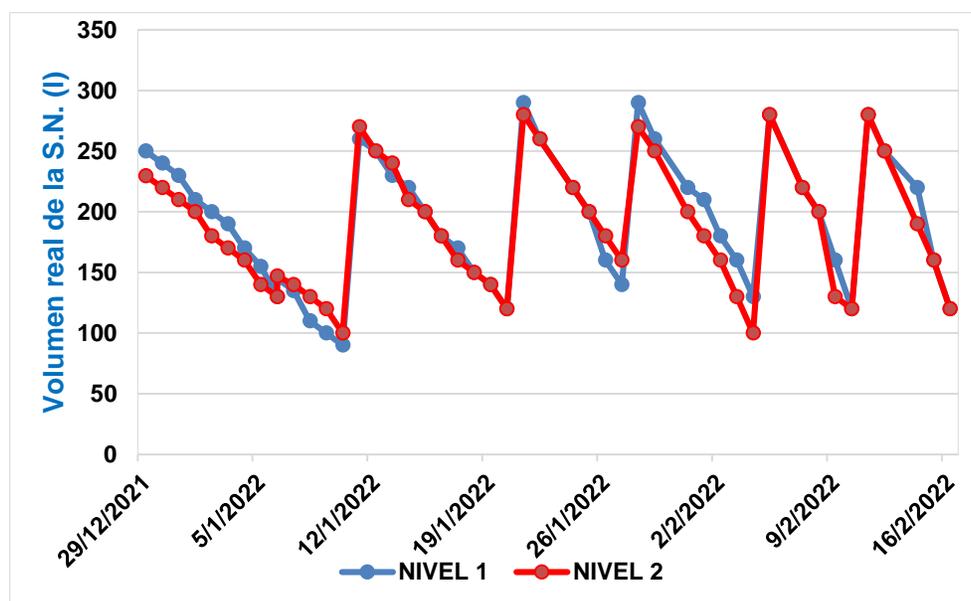


Figura 17. Volumen real de la solución nutritiva del Nivel 1 (33% de N, 15% P₂O₅, 52%K₂O) y Nivel 2 (33% de N, 25% P₂O₅, 42% K₂O), en el sistema NFT.

Se puede observar en la Figura 17, el comportamiento del volumen real, en el nivel 1 (33% N, 15% P₂O₅, 52% K₂O), se obtuvo un promedio máximo de volumen real con 275 litros, el volumen promedio mínimo real litros fue de 120 litros. Para el nivel 2 (33% N, 25% P₂O₅, 42% K₂O), el volumen promedio máximo fue 268.3 litros, con un promedio mínimo de 120 litros.

Como se puede observar en la Figura 17, una elevación es atribuible a la corrección en el volumen real realizado el 6 de enero se realizó cálculos de concentración de conductividad eléctrica el cual se puede observar en el Anexo 36. Los puntos más

¹ Volumen real: Volumen de solución nutritiva es el volumen restante previo al funcionamiento del primer riego de cada día.

elevados observados en la figura se atribuyen a las cinco renovaciones de la solución nutritiva.

Durante las primeras semanas, el consumo de la solución nutritiva fue lento debido al tamaño de las plántulas en función al crecimiento y desarrollo del cultivo de ambos niveles, después de la primera renovación de S.N. se incrementó el consumo de la solución nutritiva.

Andrade (2022) indica que, la solución no reciclada presento una máxima de 300 L y una mínima de 100 L, para la solución reciclada con una máxima de 300 L y una mínima de 80 L, los descensos y ascensos se debe al consumo de solución nutritiva y agua por las plantas también se debe cambio de solución nutritiva.

Apaza (2022) menciona que, el volumen real máximo registrado fue de 300 litros que corresponde a la sexta semana y el mínimo fue de 90 litros que fue registrado en la quinta semana, estos valores corresponden al primer nivel (25% Ca⁺², 65% K⁺, 10% Mg⁺²). En el segundo nivel (40% Ca⁺², 40% K⁺, 20% Mg⁺²), se registró el volumen máximo de 300 litros en la sexta semana y un volumen mínimo de 80 litros en la tercera semana.

4.5.2. Comportamiento del volumen crítico de la solución nutritiva nivel 1 (33% de N, 15% P₂O₅, 52%K₂O) y nivel 2 (33% de N, 25% P₂O₅, 42% K₂O)

En la Figura 18, se detalla en la línea amarilla el comportamiento del volumen crítico de la solución nutritiva del nivel 1 (33% de N, 15% P₂O₅, 52%K₂O) y en la línea verde se observa el comportamiento de la solución nutritiva del nivel 2 (33% de N, 25% P₂O₅, 42% K₂O), datos obtenidos del sistema NFT. ²

² Volumen crítico: El volumen de solución nutritiva (SN) se define como el volumen restante previo al funcionamiento de la bomba en los horarios de mayor temperatura.

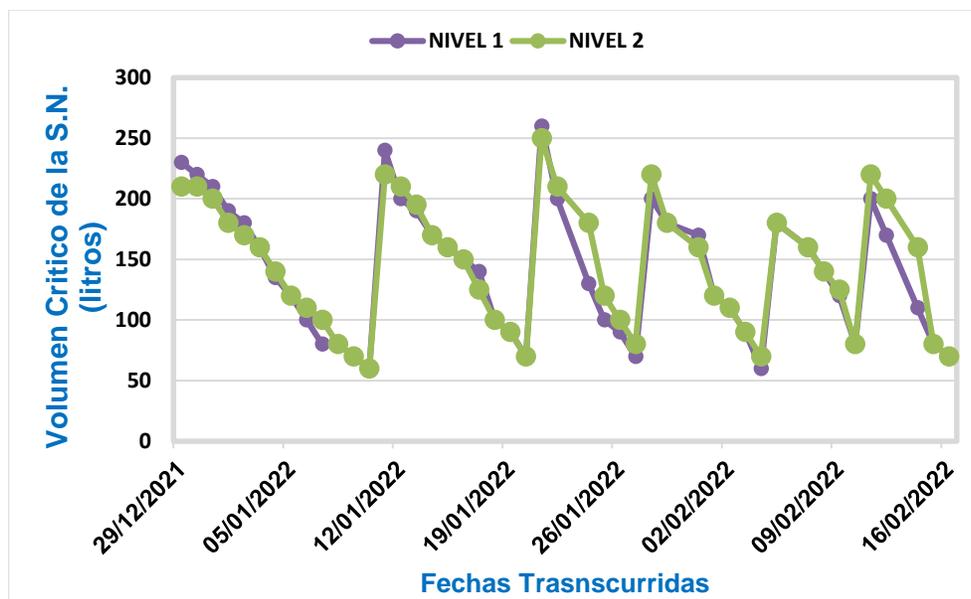


Figura 18. Volumen crítico de la solución nutritiva para nivel 1 (33% de N, 15% P_2O_5 , 52% K_2O) y nivel 2 (33% de N, 25% P_2O_5 , 42% K_2O), en el sistema NFT.

En la Figura 18 se presenta el volumen crítico correspondiente al nivel 1 (33% de N, 15% P_2O_5 y 52% K_2O). Se observa que el volumen promedio máximo fue de 216.7 litros, el volumen promedio mínimo se registró en 68.3 litros. En cuanto al nivel 2 (33% N, 25% P_2O_5 y 42% K_2O), el volumen promedio máximo fue de 218.33 litros y el volumen promedio mínimo en 71.7 litros.

En las primeras dos semanas no se realizó la renovación de la solución nutritiva ya que hubo un consumo mínimo de las plantas, posteriormente las siguientes semanas se hizo el cambio de S.N. cada semana una vez alcanzada el volumen crítico.

Mamani (2021) señala que, el volumen Crítico máximo registrado para el factor a1 (3 min), fue de 200 litros y el mínimo registrado fue de 110 litros, para el factor a2 (5min) la máxima registrada fue de 200 litros y la mínima fue de 100 litros.

Andrade (2022) señala que, el volumen crítico mínimo registrado para la solución no reciclada, se registró 75 litros, para la solución reciclada se registró 60 litros, las primeras semanas se tuvo un comportamiento similar en ambos tratamientos ya que se tuvo un promedio de 170.41 litros para la no reciclada y 167.10 litros para la reciclada.

4.5.3. Consumo de solución nutritiva por semana nivel 1 (33% de N, 15% P2O5, 52%K2O) y nivel 2 (33% de N, 25% P2O5, 42% K2O)

A continuación, se observa en la Figura 19, el volumen consumido del cultivo de lechuga de la solución nutritiva de dos niveles de NPK en el sistema NFT.

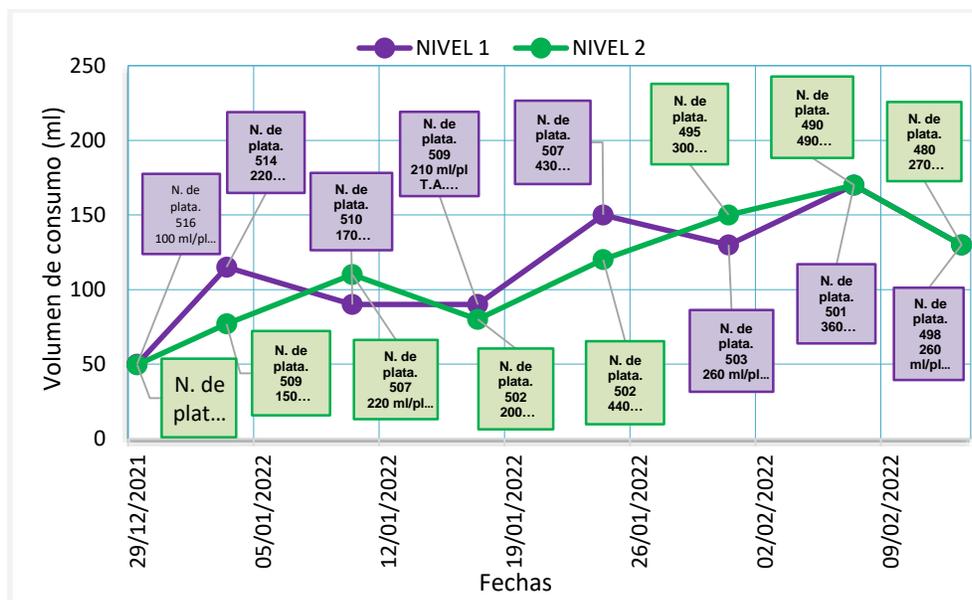


Figura 19. Volumen de consumo de la solución nutritiva de ambos niveles de NPK en el sistema NFT

En la Figura 19, se puede apreciar el consumo semanal de la solución nutritiva. En el nivel 1 (33%NO₃, 15% de P₂O₅ y 52% de K₂O), En promedio en el nivel 1 el consumo fue 111 litros, el consumo mínimo fue de 50 litros. Por otro lado, en el nivel 2 (33%NO₃, 25% de P₂O₅ y 42% de K₂O), el consumo promedio en este nivel fue de 128 litros, el consumo mínimo fue de 49.5 litros y el máximo consumo fue de 170 litros.

La tasa de absorción en el nivel 1 inicio con 4.63% y finalizo con 12.03%, en el nivel 2 la tasa de absorción inicio con 4.47% y culmino con 13.4%. El total del consumo desde el trasplante hasta la cosecha de solución nutritiva para nivel 1 por planta fue de 2.01 litros y para el nivel 2 fue de 2.16 litros.

El aumento progresivo en el consumo de solución nutritiva está directamente relacionado con la demanda creciente de nutrientes y agua a medida que las plantas aumentan su tamaño, desarrollan más hojas.

El consumo semanal puede ser influenciado por diversos factores, como las condiciones ambientales, la salud de las plantas, la densidad de siembra y la etapa de crecimiento e incluso los parámetros físico-químicos de la solución nutritiva. El máximo consumo registrado en la penúltima semana podría indicar un período de mayor demanda de nutrientes debido a la etapa de desarrollo en la que se encontraron las plantas.

Ledezma (2009) menciona que, el consumo de solución nutritiva por día por planta (lechuga) es de alrededor de 150 a 200 ml.

Al respecto, Pereira (2021) menciona que, en un sistema de producción de 3.600 plantas de lechugas, se requiere un tanque con una capacidad de 1.080 litros, ya que la lechuga requiere 300 ml de agua, por planta.

Aruni (2021) citado por Mamani (2021) indica que, un productor del altiplano de La Paz obtiene un promedio de absorción de nutrientes y agua de 3,5 litros/planta.

Andrade (2022) menciona que, para la solución nutritiva no reciclada el consumo promedio de agua por día es de 57.27 ml por planta, donde se registró una máxima de 190.1 ml durante la última semana y una mínima de 32.6 ml durante la primera semana, el consumo promedio por semana fue 400.9 ml por planta.

4.6. Curvas de neutralización del agua y la solución nutritiva para nivel 1 (33% de N, 15% P₂O₅, 52%K₂O) y nivel 2 (33% de N, 25% P₂O₅, 42% K₂O)

4.6.1. Curva de neutralización del agua para ambos niveles

En la Figura 20, se observa la curva de neutralización del agua donde se puede apreciar el comportamiento del pH representada en la línea morada y en la línea verde se observa la conductividad eléctrica, Para demostrar del comportamiento de la curva de titulación se utilizó una solución di acida (Ácido Nítrico [HNO₃] con una concentración de 0.72 N y Ácido Fosfórico [H₃PO₄] con 0.056 N).

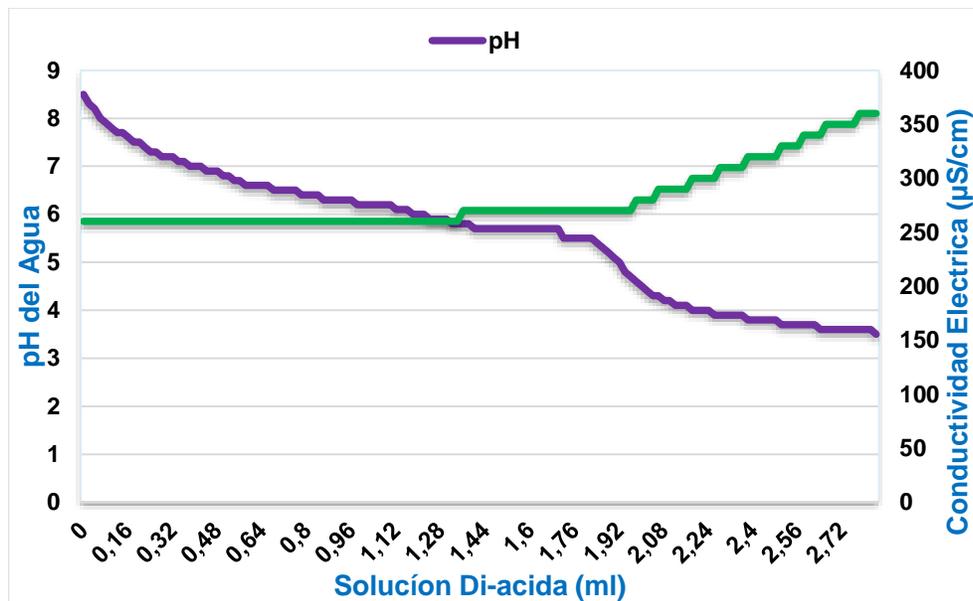


Figura 20. Curva de Neutralización del Agua del nivel 1 (33% de N, 15% P₂O₅, 52%K₂O) y nivel 2 (33% de N, 25% P₂O₅, 42% K₂O)

Como se observa en la Figura 20, el resultado de la curva de neutralización del agua de riego inició con un pH igual a 8,5 con una conductividad eléctrica de 260 $\mu\text{S}/\text{cm}$, para lograr alcanzar el punto neutro se agregó 1,30 ml de solución diácida con el cual se alcanzó un pH igual a 5,9 con una conductividad de 260 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Para finalizar la titulación se continuó bajando hasta alcanzar a un pH igual a 3,5 con una conductividad eléctrica de 360 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para esto se agregó un total de 2,76 ml de solución diácida.

El punto neutro obtenido con un pH igual a 5,9 nos indicaría que, en ese valor la concentración de bicarbonatos no afecta negativamente el desarrollo y crecimiento de las plantas.

Mamani (2021) señala que, el pH inicial fue de 7.2 y se identificó 49 puntos, donde se añadió 0.02 N de ácido nítrico y ácido fosfórico, donde al principio se presentó un ligero descenso ya que los ácidos y bases se encuentran susceptibles a cualquier cambio hasta llegar a un punto neutro, que en este caso fue de 5.1 pH y 523 $\mu\text{S cm}^{-1}$ con sólidos disueltos 261 ppm.

Andrade (2022) indica que, el pH inicial fue de 8.7 y se identificó 69 puntos donde se añadió 0.02 ml de la solución diácida, se comportó al principio con un ligero descenso ya que los ácidos y bases se encuentran susceptibles a cualquier cambio

hasta llegar a un punto neutro, en este caso fue de 6.8 de pH con una CE de 400 $\mu\text{S cm}^{-1}$ añadiendo 0.12 ml.

4.6.2. Curva de neutralización de la solución nutritiva antigua (SNA) con un pH ácido, para el Nivel 1 (33% N, 15% P₂O₅, 52%K₂O)

En la Figura 21, se muestra la curva de neutralización de la solución nutritiva antigua con un pH ácido, del nivel 1 (33% N, 15% P₂O₅, 52%K₂O), donde se puede ver el comportamiento del pH representado por la curva verde y la conductividad eléctrica representada por la curva naranja, con la adición de Bicarbonato de sodio (NaHCO₃) con una concentración de 1.85 N.

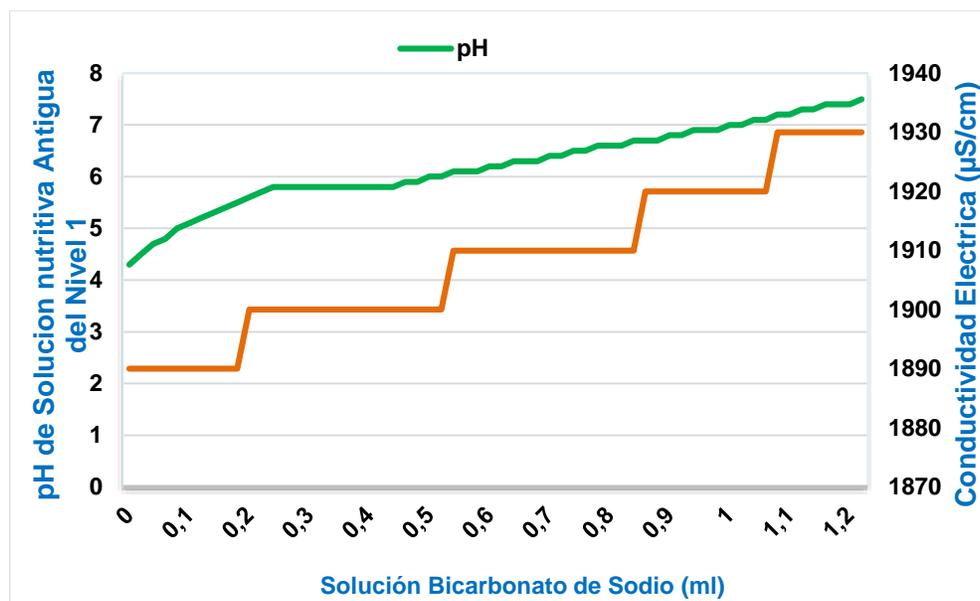


Figura 21. Curva de Neutralización de la Solución Nutritiva antigua del nivel 1(33% N, 15% P₂O₅, 52%K₂O)

Como se observa en la Figura 21, el resultado de la curva de neutralización de la solución nutritiva antigua inició con un pH igual a 4,3 con una conductividad eléctrica de 1890 $\mu\text{S/cm}$, para lograr alcanzar un pH de 6,5 se agregó 0,64 ml de bicarbonato de sodio con el cual resultó una conductividad de 1930 $\mu\text{S/cm}$. Para finalizar la titulación se continuó subiendo hasta alcanzar a un pH igual a 7,5 con una conductividad eléctrica de 1930 $\mu\text{S/cm}$ para esto se agregó un total de 1,2 ml de bicarbonato de sodio.

La curva de neutralización muestra cómo el incremento de bicarbonato de sodio afecta tanto el pH como la conductividad eléctrica de la solución de muestra. Inicialmente, la

solución tenía un pH ácido de 4,3 y, a medida que se agregaba el bicarbonato de sodio, el pH se elevaba gradualmente hasta alcanzar el punto neutro.

Según Andrade (2022) menciona que, en el comportamiento de la curva de neutralización, llego al punto de neutralización con un pH de 7.4 y una conductividad de 1850 $\mu\text{S cm}^{-2}$ y 925 ppm.

4.6.3. Curva de neutralización de la solución nutritiva antigua (SNA), para el Nivel 2 (33% de NT, 25% P₂O₅, 42% K₂O)

En la Figura 22, se puede apreciar la curva de neutralización de la solución nutritiva antigua del nivel 2 (33% de NT, 25% P₂O₅, 42% K₂O), se observan los cambios de pH en la curva roja y en la curva amarilla la conductividad eléctrica después de agregar bicarbonato de sodio (NaHCO₃) con la concentración de 0,45 N.

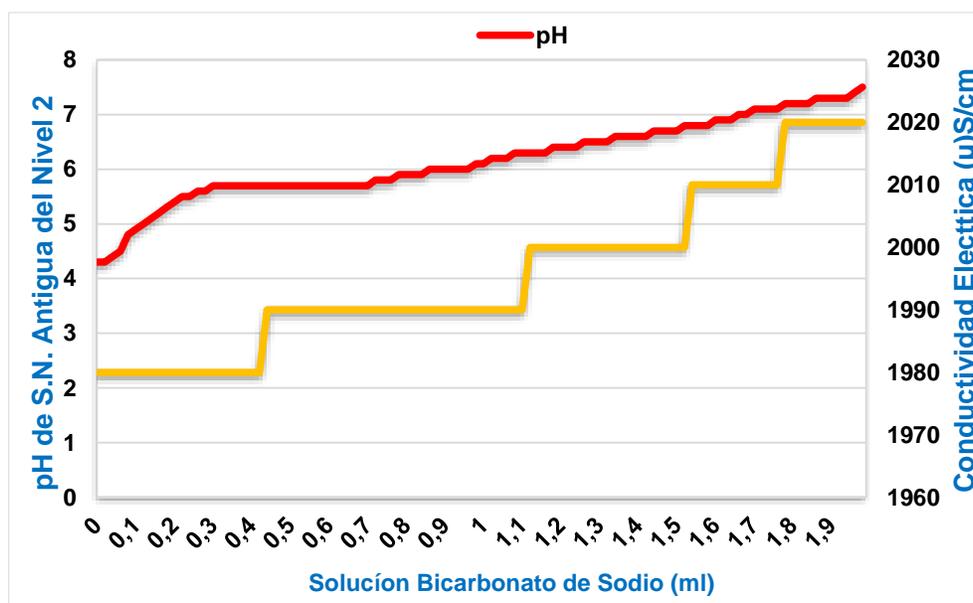


Figura 22. Curva de Neutralización de la Solución Nutritiva antigua (SNA), del Nivel 2 (33% de N, 25% P, 42% K)

Como se observa en la Figura 22, el resultado de la curva de neutralización de la solución nutritiva antigua inició con un pH igual a 4,3 con una conductividad eléctrica de 1980 $\mu\text{S/cm}$, para lograr alcanzar un pH de 6,5 se agregó 1,2 ml de bicarbonato de sodio con el cual alcanzo una conductividad de 2000 $\mu\text{S/cm}$. Para finalizar la titulación se continuó subiendo hasta alcanzar a un pH igual a 7,5 con una conductividad eléctrica de 2020 $\mu\text{S/cm}$ para esto se agregó un total de 1,92 ml de bicarbonato de sodio.

Al analizar la Figura 22, se observa que el pH experimentó un aumento gradual y lento a lo largo de la titulación. Por otro lado, la conductividad eléctrica mostró un cambio más rápido y constante a medida que se añadía bicarbonato de sodio.

4.6.4. Curva de neutralización para la solución nutritiva nueva del nivel 1 (33% N, 15% P₂O₅, 52%K₂O)

En la Figura 23, se muestra una curva de neutralización del nivel 1 (33% N, 15% P₂O₅, 52%K₂O), en la curva roja se observa el comportamiento del pH y en la curva morada el comportamiento de la conductividad eléctrica en el que se agregó bicarbonato de sodio (NaHCO₃) con una concentración de 1,85 N.

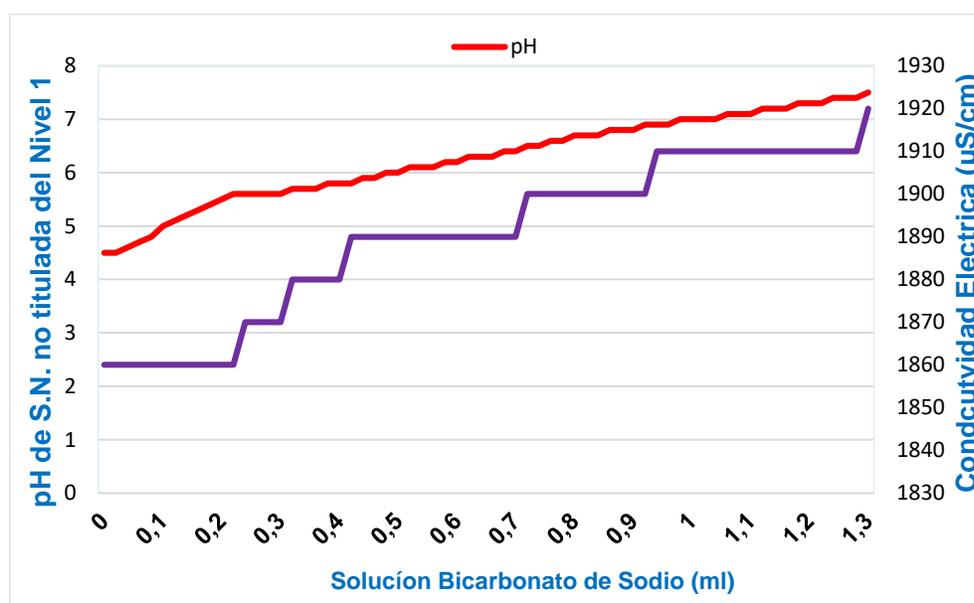


Figura 23. Curva de neutralización de la solución nutritiva nueva del nivel 1 (33% N, 15% P₂O₅, 52%K₂O)

Como se observa en la Figura 23, el resultado de la curva de neutralización de la solución nutritiva nueva inició con un pH igual a 4,5 con una conductividad eléctrica de 1860 μS/cm, para lograr alcanzar un pH de 6,5 se agregó 0,72 ml de preparado de bicarbonato a través de reacción endotérmica bicarbonato de sodio en el cual se obtuvo una conductividad de 1900 μS/cm para finalizar la curva se agregó un total de 1,28 ml de bicarbonato de sodio con el cual alcanzó un pH igual a 7,4 con una conductividad de 1920 μS/cm.

Tarqui (2022) menciona que, la curva de titulación obtenida de la solución nutritiva con el bicarbonato de sodio a una concentración alcanza el punto de neutralización a un pH

de 6,3 con una CE de 1630 $\mu\text{S}/\text{cm}$, observando que 0,53 ml de la solución de bicarbonato de sodio fue añadido para alcanzar al punto neutro.

4.6.5. Curva de neutralización de la solución nutritiva nueva del nivel 2 (33% de NT, 25% P₂O₅, 42% K₂O)

En la Figura 24, se puede observar la curva de neutralización de la solución nutritiva nueva del nivel 2 (33% de NT, 25% P₂O₅, 42% K₂O), en la curva naranja se observa el comportamiento del pH y en la curva verde el comportamiento de la conductividad eléctrica donde se agregó bicarbonato de sodio (NaHCO₃) a una concentración de 1,85 N.

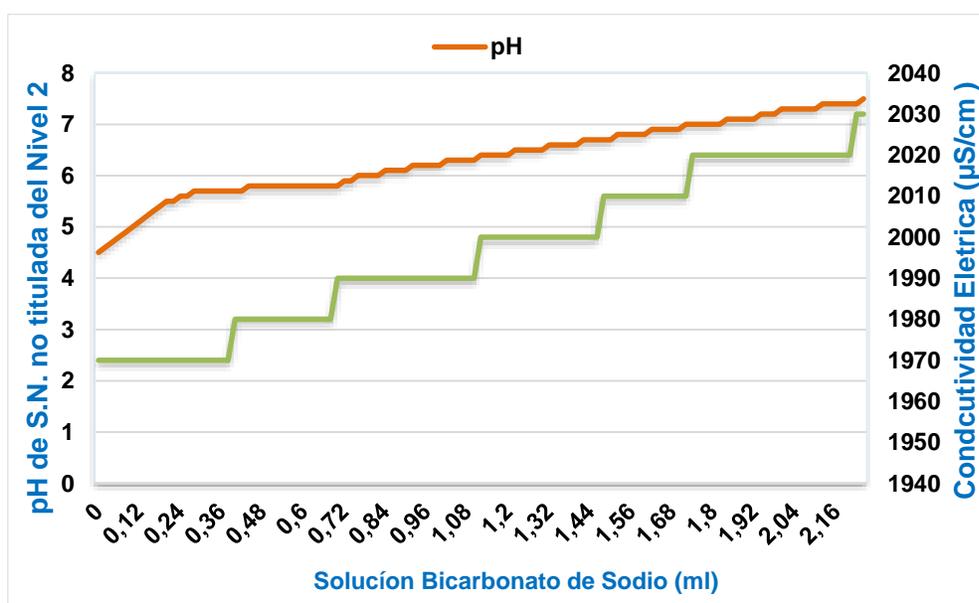


Figura 24. Curva de neutralización de la solución nutritiva nueva del nivel 2 (33% de NT, 25% P₂O₅, 42% K₂O)

Como se observa en la Figura 24, el resultado de la curva de neutralización de la solución nutritiva nueva inició con un pH igual a 4,5 con una conductividad eléctrica de 1860 $\mu\text{S}/\text{cm}$, para alcanzar un pH igual a 6,5 se agregó el 1,6 ml de bicarbonato de sodio para finalizar la curva se agregó 2,16 ml el cual alcanza un pH igual a 7,4 con una conductividad de 1860 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En resumen, se observa en la (Figura 24) cómo el pH de la solución aumentó gradualmente al agregar el bicarbonato de sodio hasta llegar al pH adecuado para el cultivo, mientras que la conductividad eléctrica también experimentó un aumento durante el proceso de titulación.

4.6.6. Curva de neutralización de la solución nutritiva antigua (SNA), del nivel 1 (33% N, 15% P₂O₅, 52%K₂O)

A continuación, se observa la Figura 25, una curva de neutralización de la solución nutritiva antigua del nivel 1(33%N, 15%P₂O₅, 52%K₂O), donde se ve las correspondientes curvas de pH en la curva naranja, en la curva verde la conductividad eléctrica, se observa el comportamiento al agregado progresivo de 0.02 ml de solución diácida (Ácido nítrico [HNO₃] con una concentración de 0.72 N y Ácido Fosfórico [H₃PO₄] con 0.056 N).

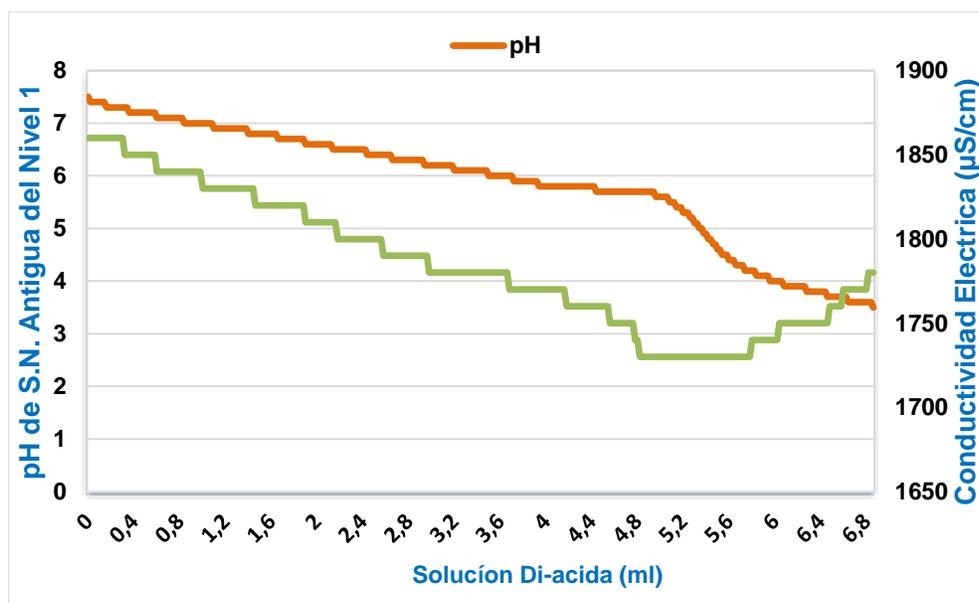


Figura 25. Curva de neutralización de la solución nutritiva antigua (SNA), del Nivel 1 (33% N, 15% P₂O₅, 52%K₂O)

Como se observa en la Figura 25, el resultado de la curva de neutralización de la solución nutritiva antigua inició con un pH igual a 7,5 con una conductividad eléctrica de 1860 μS/cm, para lograr alcanzar el punto neutro se agregó 6,6 ml de solución diácida con el cual alcanzo un pH igual a 3,5 con una conductividad de 1770 μS/cm. Para finalizar la titulación se continuó bajando hasta alcanzar a un pH igual a 3,2 con una conductividad eléctrica de 1780 μS/cm para esto se agregó un total de 6,8 ml de solución diácida.

La figura ilustra cómo el pH y la conductividad eléctrica de la solución, presento una disminución gradual del pH hasta alcanzar el punto neutro en 3,5. Durante este proceso, la conductividad también experimentó una disminución, pasando de 1860 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 1770 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Según Andrade (2022), la curva de neutralización fue encontrado en un pH de 4 y 1860 $\mu\text{S cm}^{-1}$ de Conductividad eléctrica, añadiendo 0.32 ml (ácido nítrico y ácido fosfórico) de solución di ácida.

Carita (2019) observa que, al realizar la curva de titulación para el agua con solución di ácida, el agua alcanza el punto de equivalencia o neutralización a un pH igual a 3 con una CE de 410 $\mu\text{S}/\text{cm}$, observando que 0.70 ml de la solución di ácida son los que se deberían añadir al agua potable.

Callisaya (2020) menciona que, la curva para el pH inicia con un valor de 6.4 y al añadir la solución ácida, el descenso es progresivo, luego lento y finalmente llega al punto neutro correspondiente a un pH de 3. La conductividad eléctrica inicial fue de 1230 $\mu\text{S cm}^{-1}$ y el de los sólidos disueltos 620 ppm. El comportamiento de estos parámetros al añadir la solución ácida en la muestra presenta un incremento más moderado que en el caso del agua hasta llegar a los 1550 $\mu\text{S cm}^{-1}$ en el caso de la conductividad eléctrica.

4.6.7. Curva de neutralización de la solución nutritiva antigua (SNA), del Nivel 2 (33% de NT, 25% P₂O₅, 42% K₂O)

Se observa en la Figura 26, la curva de neutralización de la solución nutritiva antigua del nivel 2 (33% de N, 25% P₂O₅, 42% K₂O), donde se ve las correspondientes curvas de pH en la línea morada, en la línea roja la conductividad eléctrica, se observa el comportamiento de la curva al agregado progresivo de 0.02 ml de solución di acida (Ácido nítrico (HNO₃) con una concentración de 0.72 N y Ácido Fosfórico (H₃PO₄) con 0.056 N).

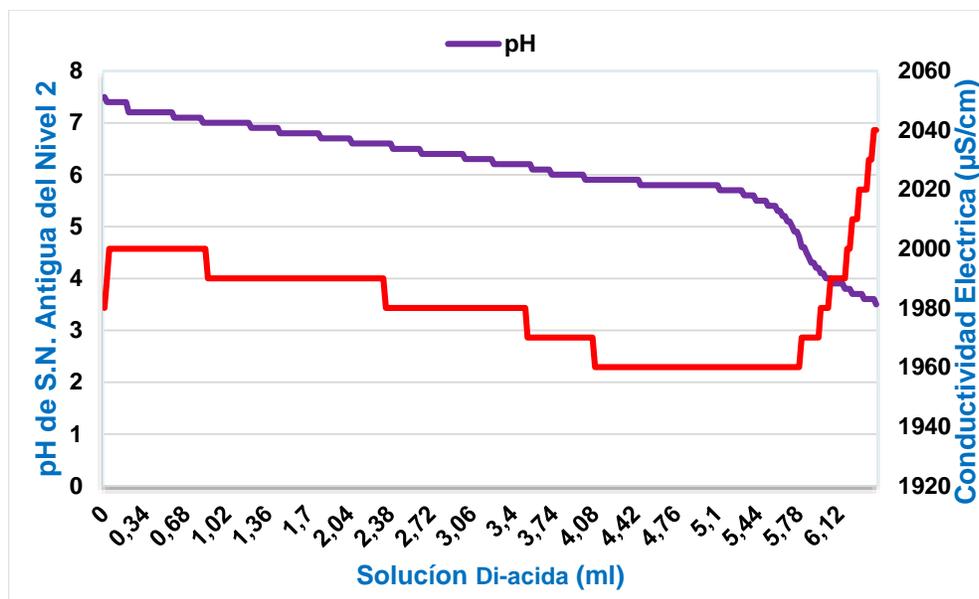


Figura 26. Curva de neutralización de la solución nutritiva antigua (SNA), del nivel 2 (33% de NT, 25% P₂O₅, 42% K₂O)

Como se observa en la Figura 26, el resultado de la curva de neutralización de la solución nutritiva antigua inició con un pH igual a 7,5 con una conductividad eléctrica de 1980 $\mu\text{S/cm}$, para lograr alcanzar el punto neutro se agregó 6,16 ml de solución di-ácida con el cual alcanzo un pH igual a 4,2 con una conductividad de 1980 $\mu\text{S/cm}$. Para finalizar la titulación se continuó bajando hasta alcanzar a un pH igual a 3,5 con una conductividad eléctrica de 2040 $\mu\text{S/cm}$ para esto se agregó un total de 6,12 ml de solución di-ácida.

Es importante destacar que la Figura 26 refleja cómo el pH fue disminuyendo gradualmente a medida que se agregaba la solución ácida, mientras que la conductividad eléctrica se mantuvo constante en 1980 $\mu\text{S/cm}$ en el punto neutro.

4.7. Resultados del análisis químico de la solución nutritiva y la comparación con otros autores

En el cuadro 9, se puede observar los resultados del análisis químico realizado en el laboratorio (LCA), donde se analizó Nitratos, Fosforo soluble y Potasio, también se observa la comparación de los de resultados de análisis de solución nutritiva de otros autores.

Cuadro 9. Resultado de los análisis químicos de la S.N. y la comparación con otros autores

AUTOR		S. N. INICIO		S.N. FINAL		S. N. INICIO		S.N. FINAL	
		mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%
Propia	TRATAMIENTO	NIVEL 1 (33% de N, 15% P, 52%K)				NIVEL 2 (33% de N, 25% P, 42%K)			
	NITRÓGENO	143	21,52	134	20,13	138	18,2	121	15,91
	FOSFORO	26	7,55	32	9,32	31	7,91	27	6,86
	POTASIO	194	25,5	46	6,05	172	24,06	67	9,33
Carita (2019)		NIVEL 1 (80% NO₃⁻, 20% NH₄⁺)				NIVEL 2 (90% NO₃⁻, 10% NH₄⁺)			
		213		143,6		218,2		136,95	
Mamani (2021)	TRATAMIENTO	A1 (3 min)				A2 (5 min)			
	POTASIO	150		40		177		47	
	NITROGENO	148		195		181		211	
	FOSFORO	7,05		5,87		7,82		6,19	

Fuente: Propia

4.8. Resultados del Análisis químico de hojas

En el Cuadro 10, se observa los resultados del análisis foliar realizado por el Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA) en cual realizo un análisis químico de plantas representativas de cada nivel y variedad, en el cual se analizó Nitrógeno total y Potasio total en las muestras. También se observa en el (Cuadro 10), la comparación de los análisis químicos de solución nutritiva de otros autores.

Cuadro 10. Análisis foliar de los 4 tratamientos

AUTOR	NIVEL	VARIEDAD	NITRÓGENO TOTAL (%)	POTASIO TOTAL (%)
Propia	NIVEL 1 (33% N, 15% P₂O₅, 52%K₂O)	Kristine	4	8,51
		Crocantela	3,6	8,89
	NIVEL 2 (33% DE N, 25% P₂O₅, 42% K₂O)	Kristine	4	6,71
		Crocantela	3,7	7,76
Zollner (2000)	SIN APLICACIÓN DE N (%)		1,56	
	NITRÓGENO (%)		3,7	
Andrade (2022)	S. N. NO RECICLADA		3.3	
	S. N. RECICLADA		3.1	
Ayala (2019)	N 1	Rubinela	3.3	7.23
		Crocantela	4	8,49
		Rubinela	4,4	4,92

	Crocantela	4,1	9,74
Choque (2020)	NIVEL 1		6,19
	NIVEL 2		6,04
	NIVEL 3		8,02
	NIVEL 4		7,45
Mamani (2021)	A1		5.5
	A2		5.3

En el Cuadro 10, se presenta resultados de análisis químico foliar donde se observa una comparación de diferentes autores en el cual fue analizado el contenido de Nitrógeno y potasio también se puede observar que en el análisis de Nivel 1 y 2 hay un contenido mayor de nitrógeno en la variedad Kristine y mayor contenido de potasio en el nivel 1 en la variedad Crocantela.

4.9. Variables Agronómicas

Para las variables Agronómica se realizó un análisis estadístico con el Diseño jerárquico o anidado con bloques anidados en el factor A, también se realizó una Prueba de medias de Duncan para efectos principales y el software que se empleo es SAS versión 9.4 (SAS. 2013. SAS programa informático SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

4.9.1. Altura de planta (cm)

En el Cuadro 11, se presenta el análisis de varianza de altura de planta del Nivel 1 (33% N, 15% P₂O₅, 52% K₂O) y del Nivel 2 (33% de N, 25% P₂O₅, 42% K₂O) con las variedades Kristine y Crocantela.

Cuadro 11. Análisis de Varianza para la Variable Altura de Planta

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F	Sig.
Nivel	1	4,00	4,002	0,37	0,5567	N.S.
Bloque (Nivel)	10	108,23	10,82	6,32	<,0001	**
Variedad	1	102,49	102,49	59,83	<,0001	**
Nivel*Variedad	1	0,51	0,51	0,30	0,5894	N.S.
Error	34	58,24	1,71			
Total	47	273,47				
C.V (%)	7,00					

Nota: * = Significativo ** = Altamente significativo NS = No significativo C.V. =Coeficiente de Variación

En el Cuadro 11, se presenta el análisis de varianza de la altura de la planta, y se concluye que existen diferencias altamente significativas ($p < 0.0001$) entre las variedades Kristine y Crocantela. Estos resultados indican que las alturas de las plantas de estas dos variedades son significativamente diferentes y que esta diferencia no se debe al azar, sino que es estadísticamente significativa.

Además, se obtuvo un coeficiente de variación del 7,00%, el cual es inferior al 30%. Un coeficiente de variación bajo indica que la frecuente entre las observaciones es relativamente pequeña en relación con el valor medio, lo que sugiere que los datos son confiables y consistentes.

A continuación, se observa en el Cuadro 12, la prueba de Duncan de la variable altura de planta para la variedad Kristine y Crocantela.

Cuadro 12. Prueba de Duncan de Variedad para Altura de Planta

Duncan Agrupamiento	Media	N	Variedad
A	20,16	24	Kristine
B	17,23	24	Crocantela

Fuente: Propia

En el Cuadro 12, se presenta el resultado del análisis estadístico de la altura de las plantas para las variedades Kristine y Crocantela. Según la prueba de Duncan, se encontró una diferencia significativa entre las dos variedades. La variedad Kristine registró una altura promedio de 20.16 cm, mientras que la variedad Crocantela obtuvo una altura promedio de 17.23 cm. Estos resultados indican que la variedad Kristine tuvo un crecimiento significativamente mayor en comparación con la variedad Crocantela.

Los resultados obtenidos en el estudio pueden atribuirse a una combinación de factores, incluida la aplicación de los niveles de nutrientes NPK y los trabajos culturales realizados para cada variedad. Estos factores pueden haber influido en el crecimiento y desarrollo de las plantas, resultando en las diferencias observadas en las alturas de planta entre la variedad Kristine y Crocantela.

En el Cuadro 13, se observa la prueba de Duncan de altura de planta entre bloques para ambos niveles y variedades.

Cuadro 13. Prueba de Duncan de Bloques para Altura de Planta

Duncan Agrupamiento	Media	N	Bloque
A	20,03	8	5
A B	19,46	8	6
A B	18,99	8	3
A B	18,88	8	4
B	18,39	8	2
C	16,43	8	1

Fuente: Propia

En el Cuadro 13, se observa que existen diferencias significativas entre bloques entre los cuatro tratamientos donde el bloque que tiene el resultado alto es el bloque 5 con 20 cm de altura y el bajo es el bloque 1 con 16.43 cm.

Al respecto Díaz (2009), da a conocer que la altura de la planta, del cultivo de la lechuga es de 15 a 30 cm y con un periodo vegetativo muy corto.

Mamani (2021) indica que, de dos variedades en estudio con mayor altura de planta fue la variedad Crocantela con un promedio de 25,25 cm y la variedad Kristine fue de 22,75 cm.

Andrade (2022) señala que, observo mayor altura de planta con la solución nutritiva no reciclada manifestando un promedio de 20,47 cm y para la Solución nutritiva reciclada registró una media con 19,26 cm, donde la variedad Invicta demostró una altura de 20,03 cm y la variedad Kristine con 19,69 cm en promedio.

Mamani (2020) indica que, la variedad Kristine alcanza un promedio en altura de 20 cm, en un sistema hidropónico.

Apaza (2022) señala que, en sus resultados la altura de planta que según los datos obtenidos indica que la variedad Kristine obtuvo 22.27cm.

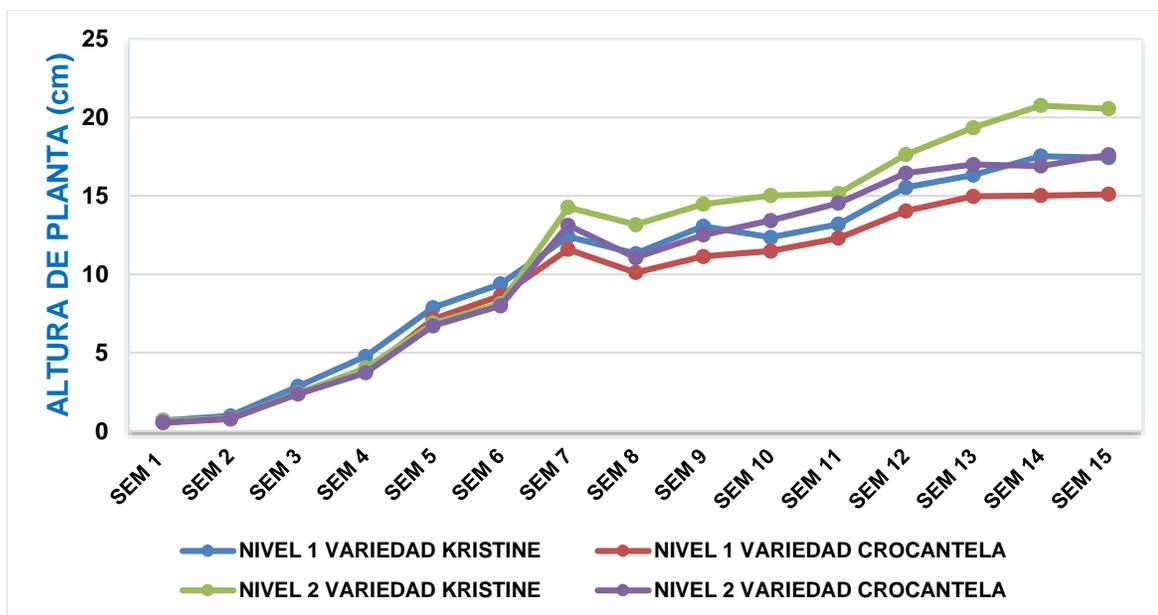


Figura 27. Desarrollo progresivo de la Altura de Planta para ambos niveles y variedades

En la Figura 27, se puede observar el desarrollo de altura de planta, el cual fue registrado cada 7 días desde el trasplante a bandejas flotantes y durante el desarrollo en el sistema NFT, se puede observar el desarrollo progresivo

4.9.2. Número de hojas/planta

A continuación, en el Cuadro 14 se muestra el análisis de varianza obtenido para la variable agronómica número de hojas por planta.

Cuadro 14. Análisis de Varianza para la Variable Número de Hojas

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F	Sig.
Nivel	1	1,4	1,47	0,12	0,74	N.S.
Bloque (Nivel)	10	125,87	12,58	2,58	0,02	*
Variedad	1	3021,01	3021,01	620,23	<,0001	**
Nivel*Variedad	1	0,12	0,12	0,02	0,88	N.S.
Error	34	165,61	4,87			
Total	47	3314,07				
C.V. (%)	10,55					

Nota: * = Significativo ** = Altamente significativo NS = No significativo C.V. = Coeficiente de Variación

En el Cuadro 14, se presenta el análisis estadístico que indica la presencia de significancia entre las variedades de estudio. La prueba realizada muestra que existe

una diferencia significativa ($p < 0.0001$) entre las variedades evaluadas. Además, se observan diferencias significativas ($p < 0.01$) en los bloques anidados, tanto entre los niveles como entre las variedades. Esto sugiere que tanto los diferentes niveles como las distintas variedades influyen en los resultados obtenidos.

El coeficiente de variación reportado en el cuadro es del 10.55%, inferior al valor aceptado de 30%. Esto indica que la variabilidad entre las observaciones es relativamente pequeña en comparación con el promedio, lo cual fortalece la confiabilidad de los datos.

Cuando ocurre el enrosetamiento, las hojas pueden quedar expuestas a tensiones mecánicas adicionales debido a su posición inadecuada, lo que puede provocar su rotura y pérdida. Esta pérdida de hojas puede afectar el crecimiento y el rendimiento de la planta, lo que puede influir en los resultados obtenidos en el estudio.

A continuación, se observa en el Cuadro 15, la prueba de Duncan para la variable número de hojas por planta para la variedad Kristine y Crocantela.

Cuadro 15. Prueba de Duncan para la Variable Número de Hojas, Variedad (Crocantela, Kristine)

Duncan Agrupamiento	Media	N	Variedad
A	29	24	Kristine
B	13	24	Crocantela

En el Cuadro 15, nos muestra en la prueba de Duncan que dos grupos son significativamente diferentes, con la variedad Kristine que tuvo el número de hojas por planta con el promedio más elevado (29 hojas/planta), que es significativamente diferente de la variedad Crocantela (13 hojas/planta).

En el Cuadro 16, se observa la prueba de Duncan de altura de planta entre bloques para ambos niveles y variedades.

Cuadro 16. Prueba de Duncan de Bloques para Numero de Hojas

Duncan Agrupamiento	Media	N	Bloque
A	22.08	8	3
A	21.83	8	4
A B	21.45	8	2
A B	21.38	8	5

A	B	19.70	8	1
	B	19.03	8	6

En el Cuadro 16, se observa que existen diferencias significativas entre bloques entre los cuatro tratamientos donde el bloque que tiene el resultado alto es el bloque 3 con 22 hojas por planta y el bajo es el bloque 6 con 19 hojas por planta.

Mamani (2020) señala que, la variedad Kristine desarrolla en promedio 25 hojas/planta cuando llega a la madurez para la cosecha.

Apaza (2022) indica que, la variedad Kristine registra un mayor promedio con 28.80 hojas/planta.

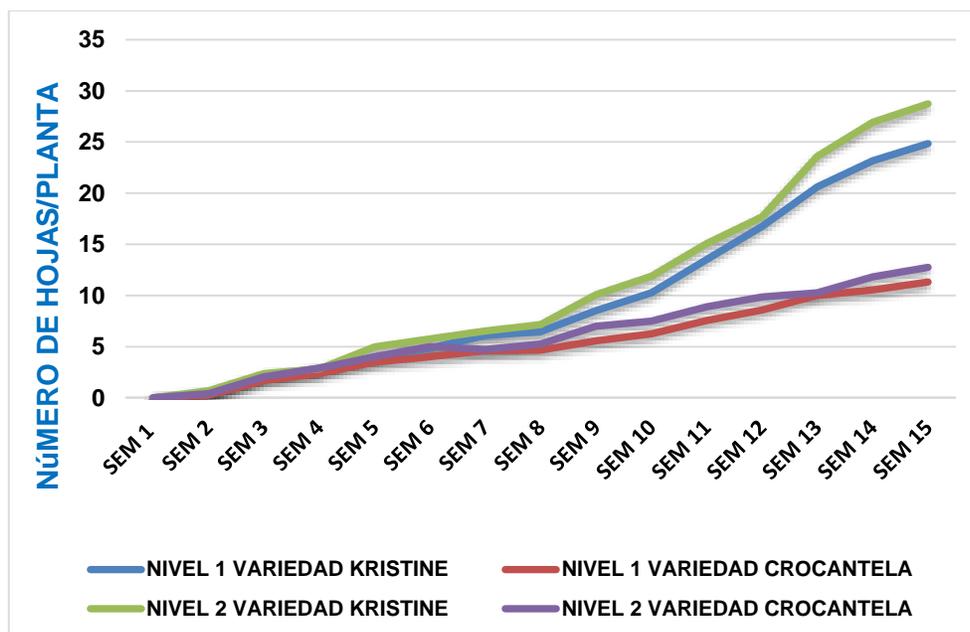


Figura 28. Desarrollo de Número de hojas del cultivo a base de dos Niveles de NPK y Dos Variedades de Lechuga, en Sistema NFT.

En la Figura 28, se observa el desarrollo de semana a semana Desarrollo del número de hojas por planta evaluado cada 7 días desde el trasplante a bandejas flotantes y durante el desarrollo en el sistema NFT, finalmente se evaluó el día de la cosecha.

4.9.3. Diámetro de tallo (mm)

En el Cuadro 17, se presenta el análisis de varianza efectuado para la variable agronómica el diámetro de tallo en el cual se realizó con los resultados obtenidos de la cosecha.

Cuadro 17. Análisis de Varianza para la Variable Diámetro de tallo

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F	Sig.
Nivel	1	34,205	34,2056	4,22	0,067	*
Bloque (Nivel)	10	81,06	8,10	2,37	0,029	**
Variedad	1	97,29	97,29	28,42	<,0001	**
Nivel*Variedad	1	0,052	0,05	0,02	0,902	N.S.
Error	34	116,41	3,42			
Total	47	329,03				
C.V. (%)	12,51					

Nota: * = Significativo ** = Altamente significativo NS = No significativo C.V. =Coeficiente de Variación

En el Cuadro 17, se puede observar que se presenta diferencias significativas entre niveles ($p > 0.06$), si se presentan diferencias significativas entre los bloques anidados entre los niveles y variedades ($p > 0.02$), además hay una alta significancia ($<, 0001$) entre variedades. El resultado del coeficiente de variación es del 12,51% inferior al 30% por lo que podemos señalar que nuestros datos son fiables.

En el Cuadro 18 se puede observar la prueba del rango múltiple de Duncan para la variable diámetro de tallo de dos niveles de NPK.

Cuadro 18. Prueba de Duncan para Diámetro de Tallo, (Para ambos niveles)

Duncan Agrupamiento	Media	N	Nivel
A	15,63	24	1(33% N-15% P-52% K)
B	13,94	24	2(33% N-25% P-42% K)

Se aprecia en el Cuadro 18, donde dos niveles de NPK fueron estadísticamente significativos para el nivel 1 (33% NT, 15% P₂O₅, 52% K₂O) la media fue de (15.63 mm) y la media de los resultados para el nivel 2 (33 % NT, 25 % P₂O₅, 42 % K₂O) fue de (13,94 mm).

En el Cuadro 19, es presentado la prueba de Duncan realizado para la variable agronómica diámetro de tallo (mm).

Cuadro 19. Prueba de Duncan para la Variable Diámetro de tallo, Variedad (Crocantela, Kristine)

Duncan Agrupamiento	Media	N	Variedad
A	16,2104	24	Crocantela
B	13,3629	24	Kristine

Como se puede apreciar en el Cuadro 19, hay dos grupos significativamente diferentes, con la variedad Crocantela que tuvo el diámetro con el promedio más elevado (16.21 mm), que es significativamente diferente de la variedad Kristine con (13.36 mm).

En el Cuadro 20, se observa la prueba de Duncan de diámetro de tallo entre bloques para ambos niveles y variedades.

Cuadro 20. Prueba de Duncan de Bloques para Diámetro de tallo

Duncan Agrupamiento	Media	N	Bloque
A	15.74	8	2
A	15.50	8	1
A	15.48	8	5
A	15.26	8	3
A B	14.14	8	4
B	12.60	8	6

En el Cuadro 20, se observa que existen diferencias significativas entre bloques entre los cuatro tratamientos donde el bloque que tiene el resultado alto es el bloque 2 con 15,74 mm planta y el bajo es el bloque 6 con 12,60 mm.

Mamani (2021) señala que, para el diámetro de tallo de dos variedades en estudio. El diámetro de tallo de la variedad Crocantela con un promedio de 17 mm y para la variedad Kristine de igual manera fue de 17 mm.

Callisaya (2020) indica que, en investigaciones realizadas en el mismo invernadero el diámetro de tallo promedio que se presenta en el estudio es 15.16 mm en la variedad Crocantela.

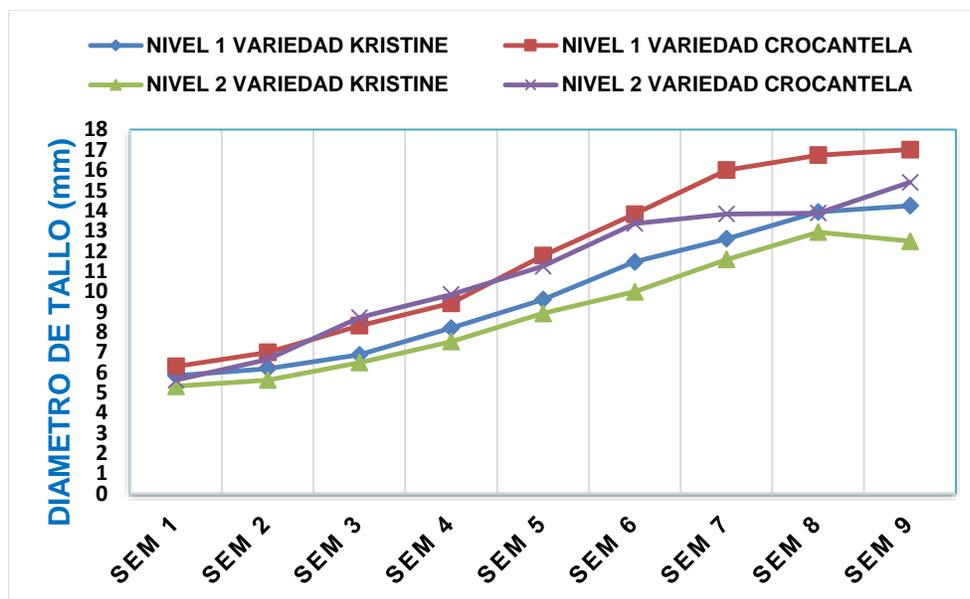


Figura 29. Desarrollo del Diámetro de tallo (mm)

En la Figura 29, se observa los ascensos de engrosamiento del diámetro de tallo que desde trasplante a sistema NFT inicio entre 5-6 mm en promedio y culminó en 18 mm en promedio.

4.9.4. Largo de pan de raíz (cm)

A continuación, en el Cuadro 21, se puede observar el análisis de varianza para la variable agronómica largo de pan de raíz donde se utilizó datos obtenidos en la cosecha.

Cuadro 21. Análisis de Varianza para la Variable Largo de pan de raíz

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F	Sig.
Nivel	1	623,52	623,52	2,93	<0,1176	NS
Bloque (Nivel)	10	2125,71	212,57	2,02	0,062	NS
Variedad	1	5355,19	5355,19	50,99	<0,0001	**
Nivel*Variedad	1	196,02	196,02	1,87	0,1809	NS
Error	34	3571,04	105,03			
Total	47	11871,48				
C.V. (%)	27.16					

Nota: * = Significativo ** = Altamente significativo NS = No significativo C.V. = Coeficiente de Variación

Como se ve en el Cuadro 21, en el análisis de varianza si hubo diferencias significativas entre variedades (<0.0001). El coeficiente de variación obtenido es un 27.16% inferior al 30 %, podemos señalar que nuestros datos pueden considerarse confiables.

En el Cuadro 22, se puede observar la prueba del rango múltiple de Duncan para la variable largo de pan de raíz de dos variedades.

Cuadro 22. Prueba de Duncan para la Variable Largo de pan de raíz, Variedad (Crocantela, Kristine)

Duncan Agrupamiento	Media	N	Variedad
A	48,29	24	Kristine
B	27,17	24	Crocantela

La prueba de Duncan que se muestra en el Cuadro 22, presento diferencias significativas entre los dos grupos, ya que el largo de pan de raíz de la variedad Kristine fue (48.29 cm), significativamente a diferencia de la variedad Crocantela con (27.17cm).

Mamani (2021) menciona que, en la prueba de Duncan identificó diferencias significativas para la variable volumen del pan de raíz donde la variedad b1 (Crocantela) manifiesta un promedio de 34,63 cm³ y la b2 (Kristine) registro una menor media con 23,38 cm³.

En la (Figura 30), nos muestra la diferencia de promedios entre niveles y variedades, el nivel 1((33% N, 15% P2O5, 52%K2O)) de la variable longitud de raíz.

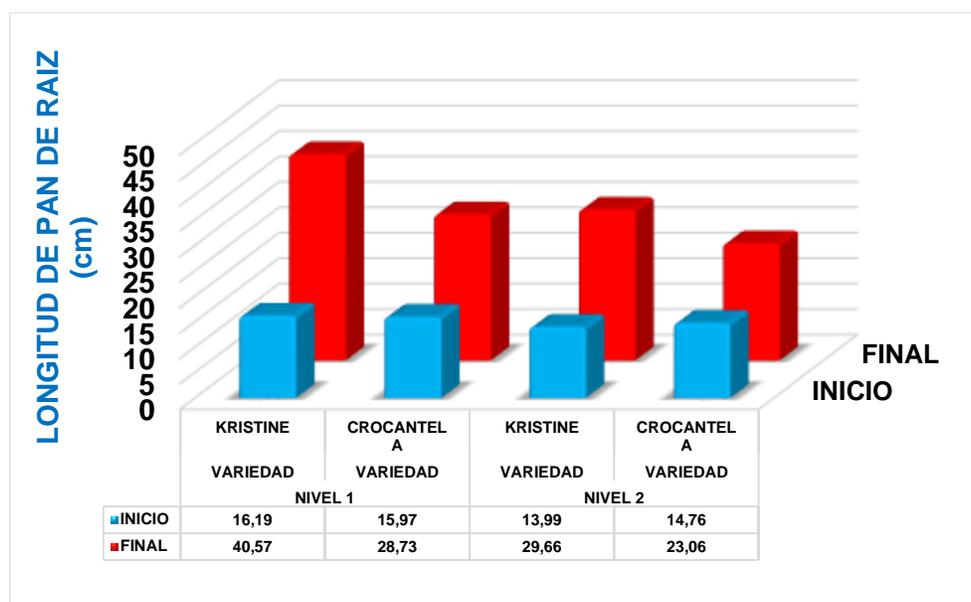


Figura 30. Promedios de Longitud de raíz (cm)

En la Figura 30, se ve que la variedad Kristine comenzó con 16.19 cm y culminó con 40.57 cm a diferencia de la variedad Crocantela que inicio con 15.97 cm y termino con 28.73 cm. para el nivel 2(33% de NT, 25% P2O5, 42% K2O) de la variedad Kristine

empezó con 13.99 cm posteriormente se cosecho con 28.73 cm en cambio finalmente la Crocantela creció hasta 23.06 cm.

4.9.5. Volumen de raíz

En el Cuadro 23, se puede ver el análisis de varianza para la variable volumen de raíz del (Nivel 1 (33% NT, 15% P2O5, 15% K2O) y nivel 2 (33 % NT, 25 % P2O5, 42 % K2O) en Sistema NFT.

Cuadro 23. Análisis de Varianza para la Variable Volumen de raíz

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F	Sig.
Nivel	1	890.96	890.96	2.77	0.1271	N.S.
Bloque (Nivel)	10	3218.49	321.85	2.15	0.0472	*
Variedad	1	6156.27	6156.27	41.13	<0.0001	**
Nivel*Variedad	1	145.60	145.60	0.97	0.3309	N.S.
Error	34	5088.49	149.66			
Total	47	15499.81				
C.V. (%)	31.00					

Nota: * = Significativo ** = Altamente significativo NS = No significativo C.V. = Coeficiente de Variación

Como se observa en el Cuadro 23, sí existe diferencia entre bloques anidados dentro de niveles y variedades ($p < 0,04$), también existe diferencias significativas en variedades ($< 0,0001$). El coeficiente de variación obtenido es del 31%, que es cercano al 30%, lo que indica que nuestros datos pueden considerarse fiables.

En el Cuadro 24, se presenta la prueba de Duncan que se muestra para la Variable Volumen de raíz, (Variedad Crocantela, Kristine) en Sistema NFT

Cuadro 24. Prueba de Duncan para la Variable Volumen de raíz, Variedad (Crocantela, Kristine)

Duncan Agrupamiento	Media	N	Variedad
A	50.2	24	Kristine
B	27.5	24	Crocantela

En el Cuadro 24, muestra una diferencia significativa entre los dos grupos debido a que el volumen de raíz de la variedad Kristine fue (50.200 cm³), el cual fue muy diferente al de la variedad Crocantela (27.5 cm³).

En el Cuadro 25, se observa la prueba de Duncan de volumen de raíz por planta entre bloques para ambos niveles y variedades.

Cuadro 25. Prueba de Duncan de Bloques para Volumen de Raíz

Duncan Agrupamiento	Media	N	Bloque
A	52.38	8	2
A B	40.85	8	3
B	38.50	8	1
B	35.65	8	6
B	33.15	8	5
B	32.73	8	4

En el Cuadro 25, se observa que existen diferencias significativas entre bloques entre los cuatro tratamientos donde el bloque que tiene el resultado alto es el bloque 3 con 40.85 cm³ por planta y el bajo es el bloque 4 con 32.73 cm³ por planta.

Callisaya (2020) menciona que, el volumen de raíz con la solución nutritiva para el nivel 1, que la variedad Crocantela inició con 11 cm³ y alcanzó 24 cm³, por tanto, incrementó 13 cm³, asimismo la variedad Invicta comenzó con 10 cm³ y adquirió al final un promedio de 29 cm³.

Mamani (2021) indica que, evaluó diferencias estadísticas entre variedades, la variedad (Crocantela) manifestando un promedio de 34,63 cm³ y la (Kristine) registro una menor media con 23,38 cm³.

Rivera (2015) señala que, en su investigación que para la lechuga en el sistema de producción NFT el volumen de raíz fue 31.72 cc con almácigo de esponja corriente y 32.46 cc en sustrato inerte; siendo valores parecidos para la presente investigación en esponja corriente para el sistema NFT.

A continuación, en la Figura 31, se observa la diferencia entre el volumen de raíz en el trasplante y en la cosecha entre Niveles y Variedades.

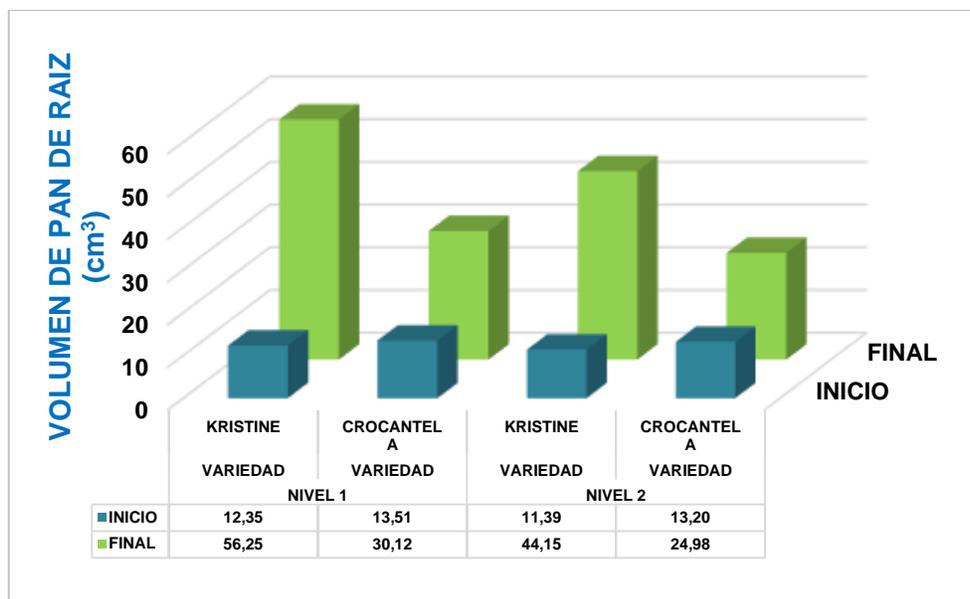


Figura 31. Promedios de Volumen de pan de raíz (cm³)

En la Figura 31, se puede apreciar la variedad Kristine en el Nivel 1 (33% NT, 15% P₂O₅, 52% K₂O) inicia en 12.35 cm³ y finaliza en 56.25 cm³, a diferencia de la variedad Crocantela que inició con 13.51 cm³ y creció hasta en 30.12 cm³. La variedad Kristine con el nivel 2 (33% NT, 25% P₂O₅, 42% K₂O) tiene una longitud inicial de 11,39 cm³, una longitud de cosecha de 44,15 cm³ y la variedad Crocantela finalmente creció hasta a 24,98 cm³.

4.9.6. Peso fresco (g)

Se observa en el Cuadro 26, el ANOVA de variables agronómicas para peso fresco por planta donde se utilizaron los datos obtenidos en la cosecha del (Nivel 1 (33% NT, 15% P₂O₅, 15% K₂O) y nivel 2 (33 % NT, 25 % P₂O₅, 42 % K₂O), en Sistema NFT.

Cuadro 26. Análisis de Varianza para la Variable Peso fresco

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F	Sig.
Nivel	1	19561,69	19561,69	7,04	0,0331	**
Bloque (Nivel)	10	32054,54	32054,54	6,10	0,0089	**
Variedad	1	47779,32	47779,32	2,95	<0,0001	**
Nivel*Variedad	1	2,17	2,17	43,97	0,964	N.S.
Error	34	36944,65	1086,61			
Total	47	136342,37				
C.V. (%)	18.70					

Nota: * = Significativo ** = Altamente significativo NS = No significativo C.V. = Coeficiente de Variación

En el Cuadro 26, se puede apreciar diferencias significativas entre niveles ($p < 0.03$), pero no hubo diferencia significativa entre nivel*variedad ($p < 0.68$), también existe diferencia significativa ($p < 0.008$) entre bloques anidados dentro de nivel por variedad, por otro lado, si hubo diferencias significativas entre variedades ($p < 0.0001$). El coeficiente de variación obtenido es del 18.39% superior al 30%.

En el Cuadro 27 se puede ver la prueba de Duncan para el peso fresco por planta del (Nivel 1 (33% NT, 15% P2O5, 15 K2O) y nivel 2 (33 % NT, 25 % P2O5, 42 % K2O), en Sistema NFT.

Cuadro 27. Prueba de Duncan para la Variable Peso Fresco, (Ambos Niveles de NPK)

Duncan Agrupamiento	Media	N	Nivel
A	195,50	24	1(33% N-15% P-52% K)
B	156,13	24	2(33% N-25% P-42% K)

Como se ve en el Cuadro 27, donde dos niveles de NPK fueron estadísticamente significativos para el nivel 1 (33% NT, 15% P2O5, 15% K2O) con media de (195.50 g), resultado medio del nivel 2 (33% NT, 25% P2O5, 42% K2O) fue (156.13 g).

En la Cuadro 28, encontramos la prueba de Duncan de la variable peso fresco promedio entre dos variedades del Nivel 1 (33% NT, 15% P2O5, 15% K2O) y Nivel 2 (33 % NT, 25 % P2O5, 42 % K2O), en Sistema NFT.

Cuadro 28. Prueba de Duncan para la Variable Peso fresco, Variedad (Crocantela, Kristine)

Duncan Agrupamiento	Media	N	Variedad
A	207,87	24	Kristine
B	144,77	24	Crocantela

Se observa en el Cuadro 28, que las variedades son estadísticamente significativas, para la variedad Kristine se observó una media de (207.87g) y para la variedad Crocantela respectivamente (144.77g).

En el Cuadro 29, se observa la prueba de Duncan para peso fresco por planta entre bloques para ambos niveles y variedades.

Cuadro 29. Prueba de Duncan de Bloques para Peso Fresco

Duncan Agrupamiento	Media	N	Bloque
A	195.71	8	2

A	194.18	8	3
A	189.18	8	1
A B	174.36	8	4
A B	160.33	8	5
B	144.15	8	6

En el Cuadro 29, se observa que existen diferencias significativas entre bloques entre los cuatro tratamientos donde el bloque que tiene el resultado alto es el bloque 3 con 195 g por planta y el bajo es el bloque 189 g por planta.

Callisaya (2022) señala que, el análisis para la variable peso fresco en su investigación observo que estadísticamente hubo una diferencia entre promedios, la variedad Kristine presenta un mayor promedio de 207.41 g y la variedad Woldmann's Green un menor promedio de 198.03 g.

Gamboa (2020) señala que, en su investigación en la producción de lechuga en suelo al aplicar fertilizantes NPK (120-30-180 kg/Ha) obtuvo 73,91 g por planta.

A continuación, en la (Figura 32), se observa los promedios de la variable agronómica peso fresco por planta del (Nivel 1 (33% NT, 15% P₂O₅, 15 K₂O) y nivel 2 (33 % NT, 25 % P₂O₅, 42 % K₂O), en Sistema NFT.

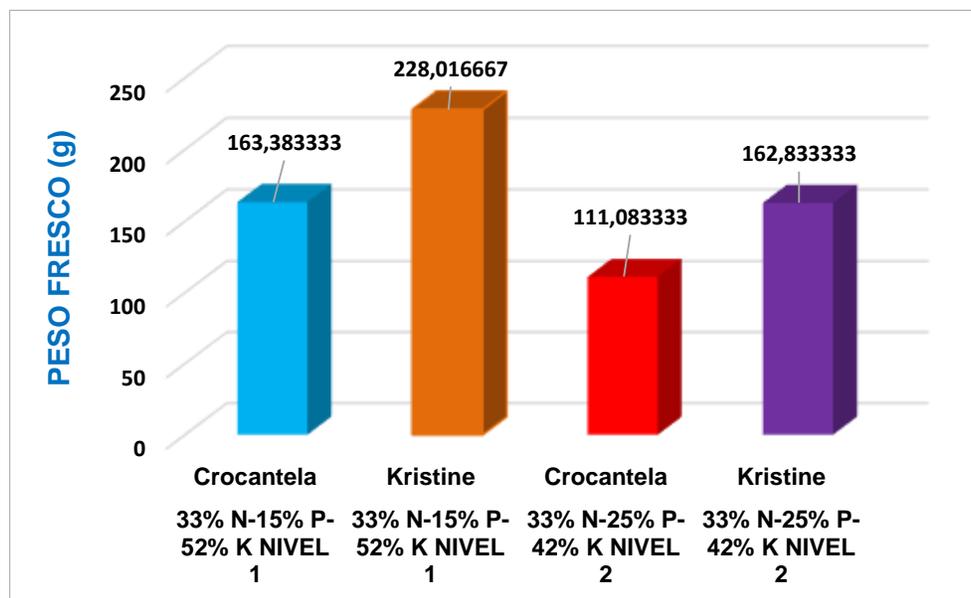


Figura 32. Promedios de peso fresco por planta (g)

Se aprecia en la Figura 32, que la variedad Kristine obtuvo 228.02 g fue el de mayor peso, después le sigue la variedad Crocantela 163,38 g ambas del (Nivel 1 (33% NT, 15% P2O5, 15 K2O) y el mínimo fue la variedad Crocantela del Nivel 2 (33 % NT, 25 % P2O5, 42 % K2O), con 111,08 g.

4.9.7. Área foliar

En el análisis de varianza para el Área Foliar se observa en el Cuadro 30, donde se utilizaron los datos obtenidos en la cosecha del (Nivel 1 (33% NT, 15% P2O5, 15% K2O) y nivel 2 (33 % NT, 25 % P2O5, 42 % K2O) en Sistema NFT.

Cuadro 30. Análisis de varianza para la Variable Área Foliar, en ambos Niveles de NPK

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F	Sig.
Nivel	1	44848.02	44848.025	2.93	0.1175	N.S.
Bloque (Nivel)	10	152813.20	15281.32	0.92	0.5300	N.S.
Variedad	1	364797.73	364797.74	21.87	<.0001	**
Nivel*Variedad	1	1983.39	1983.3980	0.12	0.7324	N.S.
Error	34	567148.21	16680.830			
Total	47	1131590.57				
C.V. (%)	18.30					

Nota: * = Significativo ** = Altamente significativo NS = No significativo C.V. =Coeficiente de Variación

Se observa en el Cuadro 30, si existe diferencias altamente significativas entre variedades ($p < .0001$). El coeficiente de variación es del 18,307 % por debajo del 30 %, cabe señalar que nuestros datos pueden considerarse fiables.

En el Cuadro 31 se observa la prueba de Duncan de la variable Área foliar de dos variedades de lechuga.

Cuadro 31. Prueba de Duncan para la Variable Área foliar, (Variedad Crocantela, Kristine) en Sistema NFT

Duncan Agrupamiento	Media	N	Variedad
A	792.64	24	Kristine
B	618.28	24	Crocantela

Se observa en el Cuadro 31, que es estadísticamente significativa entre variedades, donde el cultivar Kristine tuvo un promedio de (792.64 cm²) y el cultivar Crocantela (618.28cm²).

Andrade (2022) señala que, obtuvo un área foliar con un promedio igual a 756,71 cm² de la variedad Kristine. Este factor también se puede explicar los factores externos a la solución nutritiva que puede ser la temperatura.

Mamani (2021), según la variedad Kristine con un promedio de área foliar media de 228 cm² en el cual se evaluó la frecuencia de riegos en la asimilación de nutrientes y agua en el cultivo de lechuga bajo un sistema de hidroponía en la ciudad de El Alto.

A continuación, se ve en la Figura 33, los promedios de la variable área foliar de la variedad Crocantela y Kristine de ambas variedades.

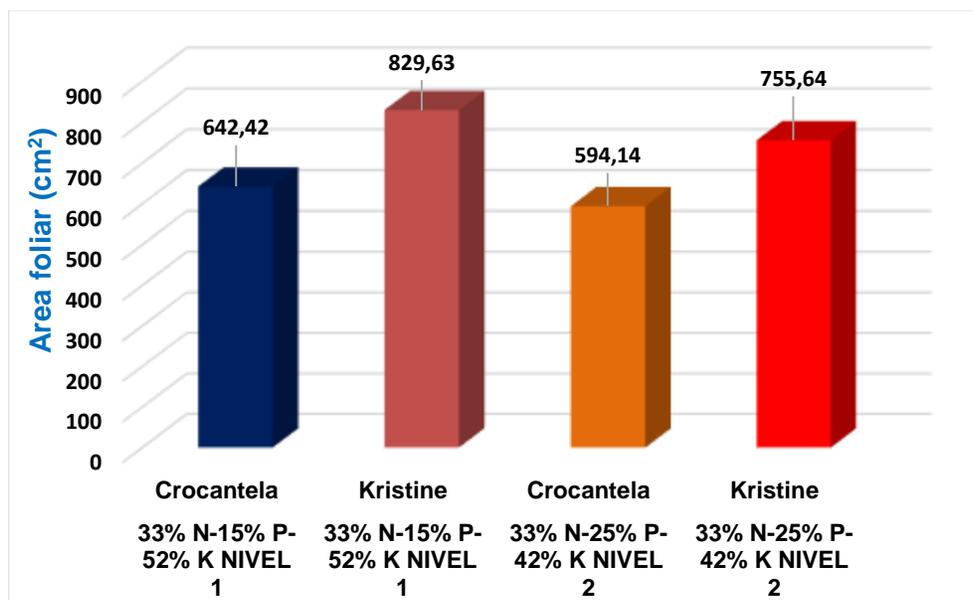


Figura 33. Medias de Área Foliar (cm²)

Se observa en la Figura 33, que la variedad Kristine fue más sobresaliente con (829,63cm²) del nivel 1 por otro lado la variedad Kristine del nivel 1 obtuvo (755,64 cm²) y la más mínima fue la variedad Crocantela con (594,14cm²).

4.9.8. Índice de Área Foliar

En el Cuadro 32, se observa el análisis de varianza para la variable agronómica índice de Área Foliar del (Nivel 1 (33% NT, 15% P₂O₅, 15% K₂O) y nivel 2 (33 % NT, 25 % P₂O₅, 42 % K₂O) en Sistema NFT.

Cuadro 32. Análisis de Varianza para la Variable Índice de Área Foliar, con dos Niveles de NPK y dos Variedades de Lechuga en Sistema NFT

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F	Sig.
Nivel	1	2.39	2.39	0.00	0.9547	N.S.
Bloque (Nivel)	10	5640.80	564.0	0.80	0.6322	N.S.
Variedad	1	6733.83	6733.83	9.59	0.0113	**
Nivel*Variedad	1	91.53	91.53	0.13	0.7256	N.S.
Error	10	7023.73	702.37			
Total	23	19492.296				
C.V. (%)	22.5					

Nota: * = Significativo ** = Altamente significativo NS = No significativo C.V. =Coeficiente de Variación

Se ve en el Cuadro 32, se observó diferencia significativa entre las variedades ($p < 0.95$). El coeficiente de variación es del 22,56 % por debajo del 30 %, cabe señalar que nuestros datos pueden considerarse fiables.

En el Cuadro 33 se puede observar la prueba de rango múltiple de Duncan de área foliar de dos variedades de lechuga.

Cuadro 33. Prueba de Duncan para la Variable índice de Área foliar, Variedad (Crocantela, Kristine)

Duncan Agrupamiento	Media	N	Variedad
A	134.22	12	Kristine
B	100.72	12	Crocantela

Como se puede ver en el Cuadro 33, que es estadísticamente significativa entre variedades, donde el cultivar Kristine tuvo un promedio de (134.22 cm²) y el cultivar

Condori (2005), indica que la cobertura foliar guarda relación con la arquitectura y hábito de crecimiento propio de cada especie o variedad de planta y que el área de sus hojas varía en función a la edad de la planta y de las condiciones ambientales existentes.

A continuación, se observa la (Figura 34), donde se presenta los promedios de la variable índice de área foliar de dos variedades de lechuga aplicados con dos niveles de NPK.

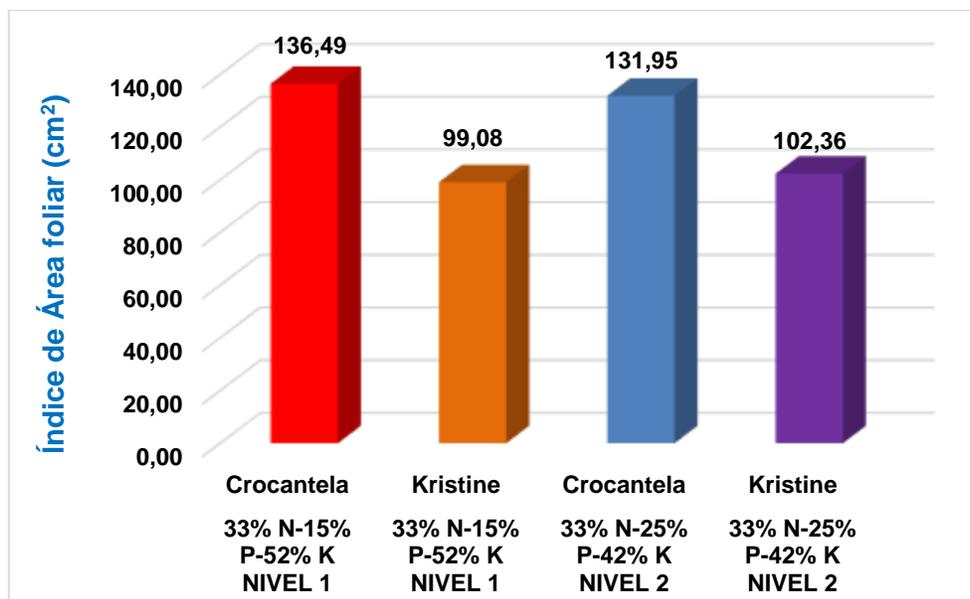


Figura 34. Promedio de la Variable índice de Área foliar

En la Figura 3, se observa que el análisis estadístico realizado para índice de área foliar, donde la variedad más sobresaliente en el sistema hidropónico fue la variedad Crocantela del nivel 1 con 136.49 cm² por otro lado la de menor índice fue la variedad Kristine con 99.08 cm².

4.9.9. Rendimiento (kg/m²)

En el Cuadro 34, se observa el análisis de varianza para área foliar de dos variedades de lechuga aplicados con el (Nivel 1 (33% NT, 15% P₂O₅, 15% K₂O) y nivel 2 (33 % NT, 25 % P₂O₅, 42 % K₂O), en Sistema NFT.

Cuadro 34. Análisis de Varianza para la Variable Rendimiento, con dos Niveles de NPK y dos Variedades de Lechuga en Sistema NFT.

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr > F	Sig.
Nivel	1	7.91	7.91	19.18	0.0009	**
Bloque (Nivel)	12	4.95	0.41	1.74	0.1762	N.S.
Variedad	1	13.66	13.66	57.54	<.0001	**
Nivel*Variedad	1	0.22	0.22	0.94	0.3514	N.S.
Error	12	2.85	0.23			
Total	27	29.59				
C.V. (%)	11.27					

Nota: * = Significativo ** = Altamente significativo NS = No significativo C.V. = Coeficiente de Variación

Se observa en el Cuadro 34, donde se observó diferencia significativa entre niveles ($p > 0.0009$). Por otro lado, hay diferencia significativa entre variedad ($p > 0.001$), El

coeficiente de variación es 11.27% menor al 30%, cabe señalar que nuestros datos pueden considerarse confiables.

Se puede observar en el Cuadro 35 la prueba de Duncan para el rendimiento del cultivo aplicado con (Nivel 1 (33% NT, 15% P₂O₅, 15% K₂O) y nivel 2 (33 % NT, 25 % P₂O₅, 42 % K₂O), en Sistema NFT.

Cuadro 35. Prueba de Duncan para la Variable Rendimiento, (Nivel de NPK) en Sistema NFT

Duncan Agrupamiento	Media	N	Nivel
A	4.8521	14	1 33% N-15% P-52% K
B	3.7893	14	2 33% N-25% P-42% K

Se ve en el Cuadro 35, que fueron estadísticamente significativos, en el Nivel 1 (33 % NT, 15 % P₂O₅, 15 % K₂O) y la media fue de (4.85 kg/m²), a diferencia del Nivel 2 (33% NT, 25% P₂O₅, 2% K₂O) que resulto con (3.79 kg/m²).

A continuación, se observa en la Figura 43., el promedio de rendimientos de dos variedades de lechuga aplicados con Nivel 1 (33% NT, 15% P₂O₅, 15% K₂O) y Nivel 2 (33 % NT, 25 % P₂O₅, 42 % K₂O).

Cuadro 36. Prueba de Duncan para la Variable Rendimiento, (Variedad Crocantela, Kristine)

Duncan Agrupamiento	Media	N	Variedad
A	5.02	14	Kristine
B	3.62	14	Crocantela

Se observa en el Cuadro 36 donde las variedades estadísticamente son significativas en el rendimiento comprobado con la prueba de Duncan, donde la variedad Kristine tuvo el promedio (5.019kg/m²) y la variedad Crocantela (3.62 kg/m²).

Cabezas (2021) citado por Callisaya (2022) señala que, trabajando con la variedad Kristine se puede llegar a tener un rendimiento de 4.0 a 4.5 kg/m² tomando en cuenta un sistema hidropónico piramidal con 6 canales.

Quispe (2016) menciona que, obtuvo 4.30 Kg/m² en la variedad White de Boston, en la variedad Crespa obtuvo 4.03 kg/m² en un sistema de raíz flotante.

Al respecto Aruquipa (2008) citado por Quispe (2016) menciona que, obtuvo un rendimiento de 3.95 kg/m² en sistema hidropónico en la estación experimental

Kallutaca. En el mismo lugar Flores (2015) obtuvo un rendimiento de 3.80 kg/m² en un sistema hidropónico NFT.

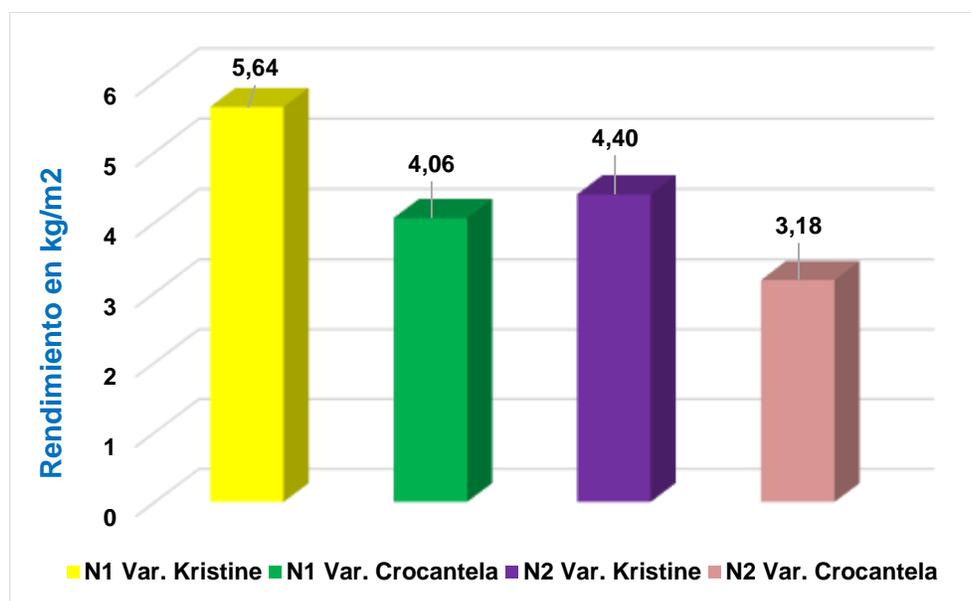


Figura 35. Rendimiento en kg/m² de los 4 tratamientos

En la Figura 35, los promedios de rendimiento del nivel 1 muestran que la variedad Kristine (5.64 kg/m²) fue superior a la variedad (Crocantela) con (4.06 kg/m²), y los promedios de rendimiento del nivel 2 muestran que la variedad Kristine (4.39 kg/m²) fue más excepcional que la variedad Crocantela con (3.18 g).

4.10. Incidencia de plagas en el cultivo

En la Figura 36, se presentan los resultados de incidencia de pulgones y moscas blancas expresado en porcentaje el cual se determinó por bloques, los datos corresponden al promedio de las lecturas obtenidas durante el ciclo productivo de cada variedad y tratamiento.

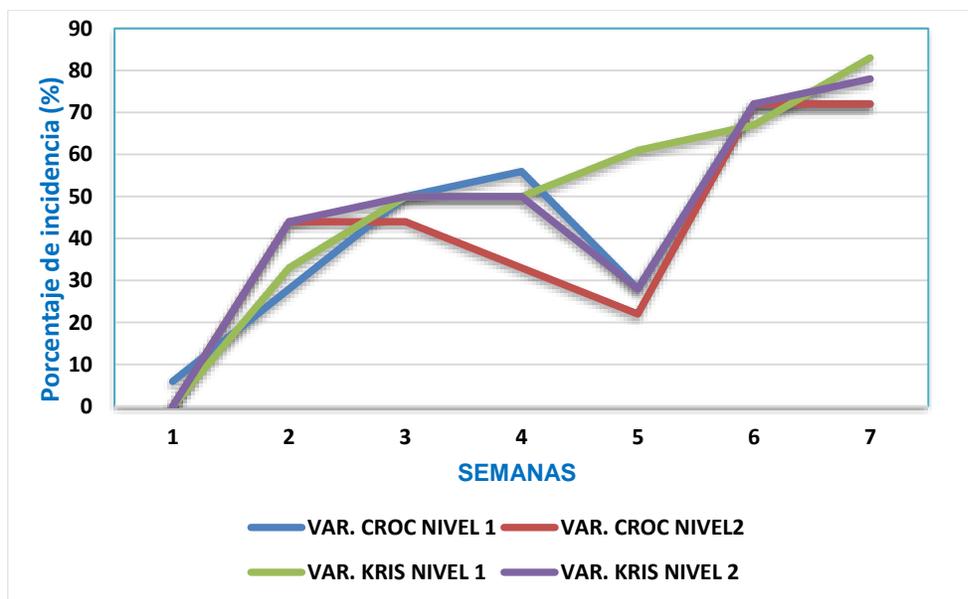


Figura 36. Incidencia de plagas en el cultivo de lechuga

En la Figura 36, se presentan los resultados de incidencia de una enfermedad o problema específico en las variedades Crocantela y Kristine en diferentes niveles de estudio.

En el nivel 1, la variedad Crocantela aumentó un promedio de incidencia del 45% por bloques, mientras que la variedad Kristine obtuvo un promedio del 43% de incidencia. En el nivel 2, la variedad Crocantela fue afectada con un promedio del 41% de incidencia, mientras que la variedad Kristine presentó un promedio del 46% de incidencia.

Se observa que la máxima incidencia registrada en el nivel 1 para la variedad Crocantela fue del 72% en promedio, con un mínimo del 6%. En comparación, la variedad Kristine presentó una máxima incidencia del 71% en promedio, con un mínimo del 0%.

En el nivel 2, la variedad Crocantela tuvo una incidencia máxima del 82% en promedio, con un mínimo del 0%. Por otro lado, la variedad Kristine tuvo una incidencia máxima del 78% en promedio, también con un mínimo del 0%.

Estos resultados indican que ambas variedades fueron afectadas por lo tanto Crocantela como Kristine, presentaron incidencias de plagas o problema evaluado en los diferentes niveles. Sin embargo, las incidencias varían en cada variedad y nivel, y se observa que

algunas muestran mayores porcentajes de incidencia en comparación con otras, esto debido al control sanitario que se realizó en el que fallo por diferentes factores como ser la frecuencia de aplicación y cantidad de insecticidas orgánicos ya que no se utilizó plaguicidas.

Se ha evidenciado que la presencia de estas plagas puede ocasionar pérdidas significativas, llegando a alcanzar hasta un 27% al 39% bajo sistemas convencionales y orgánicos tradicionales, respectivamente (Castro Granados et al., 2019).

4.11. Incidencias de enfermedades

A continuación, se observa en la Figura 37, la gráfica de incidencia de enfermedades presentado por niveles, variedades y bloques.

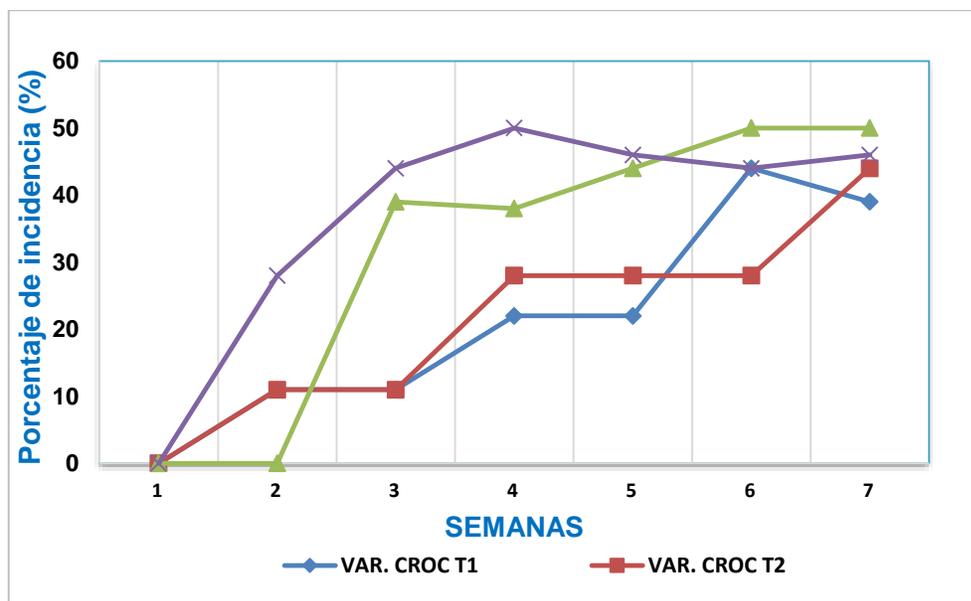


Figura 37. Grafica de incidencia de enfermedades (%)

En la Figura 37, se observa que en el nivel 1, la variedad Crocantela un promedio de incidencia del 21% por bloques, también que la variedad Kristine obtuvo un promedio del 21% de incidencia. En el nivel 2, la variedad Crocantela fue afectada con un promedio del 32% de incidencia, mientras que la variedad Kristine presentó un promedio del 37% de incidencia.

Se observa que la máxima incidencia registrada en el nivel 1 para la variedad Crocantela fue del 44% en promedio, con un mínimo del 11%. En comparación, la variedad Kristine presentó una máxima incidencia del 44% en promedio, con un mínimo del 11%.

En el nivel 2, la variedad Crocantela tuvo una incidencia máxima del 50% en promedio, con un mínimo del 0%. Por otro lado, la variedad Kristine tuvo una incidencia máxima del 50% en promedio, también con un mínimo del 28%.

Los resultados del estudio indican que la variedad Kristine mostró una mayor incidencia del fenómeno en el nivel 2 en comparación con la variedad Crocantela, mientras que en el nivel 1, ambas variedades experimentaron niveles de afectación similares. Sin embargo, las enfermedades que afectaron al cultivo fueron fusarium, botritis cinerea y odio.

Vifinix (2021) menciona que, la manifestación de síntomas de una enfermedad y su tasa de crecimiento, en función de la susceptibilidad del hospedero y condiciones ambientales deben de tenerse muy en cuenta al momento de tomar una decisión de manejo o control.

4.12. Análisis económico

Con base en los resultados obtenidos durante el estudio y los Análisis estadístico es importante realizar un análisis económico, para dar recomendaciones adecuadas. La investigación realizada en este estudio nos permite conocer y proporcionar parámetros claros para determinar la rentabilidad del cultivo hidropónico.

4.12.1. Presupuesto parcial

El presupuesto parcial se vio influenciado por las variedades en estudio los cuales se nutrieron de dos niveles de NPK estos fueron calculados para 28 m² que es la superficie del Sistema NFT donde se puede apreciar las dimensiones en la Figura 5, de igual manera el rendimiento se reflejó para la superficie de 28 m².

Cuadro 37. Rendimiento ajustado para 28.8 m²

RENDIMIENTO AJUSTADO EN KG/M²		
NIVEL	NIVEL 1	NIVEL 2
Rendimiento promedio (kg/m²)	4,85	3,78

Taza de Ajuste (10%)	0,485	0,378
Rendimiento Ajustado (kg/m²)	4,365	3,402

Para obtener el rendimiento ajustado, se consideró el 10% dado por CIMMYT (1988) para que el ajuste del mismo sea más fiable, donde se puede apreciar en el Cuadro 37.

En el anexo 4 y 5 se pueden apreciar todos los costos variables que comprenden desde materiales hasta obra de mano y servicios que se utilizaron durante la investigación. La diferencia entre estos variables por niveles varia muy poco por la formulación de la solución nutritiva que empleo otros fertilizantes se adicionaron a un nivel, sin embargo, también varia por el precio de las semillas empleadas en este caso la Kristine tiene un costo mayor que la Crocantela.

Cuadro 38. Presupuesto parcial para dos niveles de NPK

NIVEL	Rendimiento ajustado	Taza de ajuste	rendimiento ajustado	Beneficio bruto	Costos variables	Beneficio Neto	Beneficio Costo
Nivel 1	9,68	0,968	8,71	101,38	2397,2	8936,37	4,9
Nivel 2	7,57	0,757	6,81	86,31	2401,1	7196,15	4,1

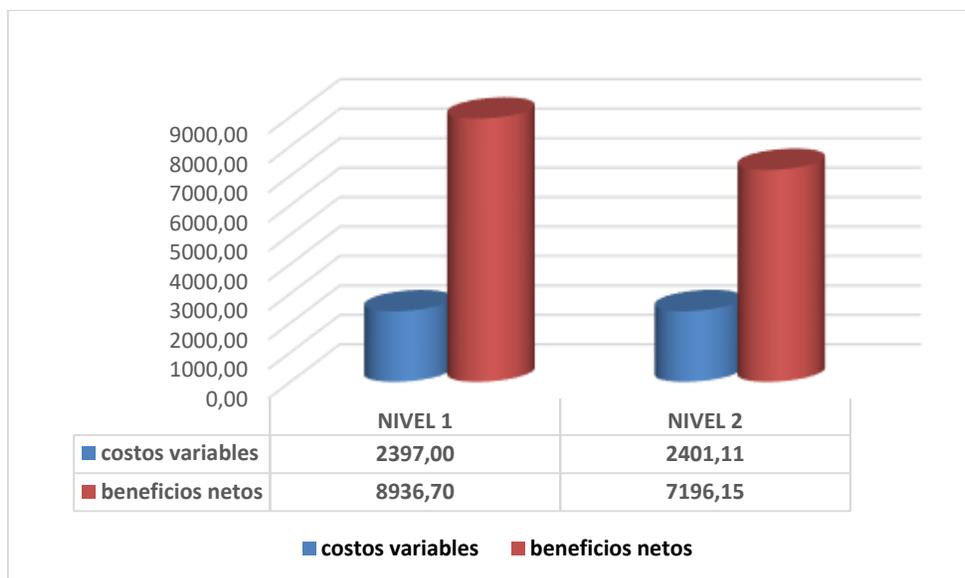
En el Cuadro 38 se puede apreciar el presupuesto parcial para dos niveles de NPK y dos variedades de lechuga en la cual el beneficio bruto para los niveles en estudio, reportaron en el nivel 1 (33% NT, 15% P2O5, 52% K2O) con 101.38. En el caso del nivel 2 (33% NT, 25% P2O5, 42% K2O) obtuvo un beneficio bruto de 86.31.

Respecto a la relación beneficio costo, en el nivel 1 (33% NT, 15% P2O5, 52% K2O) reportó 4.9, por otro lado, el nivel 2 (33% NT, 25% P2O5, 42% K2O) quien reporto menor retorno económico se presentó con 4.1.

4.12.2. Análisis de dominancia

En la Figura 38, se observa la relación de costos variables y beneficios netos para la investigación. Para el análisis se ordenan en orden ascendente de costo variable, y se puede observar que un tratamiento es dominante si su retorno neto es menor o igual al retorno neto del tratamiento con menor costo variable.

Figura 38. Relación Entre Costos Variables y Beneficios Netos para dos Niveles de NPK



4.12.3. Flujo de caja

El flujo de caja se proyectó para 12 meses el cual se muestra en el Anexo 10, para el nivel 1 (33% NT, 15% P2O5, 52% K2O) y para el nivel 2 (33% NT, 25% P2O5, 42% K2O)

5. CONCLUSIONES

Acerca de la evaluación realizada sobre el rendimiento en el cultivo de lechuga, se concluyó que el Nivel 1 superó al Nivel 2 en rendimiento promedio con 5.019 kg/m² frente a 3.62 kg/m². Tanto los niveles como las variedades influyen significativamente en el rendimiento del cultivo.

Respecto al comportamiento de las variables fisicoquímicas, se concluye que ambos niveles muestran una correlación significativa, con un 97.83% en el Nivel 1 y un 98.1% en el Nivel 2. Además, ambos niveles expresan una correlación del 100% entre la conductividad eléctrica y el total de sólidos disueltos de la solución nutritiva. En cambio, la relación entre el oxígeno disuelto y la temperatura de la solución nutritiva es débil, con un 23% en el Nivel 1 y un 20% en el Nivel 2.

Se concluye que el Nivel 1 presenta un promedio de consumo semanal de solución nutritiva de 251.25 ml/planta, totalizando 2.16 litros/planta por ciclo, con una tasa de absorción semanal del 11.69%. En comparación, el Nivel 2 tiene un consumo semanal de 270 ml/planta, totalizando 2.01 litros/planta por ciclo, con una tasa de absorción semanal del 13.47%.

En cuanto a los resultados del análisis del comportamiento de las variables agronómicas del cultivo de lechuga, el Nivel 1 mostró mejor comportamiento agronómico, con un diámetro de tallo de 15.63 mm y peso fresco de 195.50 g. Comparando las variedades, Kristine sobresalió con una altura de planta de 20.16 cm, 23 hojas por planta, longitud de raíz de 48.29 cm, volumen de raíz de 50.2 cm³, peso fresco de 208 g, área foliar de 792.64 cm² e índice de área foliar de 134.22 cm².

Con relación al análisis químico de la solución nutritiva, ambos niveles presentaron asimilación de los elementos investigados. En el Nivel 1, el nitrógeno disminuyó de 143 mg/l a 134 mg/l, el fósforo aumentó de 26 mg/l a 32 mg/l y el potasio disminuyó significativamente de 194 mg/l a 46 mg/l. En el Nivel 2, el nitrógeno disminuyó de 138 mg/l a 121 mg/l, el fósforo bajó de 31 mg/l a 27 mg/l y el potasio disminuyó de 172 mg/l a 67 mg/l.

Respecto al análisis de hojas, se concluyó que las variedades muestran diferencias en la acumulación de nitrógeno y potasio. Kristine acumuló más potasio en el Nivel 1 y

menos en el Nivel 2 en comparación con Crocantela. Según el análisis químico de las hojas, en el Nivel 1, Kristine presentó un 4% de nitrógeno y un 8.51% de potasio, mientras que Crocantela mostró un 3.6% de nitrógeno y un 8.89% de potasio. En el Nivel 2, Kristine presentó un 4% de nitrógeno y un 6.71% de potasio, mientras que Crocantela mostró un 3.7% de nitrógeno y un 7.76% de potasio.

6. RECOMENDACIONES

En base a los objetivos, resultados y conclusiones del presente trabajo, se formulan las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda llevar a cabo más ensayos en diferentes ubicaciones para investigar más a fondo los efectos de los niveles y variedades de cultivo en el Sistema NFT, ya que estos factores pueden influir significativamente en el rendimiento.
- Se recomienda aplicar el nivel 1 (33% N, 15% P, 52% K) basándose en los resultados obtenidos en la presente investigación evaluado en el cultivo de lechuga así también recomendar la variedad Kristine por su rendimiento, considerando el análisis químico del agua del lugar.
- Se recomienda monitorear periódicamente los parámetros fisicoquímicos. Las variaciones significativas en el pH, la conductividad eléctrica y en el contenido de sólidos disueltos pueden indicar desequilibrios en la solución nutritiva y afectar negativamente el desarrollo de las plantas.
- Se recomienda tener un cuidado y manejo más meticuloso al tomar muestras de los tanques para llevar a cabo los análisis químicos en el laboratorio. Esto garantizará la obtención de datos precisos y reales para cada factor en estudio.
- Se recomienda mantener un monitoreo constante de los parámetros fisicoquímicos de la solución nutritiva. Este seguimiento riguroso es crucial para prevenir posibles lesiones en las raíces del cultivo
- Se recomienda supervisar de cerca el progreso diario de la variedad Crocantela durante su fase de crecimiento, ya que sus hojas tienden a enroscarse con facilidad.
- Se recomienda llevar a cabo un monitoreo constante y establecer un control fitosanitario eficaz para prevenir la proliferación de plagas y enfermedades.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ayala, B. 2019. Evaluación de dos niveles de cloruro de potasio (KCl) óptimos para evitar la fitotoxicidad del cloruro en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L.*) en sistema hidropónico NFT, El Alto - La Paz. Tesis Lic. Ing Agr. BO. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. La Paz - Bolivia.
- Balanza, J. (2011). Historia de la lechuga: Un recorrido por sus orígenes y propiedades.
- CIMMYT, 1988. "La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos", "Manual metodológico de evaluación económica ". D.F, Mexico.
- FAO, (2019). Rendimiento mundial del cultivo de lechuga en suelo (2010-2019).
- HANNA instruments (01 de enero de 2023). Medición del oxígeno disuelto [Mensaje en un blog]. Disponible en: <https://www.hannainst.es/blog/83/medicion-del-oxigeno-disuelto>.
- <https://bureau-insurance.com/es/temperatura-de-la-solucion-nutritiva/>
- Huanca, C. (2017). Evaluación de dos variedades de lechugas (*Lactuca sativa L.*) con dos niveles de cloruro de potasio (KCl), en Sistema Hidropónico NFT. Tesis Lic. Ing. Agr. BO. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2012). Censo Nacional de Población y Vivienda 2012.
- Instituto Nacional de Estadística, (2019). Producción de lechuga en suelo en Bolivia
- Lizarro. (2009). Clasificación taxonómica de *Lactuca sativa L.*
- Mamani, S. (septiembre de 2021). Evaluación de la frecuencia de riego en la asimilación de nutrientes y agua en el cultivo de Lechuga (*Lactuca sativa L.*) bajo el sistema nutrient film technique (NFT) en la ciudad de El Alto.
- Martínez, G., Otiz, & López, R. (2012). Oxigenación de la solución nutritiva recirculante y su efecto en tomate y lechuga. Fitotecnia Mexicana. 49-52 p.

Martínez, P.F. y Roca D. 2011 El control del clima de los in- verdaderos de plástico. Un enfoque actualizado. En: Flórez R., V.J. (Ed.). Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia. pp. 177-□□□.

Murillo, J. (2010). *Historia y cultivo de la lechuga: Orígenes y expansión*.

Ochoa, R. 2016. Diseños experimentales. 2 Ed. Place Published.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2019). La situación mundial de la agricultura y la alimentación 2019: 10 años de progreso en la seguridad alimentaria y la nutrición.

Resh M., H. S. A. Cultivos hidropónicos. p.

Rijkzwaan. 2019. Variedades de lechuga hidropónica Kristine. Place Published. Disponible en <https://www.rijkszwaan.cl/busca-tu-variedad/lechuga/kristine-rz>.

8. ANEXOS

Anexo 1. Análisis de laboratorio de agua 2021

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
CATIONES		
Calcio	Mg/l	49
Potasio	Mg/l	0.63
Sodio	Mg/l	2.1
Amonio	Mg	0.30
ANIONES		
Sulfatos	Mg/l	30
Nitrato	Mg/l	0.30
Fosforo	Mg/l	0.040
pH		8.2
CE	Ppm	270

Fuente: LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL (LCA) 2021

Anexo 2. Fertilizantes para Bandejas Flotantes y sistema NFT

Fertilizantes	Formula	Nivel 1	Nivel 2	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 1	NIVEL 2
		N 33% P 15% K 52%	N 33% P 25% K 42%	N33% P15% K52%	N33% P25% K 42%	N33%P15% 52%	N33%P25%K 42%
		BF. C:50%		B.F. ADICION10%		S. NFT 100%	
		g/80 l	g/70 l	g/16 l	g/14 l	g/250 l	g/250 l
Nitrato de Calcio	Ca (NO ₃) ₂	51.39	44.969	10.28	8.993	124.671	124.671
Nitrato de Magnesio	(MgNO ₃) ₂ .6H ₂ O	5.6	12.17	1.12	2.433	117.488	126
Nitrato de Potasio	(KNO ₃)	35.35	22.11	7.070	4.422	73	26.3
Fosfato Monopotásico	(KH ₂ PO ₄)		8.16		1.633		70.125
Fosfato Monoamónico	(NH ₄ PO ₄)	12.63	8.29	25.296	1.658	37.5	
Sulfato de Magnesio	(MgSO ₄)	35.92	24.63	8.47	4.93	8.47	
Sulfato de Potasio	(K ₂ SO ₄)	1.744	2.94	0.349	0.588	76.25	53.225
Cloruro de Potasio	(KCl)	13.208	8.89	1.980	1.778	9.903	

Nitro S	(S*NH4NO3)	1.126	30.5	0.23	0.701	4.1	30.5
Sulfato de Manganeso	(MnSO ₄)	1.531	1.531	0.136	0.136	0.136	0.136
Sulfato de Zinc	(ZnSO ₄)	0.058	0.058	0.0145	0.0145	0.0145	0.0145
Ácido Bórico	(H ₃ BO ₃)	2.628	2.628	0.657	0.657	0.657	0.657
Molibdato de Amonio	((Nh ₄	0.08	0.08	0.02	0.02	0.02	0.02
Sulfato de Hierro	(FeSO ₄)	1.57	1.37	0.239	0.275	4.911	4.911

Anexo 3. Cálculo de la Normalidad para el Ácido Nítrico y Bicarbonato de Sodio

Calcular la normalidad de disolución de 13ml de ácido nítrico con una densidad de 1.3gr/ml con una pureza de 67 % disueltos en 250ml.

$$H=1*1=1$$

$$N=14*1=14$$

$$O=16*3=48$$

$$63 \text{ gr HNO}_3$$

$$\frac{1.3 \text{ gr HNO}_3}{\text{ml}} * \frac{13 \text{ ml sol}}{0.25 \text{ lt}} * \frac{67 \text{ gr HNO}_3}{100 \text{ gr sol}} * \frac{1 \text{ eq}}{63 \text{ gr HNO}_3} = 0.72 \text{ N}$$

Calcular la Normalidad de un 1ml de ácido fosfórico con una pureza de 85 % y una densidad de 1.63 gr/ml disueltos en 250 ml.

$$H=3*1=3$$

$$P=31*1=31$$

$$O=16*4=64$$

$$98 \text{ gr H}_3\text{PO}_4$$

$$\frac{1.63 \text{ gr H}_3\text{PO}_4}{\text{ml}} * \frac{1 \text{ ml sol}}{0.25 \text{ lt}} * \frac{85 \text{ gr H}_3\text{PO}_4}{100 \text{ gr sol}} * \frac{1 \text{ eq}}{98 \text{ H}_3\text{PO}_4} = 0.056 \text{ N}$$

Calcular la Normalidad de 40 gr de bicarbonato de sodio con una pureza de 95 % en 250 ml de disolución.

$$\text{Na} = 21*1=1$$

$$H=1*1=1$$

$$C=12*1=12$$

$$O=16*3=48$$

$$82 \text{ gr NaHCO}_3$$

$$\frac{40 \text{ gr NaHCO}_3}{0.25 \text{ lt}} * \frac{1 \text{ eq}}{82 \text{ gr NaHCO}_3} * \frac{95 \text{ gr NaHCO}_3}{100 \text{ gr}} = 1.85 \text{ N}$$

Anexo 4. Presupuesto de fertilizantes, insumos para titulación, semilla, materiales y mano de obra para la solución nutritiva con el Nivel 1

NIVEL 1 COSTOS VARIABLES				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL (Bs)
FERTILIZANTES				45,4
Nitrato de Calcio	kg	0,95	11,15	10,65
Nitrato de Magnesio	kg	0,83	11,15	9,27
Nitrato de Potasio	kg	0,57	19,6	11,12
Fosfato Monoamónico	kg	0,35	16,8	5,90
Sulfato de Magnesio	kg	0,12	13,2	1,59
Sulfato de Potasio	kg	0,54	10,8	5,79
Cloruro de Potasio	kg	0,09	4,7	0,42
Nitro S	kg	0,03	7,6	0,23
Sulfato de Manganeso	kg	0,00	12,4	0,03
Sulfato de Zinc	kg	0,00	14,8	0,00
Ácido Bórico	kg	0,01	18	0,14
Molibdato de Amonio	kg	0,00	3000	0,24
Sulfato de Hierro	kg	0,04	0,46	0,02
INSUMOS PARA TITULACION				107,5
Ácido fosfórico	l	0,115	28,875	3,32
Ácido nítrico	l	0,290	26	7,54
Bicarbonato de sodio	gr	360	0,033	11,88
Solución búfer pH	UNIDAD	50	200	43,48
Solución buffer HI 70300	UNIDAD	50	190	41,30
SEMILLAS				47,8
Variedad Kristine	unidad	275	0,102	28,1
Variedad Crocantela	unidad	275	0,063	17,3
Variedad White the Boston	onza	0,12	20	2,4
MATERIALES				140,16
Esponja Poliuretano	unidad	2	4,08	8,16
Bolsa celofán	paquete	3	15	45
códigos de barra	unidad	200	0,15	30
scoch	unidad	4	5	20
Detergente	unidad	2	3,5	7
masking	unidad	6	5	30
MATERIALES PARA MANEJO FITOSANITARIO				356,36
Caldo sulfocalcico	gr Azufre	600	40	60

	25 kg Cal	0,6	15	0,36
Fungicida de canela	10 g Canela	100	2	20
	Unidad Miel	1	45	45
	l Alcohol	2	15	30
	kg Cebolla	4	5	20
Insecticida orgánico	lb limón	4	5	20
	detergente	2	3	6
	lb ajo	2	10	20
	Insecticida químico	ml	30	4,5
MANO DE OBRA				1700
acondicionamiento de sistema NFT	jornal	2	40	80
Trasplante a bandeja flotantes	jornal	1	40	40
Trasplante a sistema NFT	jornal	1	40	40
Cosecha y post cosecha	jornal	4	40	160
Distribución y venta	medio jornal	7	40	280
Salario de encargado	medio jornal/ mensual	1	1100	1100
TOTAL				2397,23

Anexo 5. Presupuesto de fertilizantes, insumos para titulación, semilla, materiales y mano de obra para la solución nutritiva con el Nivel 2

NIVEL 2 COSTOS VARIABLES				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	c/u (Bs)	TOTAL (Bs)
FERTILIZANTES				47,07
Nitrato de Calcio		0,944645	11,15	10,53
Nitrato de Magnesio		0,901469	11,15	10,05
Nitrato de Potasio		0,219476	19,6	4,30
Fosfato Monopotásico		0,503934	28,8	14,51
Fosfato Monoamónico		0,013264	16,8	0,22
Sulfato de Magnesio		0,03942	13,2	0,52
Sulfato de Potasio		0,377279	10,8	4,07
Cloruro de Potasio		0,014224	4,7	0,07
Nitro S		0,246103	7,6	1,87
Sulfato de Manganeso		0,002617	12,4	0,03
Sulfato de Zinc		0,000174	14,8	0,00
Ácido Bórico		0,007884	18	0,14
Molibdato de Amonio		0,00024	3000	0,72
Sulfato de Hierro		0,036572	0,46	0,02
INSUMOS PARA TITULACION				109,8
Acido fosfórico	l	0,11	28,875	3,18

Ácido nítrico	l	0,267	26	6,94
Bicarbonato de sodio	gr	450	0,033	14,85
Solución búfer pH	unidad	50	200	43,48
Solución buffer HI 70300	unidad	50	190	41,30
SEMILLAS				47,8
Variedad Kristine	unidad	275	0,102	28,1
Variedad Crocantela	unidad	275	0,063	17,3
Variedad White the Boston	onza	0,12	20	2,4
MATERIALES				140,16
Esponja Poliuretano	unidad	2	4,08	8,16
Bolsa celofán	paquete	3	15	45
Códigos de barra	unidad	200	0,15	30
Scoch	unidad	4	5	20
Detergente	unidad	2	3,5	7
Masking	unidad	6	5	30
MATERIALES PARA MANEJO FITOSANITARIO				356,36
Caldo sulfocalcico	gr Azufre	600	40	60
	25 kg Cal	0,6	15	0,36
Fungicida de canela	10 g Canela	100	2	20
	Unidad Miel	1	45	45
	l Alcohol	2	15	30
Insecticida orgánico	kg Cebolla	4	5	20
	lb limón	4	5	20
	detergente	2	3	6
	lb ajo	2	10	20
Insecticida químico	ml	30	4,5	135
MANO DE OBRA				1700
acondicionamiento de sistema NFT	jornal	2	40	80
Trasplante a bandeja flotantes	jornal	1	40	40
Trasplante a sistema NFT	jornal	1	40	40
Cosecha y post cosecha	jornal	4	40	160
Distribución y venta	medio jornal	7	40	280
Salario de encargado	medio jornal/ mensual	1	1100	1100
TOTAL				2401,11

Anexo 6. Planilla del monitoreo diario del sistema NFT del Nivel 1

FECHA	HORA		pH		CE		TDS		T° SN		Vol.	
	pm	am	am	pm	am	pm	am	pm	am	pm	am	pm
29/12/2021	07:58	13:41		6,1		1840	0	920		11,7		250

30/12/2021	07:58	13:41	6,3	6,35	1820	1805	910	903	9,5	14,4	240	220
31/12/2021	07:58	13:41	6,3	6,3	1800	1810	900	905	10,5	14,6	240	210
1/1/2022	07:58	13:41	6,3	6,2	1830	1845	915	923	12,5	17,0	210	190
2/1/2022	07:58	13:41	6,1	6,15	1890	1895	945	948	11,1	15,4	200	180
3/1/2022	07:58	13:41	5,9	5,95	1890	1910	945	955	11,6	15,8	190	160
4/1/2022	07:58	13:41	5,8	5,7	1960	1960	980	980	10,3	15,3	170	135
5/1/2022	07:58	13:41	5,3	5,3	1990	1980	995	990	10,9	14,9	155	120
6/1/2022	07:58	13:41	5,5	5,5	2030	2030	1015	1015	10,3	10,3	130	
6/1/2022	07:58	13:41	6,3	6,3	1820	1820	910	910	11,1	11,1	145	
6/1/2022	07:58	13:41	6,2	6,2	1850	1850	925	925	11,7	12,4	145	100
7/1/2022	07:58	13:41	6,3	6,3	1850	1830	925	915	8,7	12,8	135	80
8/1/2022	07:58	13:41	6,4	6,4	1840	1850	920	925	9,6	13,3	110	80
9/1/2022	07:58	13:41	6,6	6,6	1840	1840	920	920	11,6	16,3	100	70
10/1/2022	07:58	13:41	6,4	6,35	1840	1830	920	915	9,8	11,7	90	60
11/1/2022	07:58	13:41	6,4	6,35	1850	1855	925	928	8,5	11,2	260	240
12/1/2022	07:58	13:41	5,9	5,95	1860	1865	930	933	9,6	13,6	250	200
13/1/2022	07:58	13:41	6	5,95	1890	1890	945	945	10,4	14,6	230	190
14/1/2022	07:58	13:41	6	6,15	1910	1910	955	955	10,5	13,5	220	170
15/1/2022	07:58	13:41	6	6	1900	1915	950	958	9,2	12,5	200	170
16/1/2022	07:58	13:41	6,4	6,5	1930	1930	965	965	10,6	10,6	180	150
17/1/2022	07:58	13:41	6,5	6,55	1910	1915	955	958	9,2	11,1	170	140
18/1/2022	07:58	13:41	6,5	6,6	1900	1890	950	945	9,2	10,4	150	100
19/1/2022	07:58	13:41	6,4	6,5	1890	1900	945	950	7,5	12,8	140	90
20/1/2022	07:58	13:41	6,6	6,55	1910	1925	955	963	8,4	13,2	120	70
21/1/2022	07:58	13:41	6,5	6,5	1940	1940	970	970	10,4	10,4	100	
21/1/2022	07:58	13:41	6,1	6,25	1840	1870	920	935	14,3	16,8	290	260
22/1/2022	07:58	13:41	6,1	5,95	1880	1880	940	940	11,8	12,0	260	200
24/1/2022	07:58	13:41	6,2	6,1	1930	1915	965	958	8,9	10,3	220	130
25/1/2022	07:58	13:41	6,2	6,15	1830	1830	915	915	8	11,2	200	100
26/1/2022	07:58	13:41	6,2	6,3	1780	1780	890	890	8,8	12,8	160	90
27/1/2022	07:58	13:41	6,5	6,4	1720	1710	860	855	9,6	11,7	140	70
27/1/2022	07:58	13:41	6,7	6,4	1780	1825	890	913	13,8	13,5	60	290
28/1/2022	07:58	13:41	6,3	6,25	1860	1830	930	915	9,4	12,6	280	200
29/1/2022	07:58	13:41	6,1	6,1	1770	1775	885	888	9,2	12,0	260	180
31/1/2022	07:58	13:41	6,1	6,2	1640	1635	820	818	9,5	11,1	220	170
1/2/2022	07:58	13:41	6,3	6,45	1570	1550	785	775	9,3	10,0	210	120
2/2/2022	07:58	13:41	6,5	6,7	1480	1470	740	735	8,2	10,9	180	110
3/2/2022	07:58	13:41	6,6	6,8	1440	1430	720	715	8,4	11,6	160	90
4/2/2022	07:58	13:41	6,8	6,8	1440	1500	720	750	8	11,5	130	60
4/2/2022	07:58	13:41	7	7	1570	1570	785	785	11	11,0		280
5/2/2022	07:58	13:41	6,4	6,4	1820	1850	910	925	10,1	12,5	260	180
7/2/2022	07:58	13:41	5,7	5,6	1580	1575	790	788	8,4	12,9	220	160
8/2/2022	07:58	13:41	5,6	5,75	1510	1495	755	748	8,8	12,2	200	140

9/2/2022	07:58	13:41	6,3	6,5	1430	1440	715	720	10	13,8	160	120
10/2/2022	07:58	13:41	6,4	6,5	1480	1515	740	758	8,6	11,9	120	80
10/2/2022	07:58	13:41	6,2	6,2	1880	1880	940	470		13,2	100	280
11/2/2022	07:58	13:41	6,4	6,45	1770	1760	885	880	9,4	11,9	270	200
12/2/2022	07:58	13:41	6,1	6,05	1670	1675	835	838	8	10,9	250	170
14/2/2022	07:58	13:41	5,3	5,3	1400	1400	700	700	9,7	9,7	220	110
15/2/2022	07:58	13:41	6,5	6,4	1460	1495	730	748	8,6	8,6	160	80
16/2/2022	07:58	13:41	6,6	6,6	1480	1510	740	755	9,5	11,3	120	70

Anexo 7. Planilla de monitoreo diario del sistema NFT del Nivel 2

FECHA	HORA		pH		CE		TDS		T° SN		VOLUMEN	
	am	pm	am	pm	am	pm	am	pm	am	pm	am	pm
29/12/2021	07:58	13:41		6,4		1830	0	915		12,1		230
30/12/2021	07:58	13:41	6,2	6,2	1790	1780	895	890	9,9	19,6	220	240
31/12/2021	07:58	13:41	6,2	6,2	1790	1800	895	900	11,6	18,8	220	210
1/1/2022	07:58	13:41	6,3	6,1	1820	1850	910	925	13,8	21,8	200	180
2/1/2022	07:58	13:41	6,2	6	1870	1900	935	950	10,8	19,5	180	170
3/1/2022	07:58	13:41	6	6	1920	1910	960	955	11,7	19,9	170	160
4/1/2022	07:58	13:41	5,9	5,6	1920	1970	960	985	10,6	20,8	160	140
5/1/2022	07:58	13:41	5,9	5,8	1980	2000	990	1000	10,6	19,1	140	120
6/1/2022	07:58	13:41	5,6		2030		1015	0	10,7		130	
6/1/2022	07:58	13:41	5,7		1820		910	0	11,8		147	
6/1/2022	07:58	13:41	6,3	6,3	1850	1830	925	915	11,8	14	147	110
7/1/2022	07:58	13:41	6	6	1840	1820	920	910	8,3	16,7	140	100
8/1/2022	07:58	13:41	5,8	5,8	1830	1850	915	925	9,6	19,3	130	80
9/1/2022	07:58	13:41	5,8	5,7	1820	1870	910	935	11,2	21,3	120	70
10/1/2022	07:58	13:41	5,8	5,9	1810	1850	905	925	9,9	13,5	100	60
11/1/2022	07:58	13:41	6,3	6,3	1830	1860	915	930	8,9	14,2	270	220
12/1/2022	07:58	13:41	6,2	6,1	1840	1870	920	935	10	17,7	250	210
13/1/2022	07:58	13:41	5,8	5,7	1890	1900	945	950	10,8	19	240	195
14/1/2022	07:58	13:41	6,3	5,7	1920	1950	960	975	10,2	16,7	210	170
15/1/2022	07:58	13:41	6,1	6,1	1950	1990	975	995	9,8	15,8	200	170
16/1/2022	07:58	13:41	6,1		1980		990	0	10,9		180	150
17/1/2022	07:58	13:41	6,1	6,1	2010	2000	1005	1000	9,4	13	160	125
18/1/2022	07:58	13:41	6,1	6,1	1980	1900	990	950	9,8	11,9	150	100
19/1/2022	07:58	13:41	6,2	6	1980	2010	990	1005	7,7	18,7	140	90
20/1/2022	07:58	13:41	6	5,8	2040	2090	1020	1045	8,7	18	120	70
21/1/2022	07:58	13:41	6		2080		1040	0	11,5		100	
21/1/2022	07:58	13:41	6	6,3	1830	1890	915	945	14,9	19	280	250
22/1/2022	07:58	13:41	5,8	5,8	1890	1900	945	950	12	13,2	260	210

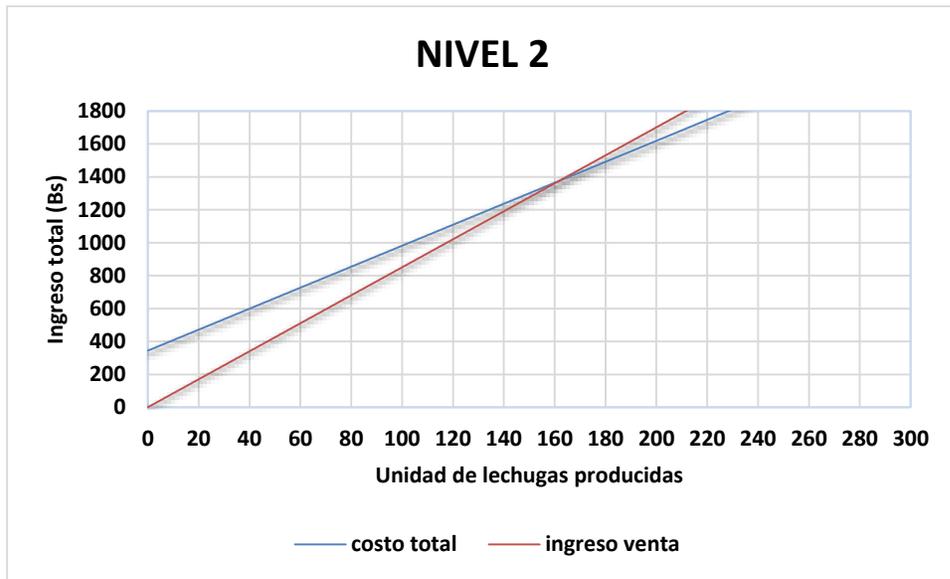
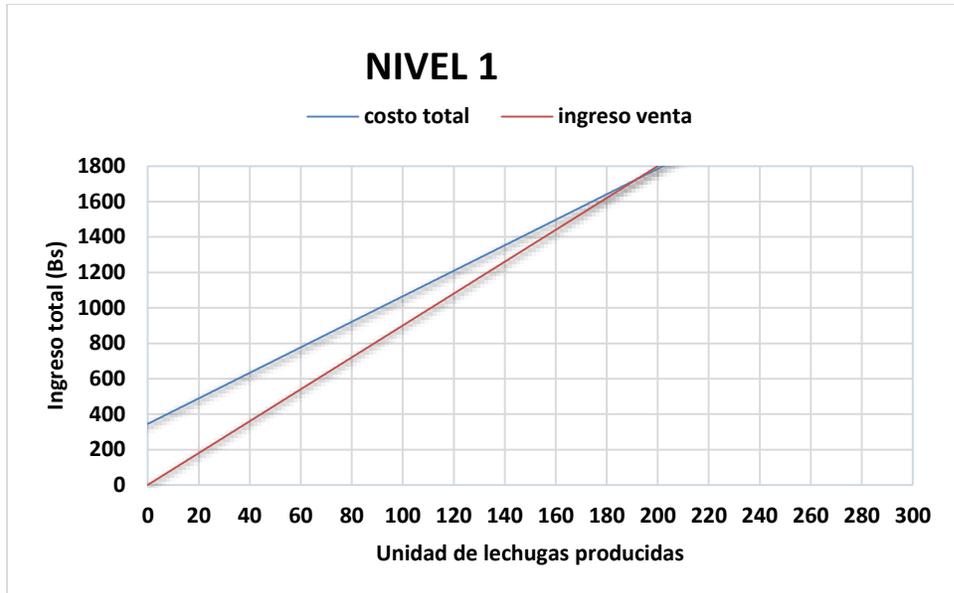
24/1/2022	07:58	13:41	6,2	5,9	1890	1840	945	920	9,2	11,3	220	180
25/1/2022	07:58	13:41	6,3	6,3	1880	1900	940	950	8,1	14,3	200	120
26/1/2022	07:58	13:41	6,3	6,5	1880	1890	940	945	9,9	16	180	100
27/1/2022	07:58	13:41	6,5	6,6	1840	1830	920	915	9,8	14,2	160	80
27/1/2022	07:58	13:41	6,5		1890		945	0	14,2			80
28/1/2022	07:58	13:41	6,3	6,3	1820	1850	910	925	9,6	16,4	270	220
29/1/2022	07:58	13:41	6,1	5,7	1830	1830	915	915	9,7	14,8	250	180
31/1/2022	07:58	13:41	6	5,7	1840	1860	920	930	10,1	12,9	200	160
1/2/2022	07:58	13:41	5,8	6,2	1830	1830	915	915	9,5	11	180	120
2/2/2022	07:58	13:41	6,2	6,3	1790	1800	895	900	8,8	13,6	160	110
3/2/2022	07:58	13:41	6,4	6,4	1780	1760	890	880	8,8	13,4	130	90
4/2/2022	07:58	13:41	6,5	6,8	1860	1990	930	995	8,4	17,2	100	70
4/2/2022	07:58	13:41	6,9		2000		1000	0	11,3			280
5/2/2022	07:58	13:41	6,3	6,4	1960	1980	980	990	10,3	13,5	260	180
7/2/2022	07:58	13:41	6,1	5,4	1940	1860	970	930	8,5	17,4	220	160
8/2/2022	07:58	13:41	5,5	5,4	1820	1840	910	920	9,1		200	140
9/2/2022	07:58	13:41	5,6	6,3	1790	1820	895	910	10,2	17,5	130	125
10/2/2022	07:58	13:41	6,8	6,6	1880	1970	940	985	8,8	15,7	120	80
10/2/2022	07:58	13:41	6		1900		950			13,1		280
11/2/2022	07:58	13:41	6,3	6,2	1870	1880	935	940	9,9	14,5	270	220
12/2/2022	07:58	13:41	5,9	6,1	1830	1830	915	915	8,7	13,6	250	200
14/2/2022	07:58	13:41	5,3		1860		930		9,9		190	160
15/2/2022	07:58	13:41	6		1880	1960	940	980	8,9		160	80
16/2/2022	07:58	13:41	6,6	6,6	1970	1970	985	985	9,3	13,3	120	70

Anexo 8. Planilla del monitoreo de temperatura del ambiente

Temperatura del ambiente				12/11/2021	28,7	6,3	17,5	30/11/2021	28,1	7,6	17,85
FECHA	T°	T°	T°	14/11/2021	28,5	7	17,75	1/12/2021	31,7	8,1	19,9
	Max	Min	Media	15/11/2021	27,1	7	17,05	2/12/2021	23,1	8,7	15,9
1/11/2021	25,1	6,8	15,95	16/11/2021	29,2	8,7	18,95	3/12/2021	24	7,9	15,95
2/11/2021	28,3	6,3	17,3	17/11/2021	29,4	5,2	17,3	5/12/2021	25,1	8,4	16,75
3/11/2021	27,7	6,3	17	18/11/2021	30,8	7,4	19,1	6/12/2021	27,2	7,4	17,3
4/11/2021	27,8	6,7	17,25	19/11/2021	30,1	7,1	18,6	7/12/2021	25,1	9	17,05
5/11/2021	30,4	7,3	18,85	21/11/2021	23,9	6,1	15	8/12/2021	23,8	8,2	16
6/11/2021	30,4	7,3	18,85	22/11/2021	31,3	8,6	19,95	9/12/2021	19,1	7,2	13,15
7/11/2021	27,8	6,2	17	23/11/2021	29,4	7,2	18,3	10/12/2021	25,2	8	16,6
8/11/2021	31,5	7,4	19,45	24/11/2021	27,9	8,1	18	12/12/2021	25,4	3,9	14,65
9/11/2021	28,8	7,5	18,15	25/11/2021	29,7	7,3	18,5	13/12/2021	29,3	6,9	18,1
10/11/2021	27,1	7,6	17,35	26/11/2021	19,1	7,3	13,2	14/12/2021	20,2	7,1	13,65
11/11/2021	28,7	9,5	19,1	28/11/2021	27,3	7,3	17,3	15/12/2021	26,6	6,9	16,75
				29/11/2021	22	8	15	16/12/2021	19,8	7,4	13,6

18/12/2021	19,5	8,8	14,15	13/1/2022	28,7	7,1	17,9	10/2/2022	24,6	6,5	15,55
19/12/2021	22,9	9,2	16,05	14/1/2022	24,4	6,8	15,6	11/2/2022	20,3	6,1	13,2
20/12/2021	12,9	9,2	11,05	15/1/2022	25,5	8,8	17,15	12/2/2022	21,1	6,4	13,75
21/12/2021	22,9	9,2	16,05	16/1/2022	26,5	7,2	16,85	14/2/2022	24	8,6	16,3
22/12/2021	17,5	8,5	13	17/1/2022	18,4	7,2	12,8	15/2/2022	22,5	7,9	15,2
23/12/2021	21,1	8,8	14,95	18/1/2022	20,3	6,2	13,25	16/2/2022	21,8	6,8	14,3
24/12/2021	19,9	8,2	14,05	19/1/2022	26,7	7,9	17,3				
25/12/2021	16,3	7,3	11,8	20/1/2022	25	9,3	17,15				
26/12/2021	23,6	7,9	15,75	21/1/2022	26,9	8,8	17,85				
27/12/2021	27,5	8	17,75	22/1/2022	28,1	8,2	18,15				
28/12/2021	24,7	9,2	16,95	24/1/2022	19,2	8,6	13,9				
29/12/2021	17,5	6,1	11,8	25/1/2022	21,8	8,8	15,3				
30/12/2021	29,2	6,7	17,95	26/1/2022	23,9	8,9	16,4				
31/12/2021	30,1	7,3	18,7	27/1/2022	22,2	8,8	15,5				
1/1/2022	31,2	7,2	19,2	28/1/2022	23,3	8,2	15,75				
2/1/2022	30,2	8,9	19,55	29/1/2022	19,5	8,3	13,9				
3/1/2022	28,7	7,5	18,1	30/1/2022	18,3	8,2	13,25				
4/1/2022	29,4	7,8	18,6	31/1/2022	20,8	8,1	14,45				
5/1/2022	28,3	8,1	18,2	1/2/2022	15,2	8,7	11,95				
6/1/2022	27,7	6,9	17,3	2/2/2022	26,1	7,9	17				
7/1/2022	24,3	7,8	16,05	3/2/2022	24,8	7,3	16,05				
8/1/2022	29,1	8,5	18,8	4/2/2022	28,3	8,1	18,2				
9/1/2022	28,5	4,2	16,35	5/2/2022	28,8	7	17,9				
10/1/2022	22,5	7,4	14,95	7/2/2022	26,8	7,2	17				
11/1/2022	23,8	7,8	15,8	8/2/2022	17,8	7,3	12,55				
12/1/2022	27,2	8,4	17,8	9/2/2022	22,2	8,2	15,2				

Anexo 9. Punto de equilibrio para el nivel 1 y el nivel 2



Anexo 10. Flujo de caja para nivel 1 y nivel 2

Descripción	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
INGRESOS												
Ventas	21.000	0	0	10.927	0	0	12.415	0	0	13.656	0	0
Cantidad	3.000	0	0	1.026	0	0	1.129	0	0	1.241	0	0
Precio	7	0	0	11	0	0	11	0	0	11	0	0
Extras	250	200	200	250	200	200	250	200	200	250	200	200
TOTAL	21.250	200	200	11.177	200	200	12.665	200	200	13.906	200	200
INGRESOS EGRESOS												
COSTOS	9.588,90	0,00	0,00	4.794,45	0,00	0,00	11.027,24	0,00	0,00	5.513,62	0,00	0,00
VARIABLES												
COSTOS FIJOS	1.382	0	0	3.311	0	0	6.622	0	0	3.311	0	0
TOTAL DE EGRESOS	10.971	0	0	8.105	0	0	17.649	0	0	8.825	0	0
FLUJO DEL MES	10.279	200	200	3.071	200	200	-4.985	200	200	5.081	200	200
FLUJO ACUMULADO	10.279	10.479	10.679	13.751	13.951	14.151	9.166	9.366	9.566	14.648	14.848	15.048

Descripción	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
INGRESOS												
Ventas	19.500	0	0	10.260	0	0	11.286	0	0	12.415	0	0
Cantidad	3.000	0	0	1.026	0	0	1.129	0	0	1.241	0	0
Precio	7	0	0	10	0	0	10	0	0	10	0	0
Extras	250	200	200	250	200	200	250	200	200	250	200	200
TOTAL	19.750	200	200	10.510	200	200	11.536	200	200	12.665	200	200
INGRESOS EGRESOS												
COSTOS	9.604,46	0,00	0,00	326,98	0,00	0,00	752,05	0,00	0,00	376,03	0,00	0,00
VARIABLES												
COSTOS FIJOS	1.382	0	0	3.311	0	0	6.622	0	0	3.311	0	0
TOTAL DE EGRESOS	10.986	0	0	3.638	0	0	7.374	0	0	3.687	0	0
FLUJO DEL MES	8.764	200	200	6.872	200	200	4.162	200	200	8.978	200	200
FLUJO ACUMULADO	8.764	8.964	9.164	16.036	16.236	16.436	20.598	20.798	20.998	29.975	30.175	30.375

Anexo 11. Siembra



1,2,3,4 Almacigo- 5 Monitoreo de Almacigo

Anexo 12. Trasplante a las bandejas flotantes



1-2 Desarrollo en bandeja flotantes- 3,4,5 Monitoreo de las muestras en bandeja flotante

Anexo 13. Limpieza y desinfección de almacigo y bandejas flotantes



1,2,4 Limpieza de bandeja flotante- 3 Limpieza de sujetadores para los plantines-5 Limpieza de almacigo.

Anexo 14. Trasplante a las bandejas flotantes Desarrollo en Bandejas flotantes



Desarrollo de raíces y número de hojas

Anexo 15. Preparación de solución nutritiva para bandejas flotantes y sistema NFT



Preparación de Solución nutritiva para ambos niveles

Anexo 16. Trasplante a Sistema NFT



Anexo 17. Evaluación de variables agronómicas



Medición de volumen de raíz- Toma de datos de altura de planta

Anexo 18. Desarrollo en el sistema NFT



Anexo 19. Titulaciones



Anexo 20. Control Fitosanitario



Anexo 21. Cosecha



Anexo 22. Empaquetado y Distribución



Anexo 23. Validación de Muestras líquidas y orgánicas



Anexo 24. Monitoreo de enfermedades y Deficiencias



Anexo 25. Equipos utilizados



Anexo 26. Análisis químico de solución nutritiva antigua del Nivel 1

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



Informe de Ensayo: A 15/22

Página 2 de 4

INFORME DE ENSAYO EN SOLUCIÓN NUTRITIVA A 15/22

Cliente:	Tesista - Diana Miriam Huanca Mamani
Solicitante:	HORTICOLAS CHUI
Dirección del cliente:	Z/Bautista Saavedra, C/Radio Illimani, Nro. 3360
Procedencia de la muestra:	El alto
	Provincia: Murillo
	Departamento: La Paz
Punto de muestreo:	Tanque de preparación de solución nutritiva
Responsable del muestreo:	Diana Miriam Huanca Mamani
Fecha de muestreo:	18 de marzo de 2022
Hora de muestreo:	18:00
Fecha de recepción de la muestra:	21 de marzo de 2022
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 21 al 30 de marzo, 2022
Caracterización de la muestra:	Solución Nutritiva Nivel 1 - B-EA-BH-HC-N1-SNA
Tipo de muestra:	Compuesta
Envase:	Frasco de plástico, 500 ml.
Código LCA:	15 - 2
Código original:	N1-SNA

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	N1-SNA 15 - 2
Fósforo soluble	EPA 365.2	P-PO ₄ ⁻³ mg/l	0,040	32
Nitratos	SM 4500-NO3 -B	mg N-NO ₃ /l	0,30	134
Potasio	EPA 258.1	mg/l	0,21	46

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

La Paz, 4 de Abril de 2022



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

Anexo 27. Análisis químico de solución nutritiva nueva del Nivel 2

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



Informe de Ensayo: A 15/22 Página 3 de 4

INFORME DE ENSAYO EN SOLUCIÓN NUTRITIVA A 15/22

Cliente: Solicitante: Dirección del cliente: Procedencia de la muestra: Punto de muestreo: Responsable del muestreo: Fecha de muestreo: Hora de muestreo: Fecha de recepción de la muestra: Fecha de ejecución del ensayo: Caracterización de la muestra: Tipo de muestra: Envase: Código LCA: Código original :	Tesista . Diana Miriam Huanca Mamani HORTICOLAS CHUI Z/Bautista Saavedra, C/Radio Illimani, Nro. 3360 El alto Provincia: Murillo Departamento: La Paz Tanque de preparación de solución nutritiva Diana Miriam Huanca Mamani 18 de marzo de 2022 18:00 21 de marzo de 2022 Del 21 al 30 de marzo, 2022 Solución Nutritiva Nivel 2 - B-EA-BH-HC-N2-SNNC Compuesta Frasco de plástico, 500 ml. 15 - 3 N2-SNNC
--	--

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	N2-SNNC 15 - 3
Fósforo soluble	EPA 365.2	P-PO ₄ ⁻³ mg/l	0,040	31
Nitratos	SM 4500-NO3 -B	mg N-NO ₃ /l	0,30	138
Potasio	EPA 258.1	mg/l	0,21	172

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

La Paz, 4 de Abril de 2022




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

Anexo 28. Análisis químico de solución nutritiva nueva del Nivel 1

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



Informe de Ensayo: A 15/22 Página 1 de 4

INFORME DE ENSAYO EN SOLUCIÓN NUTRITIVA A 15/22

Cliente:	Tesista . Diana Miriam Huanca Mamani
Solicitante:	HORTICOLAS CHUI
Dirección del cliente:	Z/Bautista Saavedra, C/Radio Illimani, Nro. 3360
Procedencia de la muestra:	El alto
	Provincia: Murillo
	Departamento: La Paz
Punto de muestreo:	Tanque de preparación de solución nutritiva
Responsable del muestreo:	Diana Miriam Huanca Mamani
Fecha de muestreo:	18 de marzo de 2022
Hora de muestreo:	18:00
Fecha de recepción de la muestra:	21 de marzo de 2022
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 21 al 30 de marzo, 2022
Caracterización de la muestra:	Solución Nutritiva Nivel 1 B-EA-BH-HC-N1-SNNC
Tipo de muestra:	Compuesta
Envase:	Frasco de plástico, 500 ml.
Código LCA:	15 - 1
Código original :	N1-SNNC

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Limite de determinación	N1-SNNC 15 - 1
Fósforo soluble	EPA 365.2	P-PO ₄ ⁻³ mg/l	0,040	26
Nitratos	SM 4500-NO3 -B	mg N-NO ₃ /l	0,30	143
Potasio	EPA 258.1	mg/l	0,21	194

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

La Paz, 4 de Abril de 2022




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

Anexo 29. Análisis químico de solución nutritiva antigua del Nivel 2

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



Informe de Ensayo: A 15/22

Página 4 de 4

INFORME DE ENSAYO EN SOLUCIÓN NUTRITIVA A 15/22

Cliente:	Tesista: Diana Miriam Huanca Mamani
Solicitante:	HORTICOLAS CHUI
Dirección del cliente:	Z/Bautista Saavedra, C/Radio Illimani, Nro. 3360
Procedencia de la muestra:	El alto
	Provincia: Murillo
	Departamento: La Paz
Punto de muestreo:	Tanque de preparación de solución nutritiva
Responsable del muestreo:	Diana Miriam Huanca Mamani
Fecha de muestreo:	18 de marzo de 2022
Hora de muestreo:	18:00
Fecha de recepción de la muestra:	21 de marzo de 2022
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 21 al 30 de marzo, 2022
Caracterización de la muestra:	Solución Nutritiva Nivel 2 - B-EA-BH-HC-N2-SNA
Tipo de muestra:	Compuesta
Envase:	Frasco de plástico, 500 ml.
Código LCA:	15 - 4
Código original:	N2-SNA

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	N2-SNA 15 - 4
Fósforo soluble	EPA 365.2	P-PO ₄ ⁻³ mg/l	0,040	27
Nitratos	SM 4500-NO ₃ -B	mg N-NO ₃ /l	0,30	121
Potasio	EPA 258.1	mg/l	0,21	67

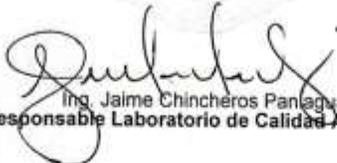
SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)

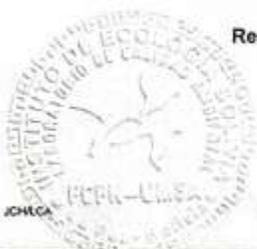
EPA = Environmental Protection Agency (Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.

La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, 4 de Abril de 2022


Ing. Jaime Chincheros Panagva
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



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

Anexo 30. Análisis químico de las hojas de lechuga del Nivel 1 (Var Crocantela)

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



Informe de Ensayo: MO 04/22 Página 1 de 4

INFORME DE ENSAYO EN LECHUGA MO 04/22

Solicitante:	Tesista: Diann Huanca Mamani
Entidad:	HORTICOLAS CHUI
Dirección del cliente:	Zona Bautista Saavedra, C/Radio Illimani, Nro. 3360
Procedencia de la muestra:	EL Alto
Punto de muestreo:	Departamento: La Paz
Responsable del muestreo:	Sistema NFT Nivel I
Fecha de muestreo:	Diann Huanca Mamani
Hora de muestreo:	16 de febrero de 2022
Fecha de recepción de la muestra:	18:00
Fecha de ejecución del ensayo:	21 de marzo de 2021
Caracterización de la muestra:	Del 21 de marzo al 04 de Abril, 2022
Tipo de muestra:	Lechuga B-EA-BH- HC-N1-C
Envase:	Compuesta
Código LCA:	Sobre manila
Código original:	4- 1
	HC-N1-C

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	HC-N1-C
Nitrógeno total	ASPT-88	%	0,0030	3,6
Potasio total	Microwave Reaction System/EPA 258.1	mg/kg	8,0	88953

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

La Paz, 13 de Abril de 2022




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

Anexo 31. Análisis químico de las hojas de lechuga del Nivel 1 (Var. Kristine)

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



Informe de Ensayo: MO 04/22

Página 2 de 4

INFORME DE ENSAYO EN LECHUGA MO 04/22

Solicitante:	Tesista: Diana Huanca Mamani
Entidad:	HORTICOLAS CHUI
Dirección del cliente:	Zona Bautista Saavedra, C/Radio Illimani, Nro. 3360
Procedencia de la muestra:	EL Alto
Punto de muestreo:	Departamento: La Paz
Responsable del muestreo:	Sistema NFT Nivel I
Fecha de muestreo:	Diana Huanca Mamani
Hora de muestreo:	16 de febrero de 2022
Fecha de recepción de la muestra:	18:05
Fecha de ejecución del ensayo:	21 de marzo de 2021
Caracterización de la muestra:	Del 21 de marzo al 04 de Abril, 2022
Tipo de muestra:	Lechuga B-EA-BH- HC-NI-K
Envase:	Compuesta
Código LCA:	Sobre manila
Código original :	4- 2
	HC-NI-K

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Limite de determinación	HC-NI-K
Nitrógeno total	ASPT-88	%	0,0030	4,0
Potasio total	Microwave Reaction System/EPA 258.1	mg/kg	8,0	85157

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

La Paz, 13 de Abril de 2022



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

Anexo 32. Análisis químico de las hojas de lechuga del Nivel 2 (Var. Crocantela)

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



Informe de Ensayo: MO 04/22

Página 3 de 4

INFORME DE ENSAYO EN LECHUGA MO 04/22

Solicitante:	Tesista: Diana HuancaMamani
Entidad:	HORTICOLAS CHUI
Dirección del cliente:	Zona Bautista Saavedra, C/Radio Illimani, Nro. 3360
Procedencia de la muestra:	EL Alto
Punto de muestreo:	Departamento: La Paz
Responsable del muestreo:	Sistema NFT Nivel 2
Fecha de muestreo:	Diana Huanca Mamani
Hora de muestreo:	16 de febrero de 2022
Fecha de recepción de la muestra:	18:15
Fecha de ejecución del ensayo:	21 de marzo de 2021
Caracterización de la muestra:	Del 21 de marzo al 04 de Abril, 2022
Tipo de muestra:	Lechuga B-EA-BH- HC-N2-C
Envase:	Compuesta
Código LCA:	Sobre manila
Código original:	4- 3
	HC-N2-C

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Limite de determinación	HC-N2-C 4- 3
Nitrógeno total	ASPT-88	%	0,0030	3,7
Potasio total	Microwave Reaction System/EPA 258.1	mg/kg	8,0	67107

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

La Paz, 13 de Abril de 2022



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

Anexo 33. Análisis químico de las hojas de lechuga del Nivel 2 (Var. Kristine)

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



Informe de Ensayo: MO 04/22 Página 4 de 4

INFORME DE ENSAYO EN LECHUGA MO 04/22

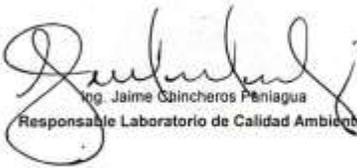
Solicitante:	Tesista: Diana Huasca Mamani
Entidad:	HORTICOLAS CHUI
Dirección del cliente:	Zona Bautista Saavedra, C/Radio Illimani, Nro. 3360
Procedencia de la muestra:	El Alto
	Departamento: La Paz
Punto de muestreo:	Sistema NFT Nivel 2
Responsable del muestreo:	Diana Huasca Mamani
Fecha de muestreo:	16 de febrero de 2022
Hora de muestreo:	18:30
Fecha de recepción de la muestra:	21 de marzo de 2021
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 21 de marzo al 04 de Abril, 2022
Caracterización de la muestra:	Lechuga B-EA-BH- HC-N2-K
Tipo de muestra:	Compuesta
Envase:	Sobre manila
Código LCA:	4-4
Código original:	HC-N2-K

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Limite de determinación	HC-N2-K 4-4
Nitrógeno total	ASPT-88	%	0,0030	4,0
Potasio total	Microwave Reaction System/EPA 258.1	mg/kg	8,0	77641

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

La Paz, 13 de Abril de 2022



Ing. Jaime Chincheros Paniagua
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental





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