

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



TRABAJO DIRIGIDO

EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE VARIEDADES DE LECHUGA
(*Lactuca sativa* L.), BAJO TECNOLOGÍAS DE AUTOMATIZACIÓN EN
SISTEMA NFT, EL ALTO – LA PAZ

Romer Mamani Huarachi

La Paz – Bolivia

2024

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

EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE VARIEDADES DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.), BAJO TECNOLOGÍAS DE AUTOMATIZACIÓN EN SISTEMA NFT, EL

ALTO – LA PAZ

Trabajo dirigido presentado como requisito
parcial para optar el Título de
Ingeniero Agrónomo

ROMER MAMANI HUARACHI

Asesor:

Ing. Luis Humberto Ortuño Rojas

Revisor (es):

Ing. M. Sc. Medardo Wilfredo Blanco Villacorta

Ing. M. Sc. Carlos López Blanco

APROBADO:

Presidente Tribunal Examinador

La Paz – Bolivia

2024

DEDICATORIA

Para mis queridos padres Victor Mamani Cabrera y Maura Huarachi Mamani quienes me brindaron su apoyo incondicional y la motivación para culminar mis estudios. Los amo con todo mí ser.

AGRADECIMIENTOS

Debo mi gratitud a mi tutor Ing. Luis Humberto Ortuño Rojas y a mis revisores el Ing. M. Sc. Medardo Wilfredo Blanco Villacorta y Ing. M. Sc. Carlos López Blanco por todos los consejos y el apoyo brindado durante la elaboración del trabajo de investigación.

Gracias también a todas las personas que me brindaron su ayuda: a mis queridos padres Víctor Mamani y Maura Huarachi a mis hermanos Jhonny, Víctor Hugo, Juan Manuel, a mi hermana Zulma, y a toda mi familia quienes siempre me brindaron su apoyo. Muchas gracias a todos.

Finalmente, gracias a todos mis docentes de la carrera quienes fueron fuente de sabiduría e inspiración.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Planteamiento del problema	1
1.2.	Justificación del trabajo dirigido	1
1.3.	OBJETIVOS	2
1.3.1.	Objetivo general.....	2
1.3.2.	Objetivos específicos	2
1.3.3.	Metas.....	3
II.	MARCO TEÓRICO	4
2.1.	Contexto normativo.....	4
2.2.	Marco conceptual	5
2.2.1.	Cultivo de lechuga.....	5
2.2.1.1.	Taxonomía.....	5
2.2.1.2.	Variedades de lechuga	6
2.2.1.2.1.	Crocantela	6
2.2.1.2.2.	Kristine.....	6
2.2.2.	Requerimientos nutricionales del cultivo de lechuga	6
2.2.3.	Factores ambientales que influyen en el cultivo hidropónico de la lechuga	7
2.2.4.	Plagas y enfermedades del cultivo de lechuga.....	7
2.2.4.1.	Oídio.....	7
2.2.4.2.	Moho gris o pudrición basal	8

2.2.4.3. Mildiu	8
2.2.4.4. Áfidos.....	8
2.2.4.5. Pudrición blanda	9
2.2.5. Hidroponía	9
2.2.5.1. Ventajas y desventajas de la hidroponía.....	9
2.2.5.2. Sistema NFT (Nutrient Film Technique)	10
2.2.5.3. Solución nutritiva.....	10
2.2.5.4. Calidad de agua para la solución nutritiva.....	11
2.2.5.5. pH de la solución nutritiva	12
2.2.5.6. Conductividad eléctrica de la solución nutritiva	12
2.2.5.7. Temperatura de la solución nutritiva	13
2.2.5.8. Oxigenación de la solución nutritiva	13
2.2.5.8.1. Compresores	14
2.2.5.9. Volumen de la solución nutritiva.....	14
2.2.6. Automatización	14
2.2.6.1. Lenguaje de programación	14
2.2.6.2. Temporizadores digitales	15
2.2.6.3. Controlador lógico programable PLC	15
2.2.6.4. Arduino	15
2.2.6.4.1. Placa Arduino.....	16
2.2.6.4.2. Software de código abierto Arduino (IDE)	16
2.2.6.4.3. Programación en arduino	17

2.2.6.4.4.	Módulo RTC DS1302	17
2.2.6.4.5.	Módulo relé	17
III.	SECCIÓN DIAGNÓSTICA	18
3.1.	Localización y ubicación	18
3.2.	Materiales y métodos.....	18
3.2.1.	Materiales de campo.....	18
3.2.1.1.	Material para la siembra.....	18
3.2.1.2.	Material para bandeja flotante.....	19
3.2.1.3.	Material para sistema NFT	19
3.2.1.4.	Material para la preparación de solución nutritiva	19
3.2.2.	Material de laboratorio.....	19
3.2.3.	Material de gabinete.....	20
3.2.4.	Sales y reactivos químicos.....	20
3.2.5.	Equipos.....	21
3.2.5.1.	Equipos de automatización con temporizadores digitales	21
3.2.5.2.	Equipos de automatización con micro controlador Arduino	21
3.2.6.	Metodología	21
3.2.6.1.	Tipo de estudio	21
3.2.6.1.1.	Diseño experimental	22
3.2.6.1.2.	Factores de estudio.....	22
3.2.6.1.3.	Tratamientos.....	22
3.2.6.1.4.	Distribución de los tratamientos en campo.....	22

3.2.6.1.5. Modelo lineal aditivo.....	23
3.2.6.2. Procedimiento de estudio.....	24
3.2.6.2.1. Sistemas de automatización	24
a) Sistema de automatización controlado por temporizador digital.....	24
b) Sistema de automatización controlado por Arduino.....	24
3.2.6.2.2. Programación de los sistemas de automatización.....	25
a) Programación de los temporizadores digitales	25
b) Programación del temporizador Arduino	26
3.2.6.2.3. Acondicionamiento y limpieza	26
a) Acondicionamiento y limpieza de las bandejas flotantes	26
b) Acondicionamiento y limpieza del sistema NFT.....	26
3.2.6.2.4. Selección de la solución nutritiva	26
3.2.6.2.5. Preparación de la solución nutritiva.....	27
a) Preparación de la solución nutritiva para bandeja flotante.....	27
b) Preparación de la solución nutritiva para sistema NFT.....	27
3.2.6.2.6. Corrección del pH	28
a) Corrección del pH del agua de riego	28
b) Corrección del pH de la solución nutritiva.....	29
3.2.6.2.7. Siembra de las lechugas.....	30
3.2.6.2.8. Trasplante a bandeja flotante.....	31
3.2.6.2.9. Trasplante a sistema NFT	32
3.2.6.2.10. Manejo fitosanitario	32

a)	Control orgánico.....	32
b)	Control químico.....	33
c)	Control mecánico	33
3.2.6.2.11.	Monitoreo de la solución nutritiva	33
a)	Fluctuación del PH de la solución nutritiva	33
b)	Fluctuaciones de la conductividad eléctrica (CE) en la solución nutritiva	35
c)	Fluctuación de la temperatura en sistema NFT	36
d)	Fluctuación del volumen de la solución nutritiva.....	37
3.2.6.2.12.	Fluctuación de la temperatura ambiental.....	38
3.2.6.2.13.	Análisis químico de la solución nutritiva	40
3.2.6.2.14.	Monitoreo del cultivo	42
a)	Monitoreo del cultivo en bandeja flotante	42
b)	Monitoreo del cultivo en sistema NFT	42
3.2.6.2.15.	Cosecha y comercialización.....	42
a)	Cosecha.....	42
b)	Comercialización.....	42
3.2.6.3.	Variables de respuesta	43
3.2.6.3.1.	Altura de planta (cm).....	43
3.2.6.3.2.	Número de hojas (Nº)	43
3.2.6.3.3.	Diámetro de tallo (cm).....	43
3.2.6.3.4.	Longitud de raíz (cm)	43
3.2.6.3.5.	Peso de planta (g).....	43

3.2.6.3.6.	Volumen de la raíz (ml)	43
3.2.6.3.7.	Área fotosintética (cm ²)	44
3.2.6.3.8.	Rendimiento por unidad de superficie (kg/m ²)	44
3.2.6.4.	Análisis económico	44
3.2.6.4.1.	Costos que varían (Bs)	45
3.2.6.4.2.	Costos fijos (Bs)	45
3.2.6.4.3.	Rendimiento ajustado (kg/m ²)	45
3.2.6.4.4.	Beneficio bruto (Bs/m ²)	45
3.2.6.4.5.	Beneficios netos (Bs/m ²)	46
3.2.6.4.6.	Análisis de dominancia	46
3.2.6.4.7.	Costos totales	46
3.2.6.4.8.	Relación beneficio costo	46
3.2.6.4.9.	Costo unitario	47
IV.	SECCIÓN PROPOSITIVA	48
3.3.	Aspectos propositivos del trabajo dirigido	48
3.4.	Análisis de resultados	48
3.4.1.	Variables agronómicas	48
3.4.1.1.	Altura de planta (cm)	48
3.4.1.2.	Número de hojas (N°)	51
3.4.1.3.	Diámetro de tallo (cm)	53
3.4.1.4.	Longitud de raíz (cm)	56
3.4.1.5.	Peso fresco de planta (g)	56

3.4.1.6. Volumen de raíz (ml).....	58
3.4.1.7. Área fotosintética (cm ²).....	60
3.4.2. Rendimiento (Kg/m ²).....	61
3.4.3. Análisis económico	62
3.4.3.1. Costos que varían con cada tratamiento (Bs)	62
3.4.3.1. Rendimiento medio por tratamiento (Kg/m ²).....	63
3.4.3.2. Rendimiento ajustado (kg/m ²)	63
3.4.3.3. Beneficio bruto (Bs/m ²)	64
3.4.3.4. Beneficio neto por tratamiento (Bs/m ²).....	64
3.4.3.5. Análisis de dominancia	65
3.4.3.6. Costos fijos	65
3.4.3.7. Costos totales de producción	66
3.4.3.8. Relación beneficio costo	66
3.4.3.9. Costo unitario de lechuga	67
V. CONCLUSIONES	68
VI. BIBLIOGRAFÍA	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación botánica de la lechuga	5
Tabla 2: Soluciones Nutritivas.....	6
Tabla 3. Elementos minerales esenciales para las plantas	11
Tabla 4. Niveles de conductividad eléctrica por cultivo	13
Tabla 5: Características técnicas de timer digital	15
Tabla 6: Características técnicas de la placa Arduino Uno	16
Tabla 7: Tratamientos	22
Tabla 8: Solución nutritiva.....	27
Tabla 9: Análisis químico de la solución nutritiva	41
Tabla 10: Análisis de varianza para la variable de respuesta altura de planta al momento de la cosecha.....	49
Tabla 11: Análisis de varianza para la variable de respuesta número de hojas al momento de la cosecha	52
Tabla 12: Análisis de varianza para la variable de respuesta diámetro de tallo al momento de la cosecha	54
Tabla 13: Análisis de varianza para la variable de respuesta longitud de raíz al momento de la cosecha.....	56
Tabla 14: Análisis de varianza para la variable de respuesta peso fresco de planta	57
Tabla 15: Análisis de varianza para la variable de respuesta volumen de raíz al momento de la cosecha.....	59
Tabla 16: Análisis de varianza para la variable de respuesta área fotosintética	60
Tabla 17: Análisis de varianza para la variable de respuesta para rendimiento	61
Tabla 18: Total de costos que varían por tratamiento	63
Tabla 19: Rendimientos medios alcanzados por cada tratamiento.....	63
Tabla 20: Rendimientos ajustados	64

Tabla 21: Beneficio bruto obtenido por cada tratamiento	64
Tabla 22: Benéfico neto obtenidos por cada tratamiento	65
Tabla 23: Análisis de dominancia.....	65
Tabla 24: Total de costos fijos	66
Tabla 25: Costos totales de producción por tratamiento	66
Tabla 26: Relación beneficio costo (B/C) de cada tratamiento	67
Tabla 27: Costo unitario.....	67

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva de neutralización del agua de riego Fuente: Elaboración propia.....	29
Gráfico 2: Curva de neutralización de la solución nutritiva Fuente: elaboración propia.	30
Gráfico 3: Curva de germinación de dos variedades de lechuga Fuente: elaboración propia.....	31
Gráfico 4: Fluctuaciones del pH de la solución nutritiva Fuente: elaboración propia.....	34
Gráfico 5: Fluctuación de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva Fuente: elaboración propia.....	35
Gráfico 6: Fluctuación de la temperatura de la solución nutritiva en sistema NFT Fuente: elaboración propia.....	37
Gráfico 7: Fluctuación del volumen de la solución nutritiva Fuente: elaboración propia.	38
Gráfico 8: Fluctuación de la temperatura ambiental dentro del invernadero durante el periodo de investigación noviembre 2018 a febrero 2019. Fuente: elaboración propia..	39
Gráfico 9: Altura de planta alcanzado por dos variedades de lechuga al momento de la cosecha.....	49
Gráfico 10: Altura de planta de dos variedades de lechuga durante el periodo de ensayo (diciembre 2018 – febrero 2019) Fuente: elaboración propia.....	51
Gráfico 11: Numero de hojas alcanzado por cada variedad al momento de la cosecha	52
Gráfico 12: Número de hojas de dos variedades de lechuga durante el periodo de ensayo (diciembre 2018 – febrero 2019) Fuente: elaboración propia.	53
Gráfico 13: Diámetro de tallo alcanzado por dos variedades de lechuga al momento de la cosecha.....	55
Gráfico 14: Peso de planta alcanzado por dos variedades de lechuga al momento de la cosecha.....	57
Gráfico 15: Volumen de raíz alcanzado por dos variedades de lechuga al momento de la cosecha.....	59

Gráfico 16: Rendimiento alcanzado por dos variedades de lechuga al momento de la cosecha..... 62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación geográfica de la empresa Hortícolas Chui.	18
Figura 2: Croquis de campo del diseño experimental.....	23
Figura 3: Sistema de automatización Arduino	25

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 1: Sistema de automatización controlado por temporizador digital AHC-15
- Anexo 2: Programa para la recirculación de la solución nutritiva del sistema de automatización controlado por dos temporizadores AHC-15
- Anexo 3: Temporizador Arduino
- Anexo 4: Programa para la recirculación de la solución nutritiva del sistema de automatización controlado por arduino
- Anexo 5: Programa para la frecuencia de oxigenación
- Anexo 6: Fertilizantes para 140 litros de solución nutritiva al 50% de concentración
- Anexo 7: Siembra de semillas peletizadas de lechuga
- Anexo 8: Trasplante a bandeja flotante
- Anexo 9: Trasplante a sistema NFT
- Anexo 10: Distribución de los tratamientos y bloques
- Anexo 11: Control orgánico contra pulgones
- Anexo 12: Control orgánico contra hongos
- Anexo 13: Medición de las variables de respuesta
- Anexo 14: Cosecha y post cosecha
- Anexo 15: Determinación del área foliar mediante el Software ImageJ
- Anexo 16: Costos que varían por tratamiento
- Anexo 17: Costos fijos
- Anexo 18: Circuito de mando y de potencia para el control de una bomba de agua
- Anexo 19: Informe de laboratorio del análisis químico a la solución nutritiva inicial
- Anexo 20: Informe de laboratorio del análisis químico realizado a la solución nutritiva final del tanque de 250 l

Anexo 21: Informe de laboratorio del análisis de laboratorio realizado a la solución nutritiva final del tanque de 750 l

Anexo 22: Registro de las variables de respuesta al momento de la cosecha del tratamiento 1 (Temporizador Digital con Variedad Crocantela)

Anexo 23: Registro de las variables de respuesta al momento de la cosecha del tratamiento 2 (Temporizador Digital con Variedad Kristine)

Anexo 24: Registro de las variables de respuesta al momento de la cosecha del tratamiento 3 (Microcontrolador arduino con variedad Crocantela)

Anexo 25: Registro de las variables de respuesta en el momento de la cosecha del tratamiento 4 (Microcontrolador arduino con variedad Kristine)

Anexo 26: Registro de temperaturas dentro del invernadero durante el periodo de investigación

Anexo 27: Registro de parámetros de la solución nutritiva en el periodo de bandeja flotante

Anexo 28: Registro de parámetros de la solución nutritiva en el periodo de sistema NFT del tanque de 750 litros con sistema de automatización controlado por dos temporizadores AHC-15

Anexo 29: Registro de parámetros de la solución nutritiva en el periodo de sistema NFT del tanque de 250 litros con sistema de automatización controlado microcontrolador arduino

RESUMEN

La automatización de los sistemas de producción es una opción tecnológica que permite incrementar rendimientos, optimizar el uso de agua, reducir los costos de producción, ahorrar energía y mejorar la calidad de los cultivos, sin embargo, el elevado costo y la limitada capacidad de los equipos tradicionales como temporizadores digitales y temporizadores analógicos, hace que la implementación de estos sistemas no sea tan accesible, por lo que es necesario buscar nuevas alternativas. El propósito de esta investigación fue evaluar la producción de dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.), bajo dos tecnologías de automatización en sistema NFT. Para este propósito se llevó a cabo una investigación donde el Factor A fue el tipo de automatización (Temporizador digital AHC15A Vs microcontrolador Arduino) y el Factor B fue las variedades de lechuga (*Crocantela* Vs *Kristine*). Conformándose 4 tratamientos que se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar con arreglo bifactorial. Las variables de respuesta evaluadas al finalizar el experimento fueron: altura de planta, número de hojas, diámetro de tallo, longitud de raíz, peso de planta, volumen de raíz, área foliar y rendimiento, además se realizó un análisis económico. Los resultados de los análisis estadísticos para cada una de las variables de respuesta mostraron que el Factor tipo de automatización no fue significativo. En cuanto al Factor variedades en las variables de respuesta número de hojas y altura de planta la variedad *Kristine* demostró ser superior con promedios de 22 hojas y 22,78 cm respectivamente, en cambio en las variables de respuesta diámetro de tallo, peso de planta, volumen de raíz y rendimiento la variedad *Crocantela* obtuvo las medias más altas con valores de 1,56 cm; 182,38 g; 39,13 ml y 2,92 kg/m² respectivamente. El análisis económico demostró que el tratamiento 3 fue el que obtuvo la relación beneficio costo más alta con un valor de 1,94 y los costos de producción más bajos con 1,93 Bs/lechuga. Se llegó a la conclusión de que el funcionamiento del sistema de automatización controlado por el microcontrolador Arduino fue similar al funcionamiento del sistema de automatización controlado por dos temporizadores digitales AHC-15, lo que demuestra que el

uso de esta nueva tecnología puede ser aplicada en la automatización de un sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique).

Palabras clave: Automatización, microcontrolador, hidroponía.

SUMMARY

The automation of production systems is a technological option that allows increasing yields, optimizing the use of water, reducing production costs, saving energy and improving the quality of crops, however, the high cost and limited capacity of the Traditional equipment such as digital timers and analog timers makes the implementation of these systems not so accessible, so it is necessary to look for new alternatives. The purpose of this research was to evaluate the production of two varieties of lettuce (*Lactuca sativa* L.), under two automation technologies in an NFT system. For this purpose, an investigation was carried out where Factor A was the type of automation (AHC15A digital timer Vs Arduino microcontroller) and Factor B was the varieties of lettuce (*Crocantela* Vs *Kristine*). Forming 4 treatments that were distributed in a complete randomized block design with a bifactor arrangement. The response variables evaluated at the end of the experiment were: plant height, number of leaves, stem diameter, root length, plant weight, root volume, leaf area and yield; an economic analysis was also carried out. The results of the statistical analyzes for each of the response variables showed that the Automation Type Factor was not significant. Regarding the Varieties Factor in the response variables number of leaves and plant height, the Kristine variety proved to be superior with averages of 22 leaves and 22.78 cm respectively, however in the response variables stem diameter, plant weight, root volume and yield, the Crocantela variety obtained the highest averages with values of 1.56 cm; 182.38g; 39.13 ml and 2.92 kg/m² respectively. The economic analysis showed that treatment 3 was the one that obtained the highest benefit-cost ratio with a value of 1.94 and the lowest production costs with 1.93 Bs/lettuce. It was concluded that the operation of the automation system controlled by the Arduino microcontroller was similar to the operation of the automation system controlled by two AHC-15 digital timers, which demonstrates that the use of this new technology can be applied in the automation of an NFT (Nutrient Film Technique) hydroponic system.

Keywords: Automation, microcontroller, hydroponics.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Por siglos el ser humano ha construido máquinas que realicen las funciones de un ser humano de forma autónoma, a este proceso se lo denomina automatización, en la actualidad la automatización juega un papel trascendental en las industrias y las empresas, permitiendo agilizar procesos mediante sistemas automatizados. El desarrollo de la tecnología, donde se incluyen las computadoras, microcontroladores y la tecnología de sensores, han contribuido a flexibilizar los mecanismos autómatas.

La industria agropecuaria no está exenta a la implementación de estas nuevas tecnologías. La automatización de los sistemas de producción es una alternativa para lograr optimizar el rendimiento de los cultivos, optimizar el uso del agua, reducir los costos de producción, ahorrar energía y mejorar la calidad de los cultivos.

La hidroponía es un método de producción de vegetales, en el cual las plantas reciben todos los nutrientes necesarios para su normal crecimiento y desarrollo a través de una solución nutritiva que contiene los elementos minerales requeridos por el cultivo. Con el empleo de esta técnica y el uso de las nuevas tecnologías de automatización, la producción de hortalizas puede realizarse de una manera intensiva y precisa.

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es el cultivo que más se produce empleando el método hidropónico, principalmente mediante el sistema NFT (Nutrient Film Technique). En Bolivia y en específico en el departamento de La Paz la producción de hortalizas mediante el sistema NFT ha tenido muy poco desarrollo tecnológico, lo que implica la necesidad de innovar e implementar nuevas tecnologías que nos permitan mejorar el proceso productivo.

1.2. Justificación del trabajo dirigido

En los sistemas de producción NFT se emplean temporizadores, ya sean digitales o analógicos, que controlan la recirculación de la solución nutritiva, el inconveniente que presentan estos instrumentos de automatización es que tienen una reducida capacidad de

programación, lo que implica el uso de varios temporizadores incrementando los costos de producción.

La desventaja de automatizar un invernadero son los costos elevados, tomando en cuenta los mantenimientos respectivos que se podrían suscitar al sistema, los costos incrementan aún más. Con la utilización de tecnologías vanguardistas, como ser hardware y software libre Arduino, se implementó un sistema NFT automatizado que permite el control de la frecuencia de circulación de la solución nutritiva y la oxigenación de la misma.

En la implementación del sistema de automatización se utilizaron dispositivos que son de fácil adquisición y bajos costos en el mercado local, lo cual facilitara la instalación del sistema en cualquier microempresa hidropónica en nuestro país.

Tomando en cuenta estas consideraciones en el presente trabajo de investigación se evaluó la producción de dos variedades de lechuga (*Crocantela Vs Kristine*), bajo dos tecnologías de automatización (Temporizador digital AHC15A Vs microcontrolador Arduino) en sistema NFT.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar la producción de dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.), bajo dos tecnologías de automatización en sistema NFT.

1.3.2. Objetivos específicos

- Comparar el comportamiento agronómico de dos variedades de lechuga con la técnica NFT, bajo automatización tradicional y sistema automatizado con micro controlador Arduino.
- Comparar el rendimiento alcanzado por las variedades de lechuga, para establecer si el uso del micro controlador Arduino, en la automatización del sistema NFT, es adecuado para la producción de lechuga.

- Realizar un análisis económico en la producción de dos variedades de lechuga mediante la técnica NFT bajo dos sistemas de automatización.

1.3.3. Metas

- Se diseño un sistema de automatización (hardware) controlado por el microcontrolador Arduino.
- Se creo un programa (software) para el microcontrolador ATmega 328p de la placa Arduino.
- Se identifico cuál de los dos tratamientos tiene el mejor beneficio costo.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Contexto normativo

La Constitución Política del Estado en su título III, capítulo segundo, artículo 16 y párrafo II establece que el Estado tiene la obligación de garantizar la seguridad alimentaria, a través de una alimentación sana, adecuada y suficiente para toda la población. (Estado Plurinacional de Bolivia, 2009)

Así también en su título III, artículo 407, Indica que son objetivos de la política de desarrollo rural integral del Estado, en coordinación con las entidades territoriales autónomas y descentralizadas:

1. Garantizar la soberanía y seguridad alimentaria, priorizando la producción y el consumo de alimentos de origen agropecuario producidos en el territorio boliviano.
2. Establecer mecanismos de protección a la producción agropecuaria boliviana.
3. Promover la producción y comercialización de productos agro ecológicos. (...)
8. Garantizar la asistencia técnica y establecer mecanismos de innovación y transferencia tecnológica en toda la cadena productiva agropecuaria. (Estado Plurinacional de Bolivia, 2009)

La ley 144, ley de revolución productiva comunitaria agropecuaria para la soberanía alimentaria en su artículo 16 indica que: se fomentará un mejor y mayor rendimiento de la producción en el marco de la economía plural, a la producción tradicional, orgánica, ecológica, agropecuaria y forestal con destino al consumo interno que permita alcanzar la soberanía alimentaria así como la generación de excedentes, en el marco de los saberes, prácticas locales e innovación tecnológica en base a las formas de producción familiar, comunitaria, asociativa y cooperativa. (Asamblea legislativa plurinacional, 2011)

En su artículo 22, sobre la política nacional de mecanización y tecnificación agropecuaria, establece que el Estado promoverá y fomentará procesos de mecanización y tecnificación agropecuaria adecuados y adaptados a los diferentes pisos ecológicos, las

vocaciones productivas y de uso de suelo, que sean accesibles y sostenibles, respetando los derechos de la Madre Tierra, mediante:

- a. Facilitación al acceso a tecnología mecanizada e incentivo a su uso para la producción agropecuaria.
- b. Fomento a la investigación, diseño y producción de tecnología, maquinaria e implementos agropecuarios en el país, recuperando conocimientos, ciencias y saberes ancestrales, locales y convencionales. (Asamblea legislativa plurinacional, 2011)

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Cultivo de lechuga

La lechuga es una planta anual autógena, que posee una raíz pivotante, relativamente gruesa en la corona que se adelgaza gradualmente en profundidad, la cual puede alcanzar más de 60 cm de profundidad. Las hojas sésiles están distribuidas en forma de espiral, en una roseta densa alrededor de un tallo corto. Presenta una inflorescencia, la cual es una densa panícula compuesta por muchos capítulos, cada uno consistiendo en varios floretes, que varían entre 12 a 20 (Saavedra, 2017).

2.2.1.1. Taxonomía

La lechuga pertenece a la familia dicotiledónea más grande del reino vegetal, la Asteraceae. Su clasificación completa se muestra en la tabla 1, según (Saavedra, 2017).

Tabla 1: Clasificación botánica de la lechuga

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Asterales
Familia:	Asteraceae
Género:	Lactuca
Especie:	Lactuca sativa L.

Fuente: Saavedra, 2017

2.2.1.2. Variedades de lechuga

2.2.1.2.1. Crocantela

Lechuga Crocantela, variedad de segmento crujiente, de color verde y grande.

Destacada por su tolerancia al desgarro temprano y al mildiu (*bremia lactucae*). Características: tipología crujiente, coloración verde oscura, textura crujiente, variedad tropicalizada para cultivo durante todo el año, adaptación para cultivo hidropónico, campo abierto y orgánico, ciclo después de trasplante 35 días, espacio 25 cm x 30 cm o 30 cm x 30 cm (FERCAM, 2019).

2.2.1.2.2. Kristine

Lechuga hojas de roble verde claro. De gran calidad y rusticidad. No presenta problemas de acogollado ni en condiciones climáticas desfavorables. Muy interesante para procesado por su alto rendimiento. Para recolecciones de invierno y primavera según zonas. (El agro, 2019).

2.2.2. Requerimientos nutricionales del cultivo de lechuga

En cuanto a la producción hidropónica existen una variedad de soluciones nutritivas que se emplean en la producción de la lechuga, la siguiente tabla 2 nos muestra algunas de ellas (Carrasco, 1996).

Tabla 2: Soluciones Nutritivas

	Concentración en (ppm)						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
N	210	168	150-225	106	172	200-236	167
P	31	41	30-45	62	41	60	31
K	234	156	300-500	156	300	300	277
Mg	34	36	40-50	48	48	50	49
Ca	160	160	150-300	93	180	170-185	183
S	64	48	-	64	158	68	-
Fe	2,5	2,8	3-6	3,8	3	12	2-4
Mn	0,5	0,54	0,5-1	0,81	1,3	2	0,62
B	0,5	0,54	0-0,4	0,46	1	0,3	0,44
Cu	0,02	0,064	0,1	0,05	0,3	0,1	0,02

Zn	0,05	0,065	0,1	0,09	0,3	0,1	0,11
Mo	0,01	0,04	0,05	0,03	0,07	0,02	-

(I) Hoagland y Arron (1968), (II) Hewitt (1963), (III) FAO(1990), (IV) Jensen (s/fecha), (V) Larsen (s/fecha) (VI) Cooper (1979), (VII) Steiner (1984). Fuente: Carrasco ,1996

2.2.3. Factores ambientales que influyen en el cultivo hidropónico de la lechuga

La temperatura óptima de germinación oscila entre 18 – 20 °C. durante la fase de crecimiento del cultivo, se requieren temperaturas entre 14 – 18 °C por el día y 5 – 8 °C por la noche, pues la lechuga exige que haya diferencia de temperatura entre el día y la noche (Casaca, 2005).

El cultivo de lechuga soporta mejor las temperaturas bajas, que las elevadas. Como temperaturas máximas los 30 °C y como mínimas hasta -6°C. (Iglesias, 2006).

La humedad relativa conveniente para la lechuga es del 60 a 80%, aunque en determinados momentos agradece menos del 60%. El sistema radicular de la lechuga es muy reducido en comparación con la parte aérea, por lo que es muy sensible a la falta de humedad y soporta mal un periodo de sequía, aunque éste sea muy breve (Casaca, 2005).

En cultivos bajo invernadero se debe emplear una malla semisombra de 35 o 50% dependiendo de la localidad y la época del año (Saavedra, 2017).

2.2.4. Plagas y enfermedades del cultivo de lechuga

Entre los agentes causales se pueden mencionar hongos, bacterias, virus y nemátodos, todos ellos pueden provocar pérdidas importantes en rendimiento, como también en la calidad comercial de las lechugas; además pueden afectar a las plantas en diferentes estados de desarrollo y disminuir la vida útil de ellas (Sepúlveda, 2017).

2.2.4.1. Oídio

El oídio o polvillo es una enfermedad muy común que ataca a las lechugas, especialmente en invernaderos. Este hongo (*Erysiphe cichoracearum*) es un parásito obligado, es decir, que afecta solamente a las lechugas y especies similares. El oídio aparece

generalmente en condiciones de una alta humedad y temperaturas medianas. Se caracterizan por presentar manchas pulverulentas compuestas por micelio de color blanquecino que puede cubrir en ambas caras de las hojas. En ataques severos el hongo cubre completamente las hojas, causando pérdida de la calidad comercial del producto. (Sepulveda, 2018).

2.2.4.2. Moho gris o pudrición basal

El moho gris causado por *Botrytis cinerea* es una de las enfermedades más severas en cultivos de lechuga en, la enfermedad se presenta cuando las condiciones de humedad le son favorables, ya sea por manejo inadecuado del riego, por precipitaciones constantes o por rocíos frecuentes. Inicialmente el hongo causa podredumbre de la base de las hojas y de la corona, pero eventualmente se extiende a toda la planta, que muestra sus hojas marchitas y con una esporulación grisácea sobre los tejidos parasitados (Jaramillo, Aguilar, Tamayo, Arguello, & Arroyave, 2016).

2.2.4.3. Mildiu

Esta enfermedad es causada por el hongo *Bremia lactucae* y se presenta con más frecuencia en cultivos de otoño-invierno, cuando la humedad y la temperatura son más favorables para el desarrollo del patógeno. También es frecuente observar esta enfermedad en plantas de cultivo hidropónico y en cultivos bajo invernadero. Se caracterizan por presentar manchas cloróticas limitadas por nervaduras principales en la superficie de las hojas que luego avanzan a café y secan el follaje. En correspondencia con las manchas (24 a 48 h) se desarrolla, en la cara inferior de las hojas, el signo del patógeno, que corresponde a un micelio de color blanco grisáceo con abundante esporulación (Sepúlveda, 2017).

2.2.4.4. Áfidos

Las especies que causan los mayores problemas son *Aphis gossypii* y *Myzus persicae*. Estas son comunes en la mayoría de las plantaciones y presentan un polimorfismo con hembras aladas y ápteras. La ninfa nunca tiene alas. (Theodoracopoulos, Lardizabal, & Arias, 2009).

2.2.4.5. Pudrición blanda

Es bastante común ver pudrición interna de la lechuga al momento de la cosecha. Varios análisis han diagnosticado la presencia de la bacteria *Erwinia sp.* Las bacterias normalmente infectan la planta a través de lesiones por insectos, hongos o daños mecánicos, pero en el caso de la pudrición interna, al momento de la cosecha, es por una situación de mal manejo del tiempo de cosecha (Theodoracopoulos, Lardizabal, & Arias, 2009).

2.2.5. Hidroponía

Se denomina hidroponía al cultivo de las plantas sin tierra. Creando las condiciones que le son necesarias, a través de una solución de agua, a la que se han disuelto sales minerales diversas (Palomino, 2008).

La hidroponía permite en estructuras simples o complejas producir plantas principalmente de tipo herbáceo. En el sistema hidropónico los elementos minerales esenciales son aportados por la solución nutritiva (Beltrano, 2015).

2.2.5.1. Ventajas y desventajas de la hidroponía

Según Castro (2007) las ventajas y desventajas del cultivo hidroponico son las siguientes:

Ventajas

- La hidroponía no contamina el medio ambiente, es considerado un cultivo ecológico.
- Menor consumo de agua y fertilizantes aprovechamiento máximo de los nutrientes, no se desperdicia.
- Se puede trabajar indefinidamente en un monocultivo.
- Producción intensiva, mayor número de cosechas al año.
- Rendimientos superiores a la agricultura tradicional. Cultivos más sanos y vigorosos.
- No se necesita suelo o terrenos adecuados, se puede aprovechar incluso terrenos marginales no aptos para la producción convencional.
- Se puede producir en ambientes urbanos y periurbanos.

- Producción altamente rentable, cuando se maneja eficientemente.

Desventajas

- Es necesario un conocimiento adecuado del cultivo, la parte agronómica, nutrición y principalmente plagas y enfermedades que lo atacan.
- Es imprescindible un conocimiento medio de la química y manejo de reactivos.
- Son necesarios conocimientos mínimos de nutrición mineral y requerimiento de agua por los cultivos.
- Cuanta más tecnificada la producción hidropónica, se requieren mayores inversiones en equipos e insumos.
- Se necesita un personal adecuadamente capacitado para la gestión de cultivos hidropónicos.
- Se necesitan semillas de calidad.

2.2.5.2. Sistema NFT (Nutrient Film Technique)

El sistema de recirculación de solución nutritiva "NFT" -Nutrient Film Technique-, fue desarrollado en el Glasshouse Crop Research Institute, Inglaterra, en la década de los sesenta. El principio de este sistema hidropónico consiste en la circulación constante de una lámina fina de solución nutritiva que pasa a través de las raíces del cultivo (Carrasco, 1996).

2.2.5.3. Solución nutritiva

La solución nutritiva es la base de los cultivos hidropónicos; los nutrientes minerales están disueltos en la solución que es absorbida por las plantas mediante su sistema radicular, lo que les permite nutrirse adecuadamente. (Castro, 2007).

Una solución nutritiva se define como una disolución acuosa que contiene oxígeno y parte o la totalidad de todos los nutrientes completamente disociados en forma disponible para la planta (Santos & Ríos, 2016). En general los elementos minerales esenciales requeridos por la planta se pueden clasificar en dos grupos como nos muestra la tabla 3.

Tabla 3. Elementos minerales esenciales para las plantas

Elemento mineral	Símbolo químico	Peso atómico
Nitrógeno	N	14
Fosforo	P	31
Potasio	K	39
Calcio	Ca	40
Magnesio	Mg	24
Azufre	S	32
Hierro	Fe	56
Manganeso	Mn	55
Zinc	Zn	65,5
Boro	B	11
Cobre	Cu	64
Molibdeno	Mo	96
Cloro	Cl	35,5

Fuente: Carrasco, 1996

El carbono (C) es obtenido del dióxido de carbono (CO₂) de la atmosfera el hidrogeno (H) y el oxígeno (O) del agua y aire, con estos elementos y la nutrición mineral de los macro y micro nutrientes, las plantas elaboran con el aporte del sol compuestos orgánicos y constituyen aproximadamente el 96 % de la materia formada (seca) en la planta y solamente el 4 % corresponde a los minerales. (Castro, 2007).

Al preparar la solución nutritiva, tomar en cuenta la concentración de nutrientes en el agua; normalmente el agua ya contiene en solución nutrientes como el Ca, Mg, sulfatos y boro, es más frecuente encontrar sodio y cloro. Es recomendable hacer el análisis químico del agua (Castro, 2007).

2.2.5.4. Calidad de agua para la solución nutritiva

El agua deberá estar exenta de contaminantes microbianos que de alguna manera puedan ser un perjuicio para la salud humana. Respecto a la calidad química, deberá usarse aguas con bajos contenidos de sales. Los contenidos elevados de calcio y magnesio (mayores

a 30 ppm en cada caso) obligaran 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 un análisis del agua antes de comenzar (Gilzans 2007).

2.2.5.5. pH de la solución nutritiva

El valor logarítmico del pH varía de 0 a 14, una solución ácida está más próxima de uno, y una solución alcalina mayor a 7 más próxima a 14 (Castro, 2007).

Este parámetro juega un papel fundamental en la disponibilidad de los elementos para la planta, bien por la insolubilización de estos, bien por el paso a una forma no asimilable por las raíces. Por otra parte, los pH extremos dañan directamente a las raíces (Santos & Ríos, 2016).

El rango de pH en el cual los nutrientes se encuentran disponibles ocurre entre 5,5 y 7. Si la solución nutritiva se encuentra fuera de estos rangos es necesario realizar un ajuste utilizando una mezcla de ácido nítrico (HNO_3) y ácido fosfórico (H_3PO_4) en una proporción 3:1 para acidificar la solución nutritiva, por el contrario si la solución nutritiva se encuentra muy ácida se puede utilizar una solución al 10% de hidróxido de potasio (KOH) (Carrasco, 1996).

2.2.5.6. Conductividad eléctrica de la solución nutritiva

Un factor importante en el diseño de una solución nutritiva es la cantidad total de iones disueltos en agua, representada por la conductividad eléctrica de la solución nutritiva. La CE se suele medir en dS/m, mS/cm o $\mu\text{S/cm}$ ($1\text{dS/m} = 1\text{mS/cm} = 1000\mu\text{S/cm}$) (Santos & Ríos, 2016).

La conductividad eléctrica dependerá del cultivo y el estado de crecimiento, por ejemplo la lechuga tiene márgenes bajos para su desarrollo (entre 2 – 2.5 dS/m) (Gilsanz, 2007).

Tabla 4. Niveles de conductividad eléctrica por cultivo

Cultivo	Conductividad eléctrica en (dS/m)
Lechuga	1.3
Espinaca	2.0
Tomate	2.5
Frutilla	1.0
Apio	1.8

Fuente: Gilzans, 2007

2.2.5.7. 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 se ve limitada. Por encima de 29 °C, la absorción se vuelve a ver limitada. (Santos & Ríos, 2016).

La temperatura óptima para la mayoría de las plantas es de aproximadamente 22 °C; en la medida que la temperatura disminuye, la absorción y asimilación de nutrimentos también lo hace (Favela, Preciado, & Benavides, 2006).

2.2.5.8. Oxigenación de la solución nutritiva

Para evitar problemas fisiológicos (raíz negra o pudrición) y principalmente la fermentación de la solución nutritiva, ocasionando la aparición de microorganismos, es necesario oxigenar la solución por lo menos dos veces al día, el proceso será mayor cuando las temperaturas son altas, se recomienda inyectar aire preferiblemente durante todo el día (Castro, 2007).

Se suele considerar un valor de 9 ppm de O₂ disuelto para la mayoría de las especies (Santos & Ríos, 2016). Una concentración por debajo de los 3 o 4 mg L⁻¹ de oxígeno disuelto produce una disminución del crecimiento radical y cambia la raíz a un color pardo (Favela, Preciado, & Benavides, 2006).

El suministro de oxígeno en la solución nutritiva se puede lograr mediante su recirculación del sistema NFT o mediante el uso de una bomba de aire o un compresor. Es recomendable inyectar el aire en varios puntos de la solución nutritiva, con el fin de que la concentración de oxígeno sea más homogénea (Inca, 2013).

2.2.5.8.1. Compresores

Los compresores son máquinas que tienen por finalidad aportar una energía a los fluidos compresibles (gases y vapores) sobre los que operan, para hacerlos fluir aumentando al mismo tiempo su presión (Fernández, 2001).

2.2.5.9. Volumen de la solución nutritiva

Normalmente las plantas absorben más agua conjuntamente con los minerales, lo que ocasiona un incremento en la conductividad eléctrica (CE), se recomienda añadir agua pura hasta alcanzar valores de CE apropiados para la planta (Castro, 2007).

2.2.6. Automatización

Un autómatas se define como sistema artificial que se comporta de determinadas maneras relacionando comandos de entrada con estados del sistema, con el fin de obtener las salidas necesarias para solucionar tareas (Ebel, Idler, Prede, & Scholz, 2008).

Para configurar procesos automáticos modernos se necesitan tres componentes:

- Sensores para captar los estados del sistema
- Actuadores para emitir los comandos de control
- Unidades de control para la ejecución del programa y para tomar decisiones

2.2.6.1. Lenguaje de programación

Un lenguaje de programación es un conjunto de reglas, notaciones, símbolos y/o caracteres que permiten a un programador poder expresar el procesamiento de datos y sus estructuras en la computadora. También se puede decir que un programa es un conjunto de órdenes o instrucciones que resuelven un problema específico basado en un lenguaje de programación (Rico, 2004).

2.2.6.2. Temporizadores digitales

Los timer digitales son utilizados para el control automático de encendido y apagado de dispositivos eléctricos. Cuentan con batería de respaldo interna de 150 horas para no perder la configuración de programación. (Lexoelectric, 2019).

Tabla 5: Características técnicas de timer digital

Modelo	AHC15A
Tensión	220VAC /50Hz
Tipo de programación	Diaria – Semanal
Rango de programación	1min - 24hrs.
Programas	16 máximo
Corriente máxima AC	16A/220V
Temperatura de operación	-40°C a + 55°C
Montaje	Riel Din 35mm

Fuente: Lexoelectric, 2019

2.2.6.3. Controlador lógico programable PLC

Un controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC (Programmable Logic Controller), se trata de una computadora, utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas (UNEDE, 2006).

2.2.6.4. Arduino

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fáciles de usar. Las placas Arduino pueden leer entradas (luz en un sensor, un dedo en un botón o un mensaje de twitter) y convertirla en una salida: activar un motor, encender un LED y publicar algo en línea. Puede decirle a su tarjeta qué debe hacer enviando un conjunto de instrucciones al microcontrolador de la tarjeta. Para hacerlo, utiliza el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el software Arduino (IDE), basado en el procesamiento (Arduino, 2018).

2.2.6.4.1. Placa Arduino Uno

Arduino Uno es un tablero para microcontroladores basado en el ATmega328P. Tiene 14 pines de entrada / salida digital (de los cuales 6 se pueden usar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP y un botón de reinicio (Arduino, 2018).

Tabla 6: Características técnicas de la placa Arduino Uno

Especificaciones Técnicas	
Micro controlador	ATmega 328p
Tensión de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (limite)	6-20V
Pines digitales de E / S	14
PWM Digital I / O Pines	6
Clavijas de entrada analógica	6
Corriente DC por Pin de E / S	20 mA
Corriente DC para 3.3V Pin	50 mA
Memoria flash	32 KB (ATmega328P)
SRAM	3 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
LED_BUILTIN	13
Longitud	68.6 mm
Anchura	53.4 mm
Peso	25 g

Fuente: Arduino, 2018

2.2.6.4.2. Software de código abierto Arduino (IDE)

El software de código abierto Arduino (IDE) facilita escribir código y cargarlo en la pizarra. Se ejecuta en Windows, Mac OS X y Linux. El entorno está escrito en Java y se basa en Procesamiento y otro software de código abierto. Este software se puede utilizar con cualquier placa Arduino (Arduino, 2018).

2.2.6.4.3. Programación en arduino

Puede decirle a su tarjeta qué debe hacer enviando un conjunto de instrucciones al microcontrolador de la tarjeta. Para hacerlo, utiliza el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el software Arduino (IDE), basado en el procesamiento. El lenguaje de programación Arduino se puede dividir en tres partes principales: funciones, valores (variables y constantes) y estructura (Arduino, 2018).

2.2.6.4.4. Módulo RTC DS1302

Un módulo RTC (Real Time Clock), es un reloj que realiza un seguimiento de la hora actual y que se puede utilizar para programar acciones en un momento determinado. Para mantener el tiempo y el RTC en funcionamiento, es necesario mantener la placa alimentada. Con una batería de litio del tamaño de un botón en el rango de 3 voltios es suficiente para mantener el RTC activo (Arduino, 2018).

2.2.6.4.5. Módulo relé

Un relé es un dispositivo electromecánico que permite a un procesador como Arduino controlar cargas a un nivel de tensión o intensidad muy superior a las que su electrónica puede soportar. El circuito secundario es el interruptor encargado de encender o apagar la carga (Llanos, 2016).

III. SECCIÓN DIAGNÓSTICA

3.1. Localización y ubicación

El trabajo de investigación se realizó en el invernadero de la empresa hidropónica Hortícolas Chui, ubicado en la zona Bautista Saavedra "H" de la ciudad de El Alto del departamento de La Paz. Geográficamente el lugar del invernadero se encuentra localizado a $16^{\circ}29'38.85''$ LS y $68^{\circ}14'21.04''$ LW, la altitud promedio es de 4050 msnm.

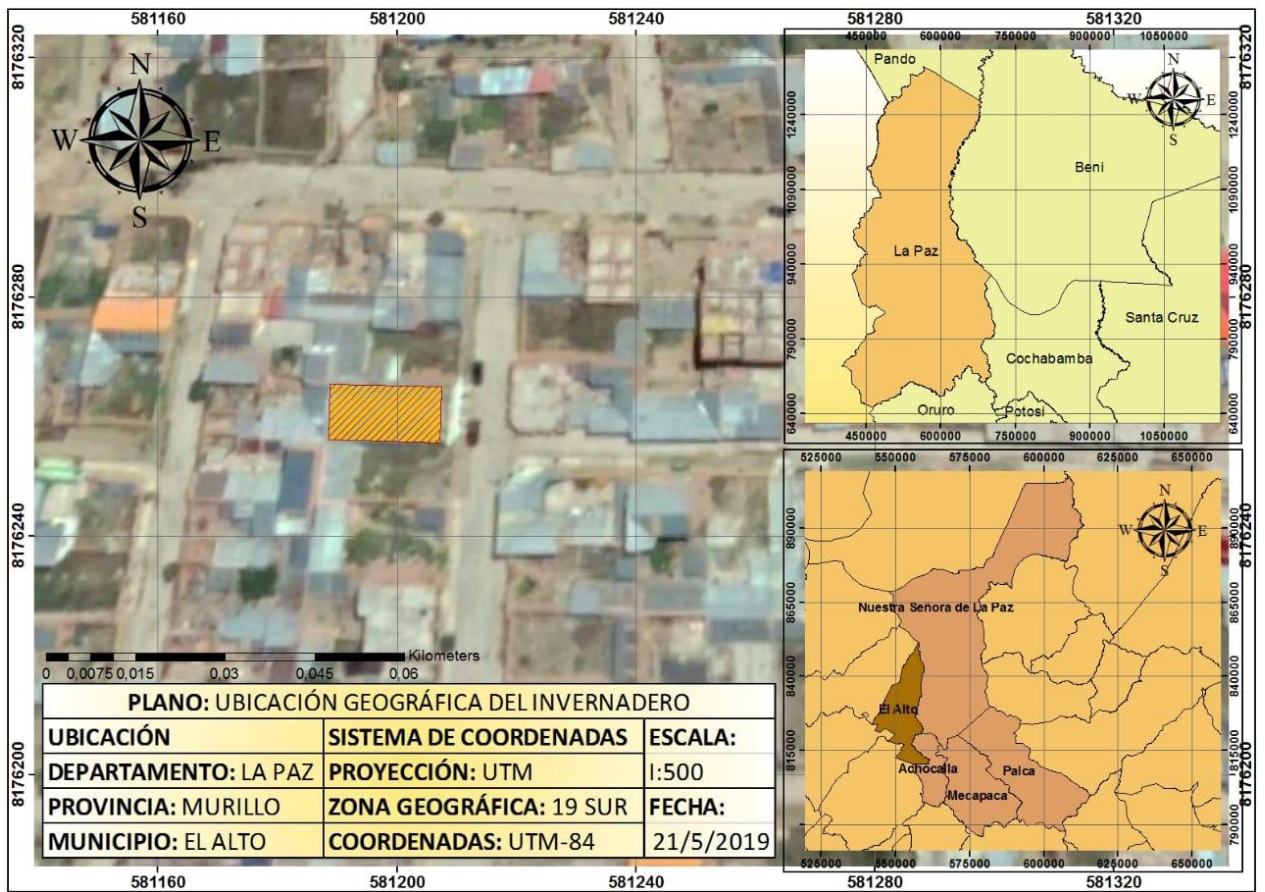


Figura 1: Ubicación geográfica de la empresa Hortícolas Chui.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Materiales de campo

3.2.1.1. Material para la siembra

- Tijeras
- Estilete

- Esponja de 3 cm de espesor
- Nylon negro 1m x 0.5 m
- Semillas peletizadas de lechuga (variedad *Crocantela*)
- Semillas peletizadas de lechuga (variedad *Kristine*)

3.2.1.2. Material para bandeja flotante

- Plastoformo de 3 cm de grosor
- Contenedores de madera impermeabilizados 3.10 m x 0.60 m x 0.10 m

3.2.1.3. Material para sistema NFT

- Tubos de PVC de 4"
- Tanques de agua de 300 l y 1200 l
- Vasos plásticos de 200 ml

3.2.1.4. Material para la preparación de solución nutritiva

- Baldes plásticos de 10 l y 20 l
- Jarras plásticas de 1 l y 3 l
- Cucharas plásticas (grandes y pequeñas)
- Botellas desechables de 2 l

3.2.2. Material de laboratorio

- Balanza (500 g) y de (5 kg)
- Multiparámetro Milwaukee (pH, CE y TDS)
- Multiparámetro Waterproof (CE, pH y Temp)
- Termómetro de máxima y mínima
- Piseta
- Vaso precipitado (500 ml)
- Jeringas (1ml y 10 ml)
- Vernier

3.2.3. Material de gabinete

- Computadora
- Cámara fotográfica
- Planilla de toma de datos
- Cuaderno de campo
- Tablero
- Calculadora

3.2.4. Sales y reactivos químicos

- Nitrato de calcio
- Sulfato de magnesio
- Nitrato de potasio
- Fosfato mono potásico
- Sulfato de hierro
- Sulfato de zinc
- Sulfato de manganeso
- Molibdato de amonio
- Ácido bórico
- Sulfato de potasio
- Cloruro de potasio
- Nitrato de magnesio
- Nitro – S
- Ácido nítrico
- Ácido fosfórico
- Bicarbonato de sodio
- Agua destilada

3.2.5. Equipos

3.2.5.1. Equipos de automatización con temporizadores digitales

- Temporizador digital AHC-15
- Contactor
- Relé de sobre intensidad
- Llave selectora de tres posiciones
- Llave térmica
- Caja eléctrica
- Electrobomba de 1 HP

3.2.5.2. Equipos de automatización con micro controlador Arduino

- Placa Arduino Uno
- Módulo RTC (reloj de tiempo real)
- Pantalla LCD 16 x 2 (caracteres x líneas)
- Módulo I2C par control de LCD
- Pulsadores
- Modulo Relé
- Llave térmica
- Llave selectora de tres posiciones
- Caja eléctrica
- Fuente de alimentación AC a DC 12 V y 2000 mA
- Electrobomba de 0.5 HP
- Compresora de 1HP

3.2.6. Metodología

3.2.6.1. Tipo de estudio

El presente trabajo dirigido presenta una investigación cuantitativa de tipo experimental.

3.2.6.1.1. Diseño experimental

Se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar (DBA) con arreglo bifactorial, considerando el efecto de tipo de automatización como el Factor A y variedades de lechuga como Factor B, se bloqueó la altura a la que se ubicaron los canales de cultivo, debido a que la parte baja del invernadero no reciben la misma radiación solar que la parte alta, además de existir un gradiente térmico entre la parte superior y la inferior.

3.2.6.1.2. Factores de estudio

Factor de estudio A: tipo de automatización, con sus niveles:

a_1 = Automatización con temporizador digital

a_2 = Automatización con microcontrolador Arduino

Factor de estudio B: variedad de lechuga, con sus niveles:

b_1 = *Crocantela*

b_2 = *Kristine*

3.2.6.1.3. Tratamientos

La combinación de los factores, tipo de automatización y variedad de lechuga, llevo a la formación de 4 tratamientos, cada tratamiento se distribuyó en 4 bloques. Por consiguiente, se obtuvo 16 unidades experimentales, los tratamientos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 7: Tratamientos

Factor A	Factor B	Tratamiento	Descripción
a_1	b_1	$T_1 = a_1b_1$	Temporizador digital con variedad <i>Crocantela</i>
a_1	b_2	$T_2 = a_1b_2$	Temporizador digital con variedad <i>Kristine</i>
a_2	b_1	$T_3 = a_2b_1$	Micro controlador Arduino con variedad <i>Crocantela</i>
a_2	b_2	$T_4 = a_2b_2$	Micro controlador Arduino con variedad <i>Kristine</i>

Fuente: Elaboración propia

3.2.6.1.4. Distribución de los tratamientos en campo.

La distribución de los tratamientos se realizó en los canales de cultivo del sistema NFT piramidal, las lechugas se trasplantaron a una distancia de 34 cm, teniendo por cada unidad

experimental en total de 46 plantas, de las cuales se tomó 7 muestras. La distribución de los tratamientos y los bloques se muestra en la figura 2. La superficie total de estudio fue de 57,6 m² cada unidad experimental tuvo una superficie de 14,4 m².

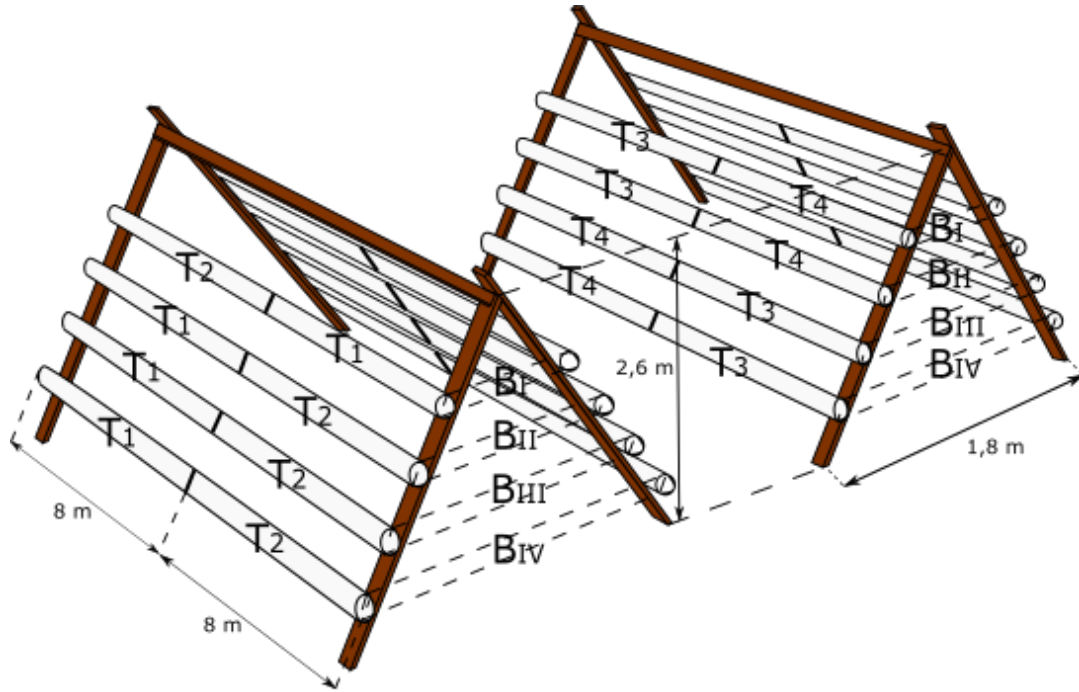


Figura 2: Croquis de campo del diseño experimental

Fuente: Elaboración propia

3.2.6.1.5. Modelo lineal aditivo

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

Donde:

Y_{ijk} = Una observación cualquiera

μ = Media general

λ_k = Efecto aleatorio del k-ésimo bloque

α_i = Efecto fijo del i-ésimo tipo de automatización (Factor A)

β_j = Efecto fijo de la j-ésima variedad de lechuga (Factor B)

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto fijo de interacción del i-ésimo tipo de automatización con la j-ésima variedad de la lechuga (interacción A x B).

ε_{ijk} = Error experimental

3.2.6.2. Procedimiento de estudio

3.2.6.2.1. Sistemas de automatización

a) Sistema de automatización controlado por temporizador digital

La empresa Hortícolas Chui utiliza un sistema de automatización tradicional controlado por temporizadores digitales, como se puede apreciar en el anexo 1. Para armar este sistema de empleo una llave térmica, un contactor y un relé de sobreintensidad, conectados en paralelo con la electrobomba y como sistema de mando dos temporizadores AHC-15 conectados en serie con el contactor.

b) Sistema de automatización controlado por Arduino

Utilizando software Arduino (IDE), se elaboró un algoritmo para que la placa Arduino funcione como un temporizador. El código permite que se pueda establecer, a través de tres pulsadores, la hora de activación y desactivación de dos relés que a su vez pueden controlar el encendido y apagado de dos máquinas eléctricas.

Para armar el sistema de automatización se conectaron tres pulsadores a los pines digitales 5, 6 y 7, de la placa Arduino, cada uno con su respectiva resistencia de 100 k Ω conectada a GND, estos pulsadores se usaron para establecer la hora del encendido y apagado de la bomba de agua y la compresora.

Las conexiones del adaptador I2C, de la pantalla LCD 16x2, con la placa Arduino Uno se realizaron de la siguiente manera: el pin SCL al pin analógico A5, el pin SDA al pin analógico A4, el pin VCC a 5V y GND del adaptador I2C a GND de la placa.

Los pines SCL y SDA del módulo RTC (reloj de tiempo real) se conectaron a los pines SCL y SDA de la placa Arduino. El módulo relé se conectó a los pines digitales 13 y 12. El esquema de conexión del sistema se muestra en la figura 3.

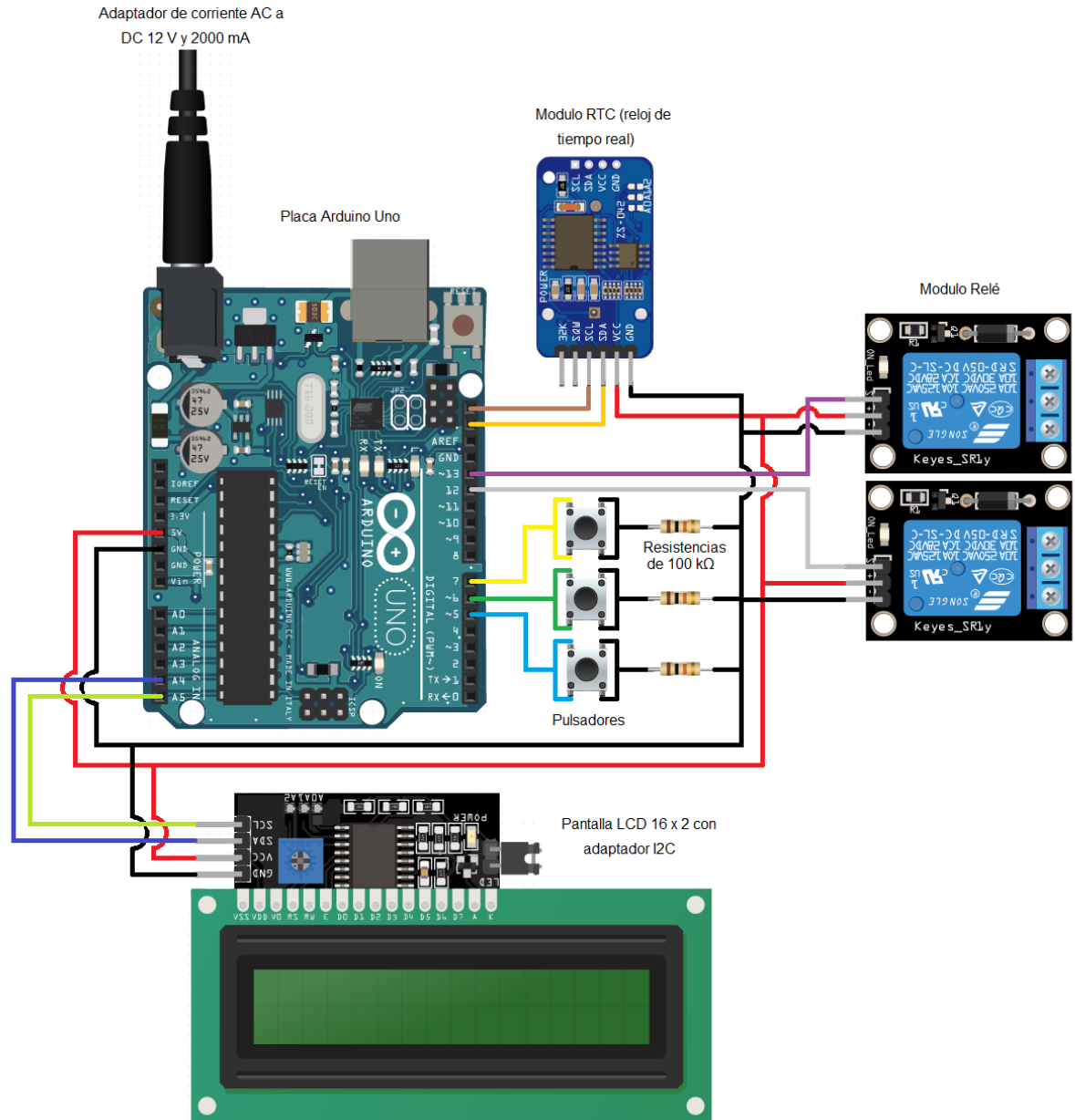


Figura 3: Sistema de automatización Arduino

3.2.6.2.2. Programación de los sistemas de automatización

a) Programación de los temporizadores digitales

El sistema de automatización de la empresa Hortícolas Chui utiliza tiene una capacidad de 32 programaciones. En el anexo 2 podemos apreciar las programaciones que se realizaron a los temporizadores digitales AHC-15.

b) Programación del temporizador Arduino

El sistema de automatización propuesto tiene una capacidad de 54 programaciones y puede controlar el encendido y apagado de dos máquinas eléctricas cuyo consumo de corriente no supere los 10 Amperios.

Se programó el temporizador Arduino, anexo 3, a través de los tres pulsadores, para que encienda y apague una electrobomba, la programación empleada para la bomba de agua se muestra en el anexo 4. También se programó el encendido y apagado de una compresora de aire de 1 Hp de potencia para la oxigenación de la solución nutritiva, la programación empleada para la compresora se muestra en el anexo 5.

3.2.6.2.3. Acondicionamiento y limpieza

a) Acondicionamiento y limpieza de las bandejas flotantes

Antes de realizar el trasplante de las plántulas de lechuga se realizó el mantenimiento y limpieza de las bandejas flotantes. El acondicionamiento consistió en la nivelación de los contenedores de madera y el arreglo de los plásticos que impermeabilizan las bandejas. La limpieza de las bandejas y de las láminas de plastroformo se la realizó utilizando agua potable, detergente en polvo y utensilios de limpieza.

b) Acondicionamiento y limpieza del sistema NFT

El acondicionamiento del sistema NFT consistió en reparar las fugas de solución nutritiva que existían en las tuberías de distribución y retorno de la solución nutritiva. La limpieza de todo el sistema NFT que consta de los canales de cultivo, las tuberías de retorno y los tanques que almacenan la solución nutritiva, se la realizó con agua potable, detergente en polvo e instrumentos de limpieza.

3.2.6.2.4. Selección de la solución nutritiva

Para el presente trabajo de investigación se utilizó la solución nutritiva formulada por la empresa Hortícolas Chui, la cual se muestra en la tabla 8. Esta solución se utilizó en bandeja flotante y en sistema NFT.

Tabla 8: Solución nutritiva

Elemento	NO ₃	NH ₄	P	K	Mg	Ca	S	Fe	Zn	B	Mn	Cu	Mo	Cl
Concentración en ppm	175	15	35	210	45	200	70	5	0,05	0,5	0,5	0,01	0,05	65

Fuente: Huanca 2019

3.2.6.2.5. Preparación de la solución nutritiva

a) Preparación de la solución nutritiva para bandeja flotante

Para las bandejas flotantes se preparó 140 litros de solución nutritiva al 50% de su concentración, se pesaron los fertilizantes indicados en el anexo 6, cada uno de ellos se disolvió en baldes que contenían 3 litros de agua durante 10 minutos, el sulfato de hierro se disolvió en agua acidificada y la solución concentrada de molibdato de amonio fue añadida de forma directa. Las disoluciones fueron vertidas una a una en un recipiente con 70 litros de agua, una vez incorporado todos los fertilizantes se completó con agua hasta alcanzar los 140 litros requeridos, para finalizar la preparación se reguló el pH a 6,5 y posteriormente se distribuyó a las bandejas.

Las lechugas trasplantadas a bandeja flotante permanecieron en agua durante una semana, finalizada esta se cambió al 50% de la concentración de la solución nutritiva y cada semana se fue añadiendo el 10% hasta alcanzar el 80% de la concentración de la solución nutritiva.

b) Preparación de la solución nutritiva para sistema NFT

Para el sistema NFT se preparó la solución nutritiva al 100% de su concentración. Se pesaron los fertilizantes indicados en el tabla 7, los cuales se disolvieron en baldes con 3 litros de agua excepto el sulfato de hierro que fue disuelto en agua acidificada y el molibdato de amonio que ya se encontró disuelto en una solución concentrada, los baldes fueron agitados durante 10 minutos para disolver por completo las sales minerales, posteriormente se vertieron

uno por uno a un tanque que contenía 500 litros de agua, una vez incorporado todos los fertilizantes se completó hasta alcanzar los 1000 litros, finalmente se reguló el pH a 6,5.

Los 1000 litros de solución nutritiva fueron distribuidos en dos tanques: la electrobomba del primer tanque estuvo automatizada por dos temporizadores digitales y la electrobomba del segundo estuvo automatizado por el temporizador controlado por una placa Arduino, así mismo a estos tanques se le instaló una compresora de aire que se encargó de oxigenar la solución nutritiva.

3.2.6.2.6. Corrección del pH

a) Corrección del pH del agua de riego

El pH del agua de grifo fue muy variable encontrándose entre los rangos de 7 a 8,5 por lo que fue necesario regular el mismo hasta un valor de 6,5 antes de preparar las soluciones nutritivas, esto se logró añadiendo una solución diádica consistente en 13 ml de ácido nítrico y 1 ml de ácido fosfórico en 1 litro de agua.

El gráfico 1, muestra la curva de neutralización del agua de riego. Para la construcción de la curva se tituló 200 ml de agua del grifo con una solución diádica conformada por 13 ml de ácido nítrico, 1 ml de ácido fosfórico y 100 ml de agua. Utilizando este gráfico se logró determinar la cantidad de solución diádica necesaria para regular el pH del agua a un valor de 6,5.

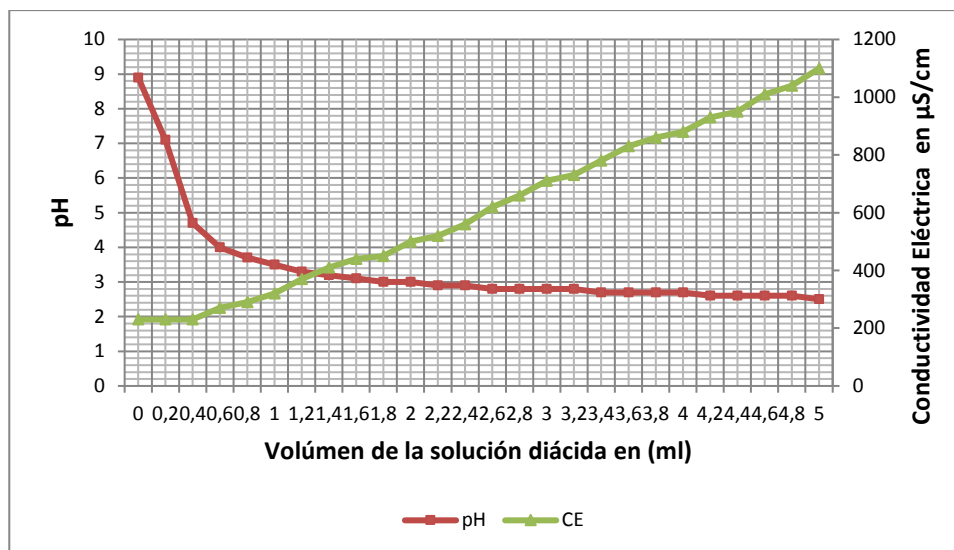


Gráfico 1: Curva de neutralización del agua de riego Fuente: Elaboración propia.

El principal objetivo de realizar la corrección del pH es proporcionar a las plantas las mejores condiciones de solubilidad y brindar una adecuada disponibilidad de nutrientes para la absorción de las plantas (Ayala, 2019). La absorción de cationes (por ejemplo, NH_4^+) produce una acidificación al liberar la raíz iones H^+ . Si la planta toma más cationes que aniones, baja el pH (Santos & Ríos, 2016).

b) Corrección del pH de la solución nutritiva

La corrección del pH de la solución nutritiva, tanto en bandeja flotante como en sistema NFT, se lo efectuó con una disolución de 40 gramos de bicarbonato de sodio en un litro de agua. El ajuste del pH se lo realizó cada vez que su valor bajaba de 5,5 hasta alcanzar un valor de 6,5.

El gráfico 2, muestra la curva de neutralización de la solución nutritiva. Esta se elaboró titulando 100 ml de solución nutritiva con la solución de bicarbonato de sodio constituida por 40 gramos de bicarbonato de sodio y 1000 ml de agua. Empleando esta curva se logró determinar la cantidad de solución de bicarbonato de sodio utilizada para regular el pH de la solución nutritiva a un valor de 6,5.

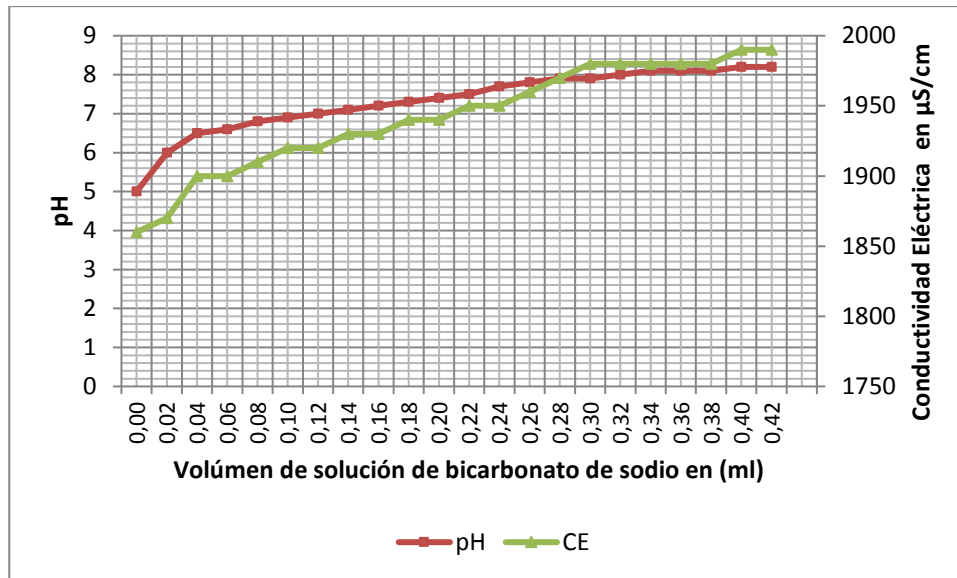


Gráfico 2: Curva de neutralización de la solución nutritiva Fuente: elaboración propia.

El motivo por el cual es necesaria la regulación del pH de la solución nutritiva es que debido al consumo de iones y agua por parte del cultivo. Santos & Ríos (2016) indican que la planta es capaz de modificar el pH del entorno radicular por la absorción diferencial de los iones presentes en la disolución. De forma muy simplificada, si la planta toma aniones (por ejemplo, NO_3^-), la raíz libera OH^- para mantener el equilibrio de las cargas, alcalinizando la solución. La absorción de cationes (por ejemplo, NH_4^+) produce por el contrario una acidificación al liberar la raíz iones H^+ . Si la planta toma más cationes que aniones, baja el pH y si toma más aniones que cationes, sube el pH (Santos & Ríos, 2016).

3.2.6.2.7. Siembra de las lechugas

En la siembra del cultivo se utilizó semillas peletizadas de lechuga. Se sembró 350 semillas de la variedad *Crocantela* y 350 semillas de la variedad *Kristine*. Se puede observar esta actividad se puede observar en el anexo 7.

Para la siembra se prepararon láminas de esponja de 3 cm de espesor a las que se dividió en cuadrados de 3 cm x 3 cm, en medio de cada cuadrado se realizó una perforación de 1.5 cm de profundidad en la que se introdujo la semilla, posteriormente se cubrió con nylon

negro para mantener las condiciones adecuadas de humedad y temperatura para favorecer la germinación.

El porcentaje de germinación, según el gráfico 3, muestra que la variedad *Kristine* fue la que alcanzó mayor porcentaje de germinación logrando un valor de 95,43 % que representa 334 semillas germinadas de un total de 350, la variedad *Crocantela* logró un porcentaje de germinación del 90,57 % que representan 317 semillas germinadas de un total de 350 semillas sembradas.

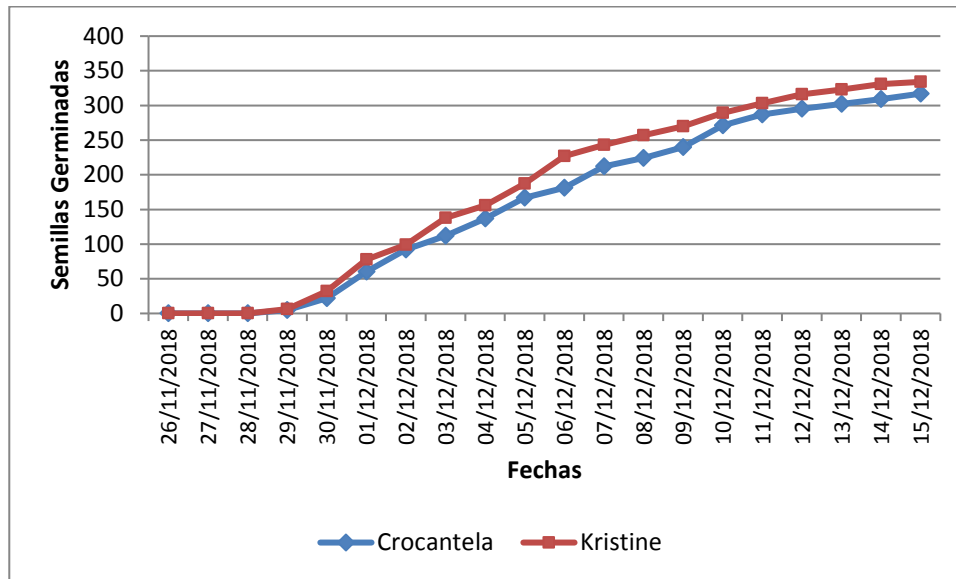


Gráfico 3: Curva de germinación de dos variedades de lechuga Fuente: elaboración propia.

Al respecto Ayala (2019) en su trabajo de investigación con semillas pelezadas de la variedad *Crocantela* encontró a los 9 días después de la siembra 98,3% de porcentaje de germinación. Así también Huanca (2017) indica que a los siete días se superó más del 97% y 98% del total de semillas sembradas, para la variedad *Romanela* y *Crocantela*.

3.2.6.2.8. Trasplante a bandeja flotante

Tres semanas después de la siembra, se llevó a cabo el trasplante a bandeja flotante. Para esto se cortó las tiras de esponja en cubos, de 3 cm de vértice, cuidando de no dañar las raíces se las introdujo en los orificios de los plastroformas, como se observa en el anexo 8.

Como parte de la investigación al momento de realizar el trasplante a bandeja flotante se dividió las plántulas de lechuga en dos grupos, 175 plantines de la variedad *Kristine* y 175 de la variedad *Crocantela*, a un grupo se le instaló un sistema de oxigenación controlado por una compresora de aire que se encendía y apagaba automáticamente durante 30 minutos en todo el día, la programación se puede observar en el anexo 5, en cuanto al segundo grupo la activación y desactivación de la compresora de aire se lo realizaba dos veces al día durante 10 minutos de forma manual.

3.2.6.2.9. Trasplante a sistema NFT

El trasplante de bandeja flotante al sistema NFT se lo desarrolló después de 27 días cuando las plántulas de lechugas alcanzaron 15 cm de altura en promedio.

Para llevar a cabo el trasplante se procedió a retirar las plántulas de lechuga de las bandejas flotantes, se colocaron en vasos desechables de 200 ml posteriormente se los introdujo a los orificios de los canales de cultivo teniendo cuidado que la raíz ingrese totalmente al orificio del tubo y que se encuentre en contacto con la solución nutritiva, como se aprecia en el anexo 9.

Al momento de realizar el trasplante se consideró el diseño experimental y se ubicó las lechugas según los tratamientos y los bloques. Se obtuvo un total de 16 unidades experimentales, cada una con 46 lechugas. Esta distribución se puede observar en el anexo 10.

3.2.6.2.10. Manejo fitosanitario

a) Control orgánico

Para el control de los áfidos o pulgones (*Myzus persicae*) y otros de la familia *Aphididae*, que es la principal plaga que ataca al cultivo, se preparó un insecticida orgánico a base de cebolla, limón, ajo, alcohol y detergente el cual se aplicó mediante aspersion una vez a la semana. La receta y la forma de preparación se encuentran en el anexo 11.

Para el control de enfermedades fúngicas, como *oídio*, causada por el hongo *Erysiphe cichoracearum* y mildiu ocasionada por el hongo *Bremia lactucae*, se preparó caldo sulfocalcico, este se aplicó mediante aspersión a las hojas de las lechugas cada dos semanas. La receta y la forma de preparación se encuentran en el anexo 12.

Para evitar la pudrición del tallo, ocasionada por el hongo *Botrytis cinerea*, se utilizó canela en polvo el cual se aplicó, de manera directa y localizada, a las plantas que presentaron síntomas de pudrición.

b) **Control químico**

Se utilizó el control químico de manera preventiva fumigando el suelo y las paredes del invernadero, para esto se utilizaron los siguientes agroquímicos cypermetrin 250 EC, thodotrin 250 EC, stermin 600 SI y caporal 540 EC. Estos se aplicaron una vez a la semana de forma intercalada.

c) **Control mecánico**

El control mecánico consistió en la destrucción directa de los pulgones y la remoción de hojas infestadas por enfermedades.

3.2.6.2.11. Monitoreo de la solución nutritiva

Con el objetivo de conocer el comportamiento de la solución nutritiva en las bandejas flotantes se realizó la medición diaria del pH, conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$ y sólidos totales disueltos en ppm. Cuando las plántulas pasaron a sistema NFT además de los parámetros ya mencionados también se midió el volumen de los tanques y la temperatura de la solución nutritiva. Las mediciones de estos parámetros se realizaron dos veces al día, una por la mañana a las 9:00 am y otra por la tarde a las 1:00 pm.

a) **Fluctuación del PH de la solución nutritiva**

El gráfico 4 muestra las variaciones que sufrió el pH de la solución nutritiva en bandeja flotante y en sistema NFT. Se puede apreciar que las dos curvas, pH del sistema automatizado con Arduino y pH del sistema de automatización con temporizadores digitales, son casi

similares manteniéndose ambas entre un rango de 5,2 como valor mínimo y 6,6 como valor máximo. Santos & Rios (2016) Indican que el rango de pH óptimo para la disponibilidad del conjunto de nutrientes es de 5,5 a 6,5.

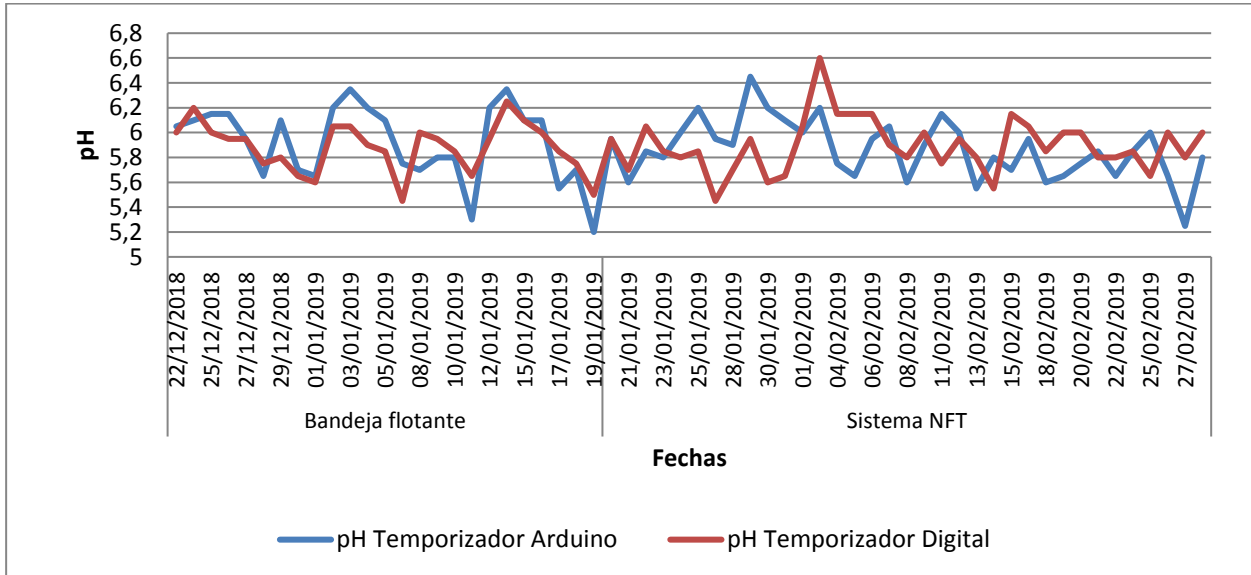


Gráfico 4: Fluctuaciones del pH de la solución nutritiva Fuente: elaboración propia.

En el periodo de bandeja flotante se aprecia que el pH de la solución nutritiva tiene una tendencia a disminuir, especialmente en la última semana, esto es debido a la absorción de cationes por parte de las raíces de la planta. Al respecto Ayala (2019) en su investigación indica que el pH más alto registrado fue de 6,83 y el pH más bajo registrado fue 5,0 que se presentó en la tercera semana en bandeja flotante.

En el periodo en que las plantas permanecieron en sistema NFT el valor del pH fue más inestable requiriendo una mayor frecuencia de corrección. Como se aprecia en el gráfico 3, la tendencia del pH de la solución nutritiva tiende a disminuir. Los descensos del pH son causados, porque las plantas absorben más cationes y entonces la planta libera H^+ , esto ocasiona que la solución se acidifique (Huanca, 2017).

Ayala (2019) en su trabajo de investigación, en el periodo en sistema NFT, indica que cuando se preparó la solución nutritiva se registró un pH de 6,40. A medida que el nutriente va

circulando y van pasando los días, se vio que el pH descendía, cuando el valor del pH fue menor a 5,5 se corrigió con hidróxido de potasio.

b) Fluctuaciones de la conductividad eléctrica (CE) en la solución nutritiva

El gráfico 5 nos muestra el comportamiento de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva en bandeja flotante y en sistema NFT, podemos apreciar un comportamiento casi similar entre la conductividad eléctrica del sistema automatizado con Arduino y la conductividad eléctrica del sistema automatizado con temporizadores digitales, esto debido a que se utilizó la misma solución nutritiva para ambos casos.

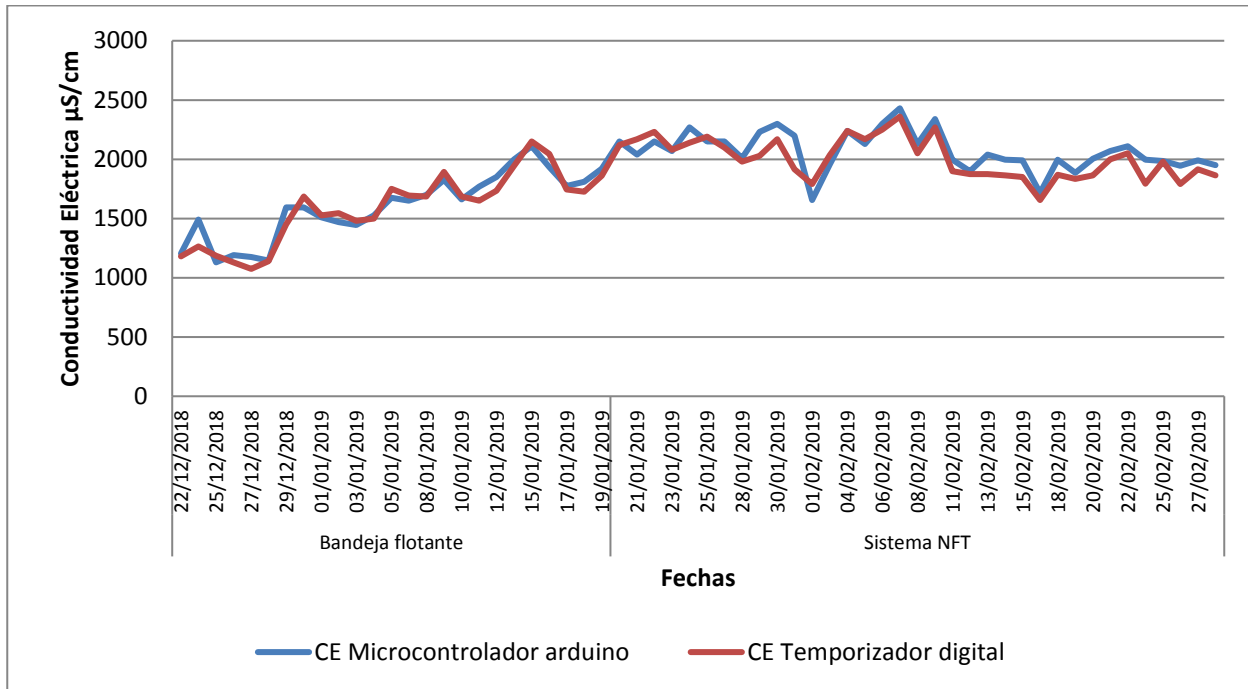


Gráfico 5: Fluctuación de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva Fuente: elaboración propia.

En el periodo de bandeja flotante la conductividad eléctrica de la solución nutritiva fluctuó entre 1180 µS/cm como valor mínimo y 2150 µS/cm como valor máximo, también se puede apreciar que la CE tiene una tendencia ascendente esto se debe a que se inició con el 50% de la concentración de la solución nutritiva y cada semana se fue añadiendo el 10% de la

concentración hasta alcanzar el 80%. La conductividad eléctrica representa la concentración total de sales de la solución nutritiva, a mayor cantidad de sales, mayor conductividad eléctrica (Rios & Belarmino, 2012).

Cussi (2018) en su investigación, en periodo de bandeja flotante, indica que la conductividad eléctrica va en ascenso, esto debido a que se fue incrementando semanalmente la concentración de nutrientes en la solución nutritiva y a la mayor absorción de agua por parte de las plantas. Los registros de conductividad eléctrica muestran una mínima de 1416 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que la máxima registrada fue de 2320 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En el periodo en que las plantas permanecieron en sistema NFT la conductividad eléctrica se mantuvo entre los rangos de 1650 $\mu\text{S}/\text{cm}$ como valor mínimo y 2430 $\mu\text{S}/\text{cm}$ como máximo. El rango de conductividad eléctrica usualmente requerido para un adecuado crecimiento del cultivo, se encuentra entre un 1,5 mS/cm a 3 mS/cm. (FAO, 1996). Al respecto en trabajos de investigación realizado en la empresa Hortícolas Chui, Quispe (2018) registro fluctuaciones de la conductividad eléctrica entre 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 2600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Así también Ayala (2019) indica que la conductividad eléctrica de la solución nutritiva, fluctuó con un valor máximo de 2346 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y un valor mínimo de 1502 ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

c) **Fluctuación de la temperatura en sistema NFT**

En el gráfico 6, se observa la variación de la temperatura promedio en la solución nutritiva del tanque de 250 litros (TSN 250 l) y el tanque de 750 litros (TSN 750 l). Se puede apreciar que ambos tanques tuvieron un comportamiento casi similar, esto debido a que se encontraron en las mismas condiciones.

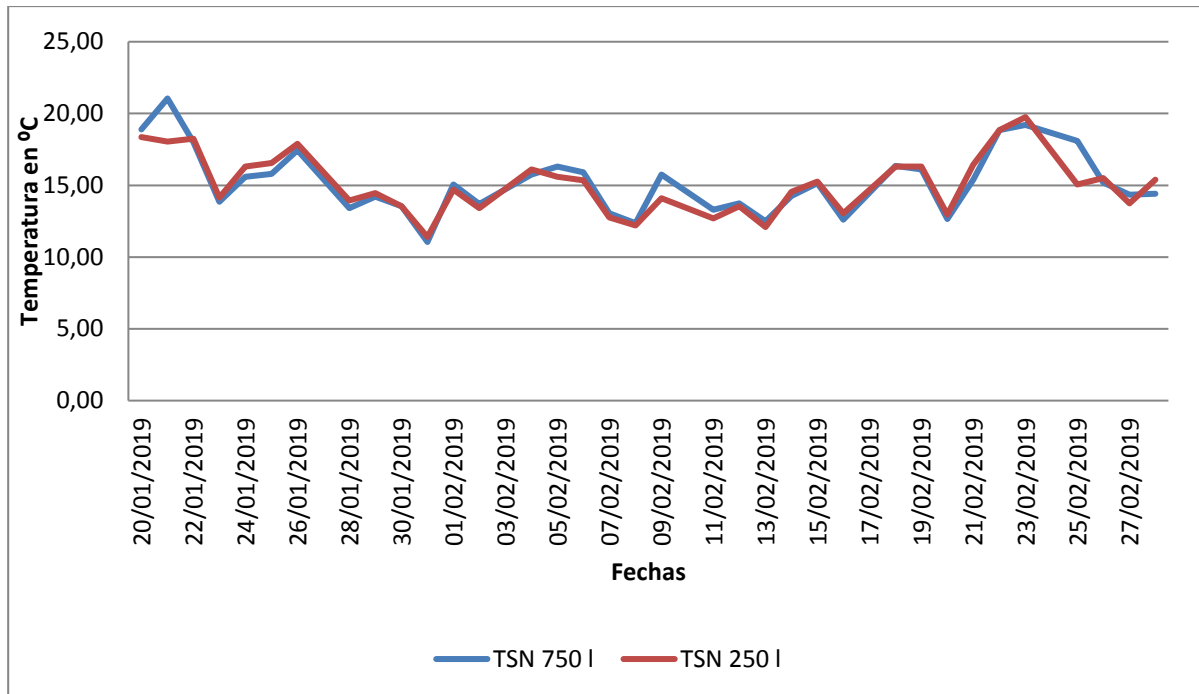


Gráfico 6: Fluctuación de la temperatura de la solución nutritiva en sistema NFT Fuente: elaboración propia.

La temperatura máxima alcanzada fue de 21,5 °C y la mínima fue de 11,4 °C. La temperatura de la solución nutritiva influye en la absorción de agua y nutrientes. La temperatura óptima para la mayoría de las plantas es aproximadamente 22 °C (Favela, Preciado, & Benavides, 2006). Al respecto Huanca (2017) en su investigación registro los siguientes valores de temperatura en su solución nutritiva. El tanque 1 con nivel 40% de KCl, presento temperaturas muy variables, obteniéndose como máximo de 30.1 °C y una mínima de 13 °C. Las temperaturas del tanque 2 con nivel 100% KCl, presento como máximo 32.2 °C y una mínima de 11.7 °C. Bajo estos rangos, las variaciones en temperatura no afectaron a la asimilación de nutrientes del cultivo en los dos niveles y en consecuencia no se observaron alteraciones ni deficiencias visibles en las plantas.

d) Fluctuación del volumen de la solución nutritiva

En el gráfico 7, se aprecia la variación del volumen de la solución nutritiva en sistema NFT. El trazo de color rojo corresponde al tanque de agua de capacidad de 1000 l en el que se

colocó 750 litros de solución nutritiva (para la elaboración del gráfico se corrigió el volumen debido a que este tanque alimentaba a 3 módulos de cultivo). El de color verde corresponde al tanque de capacidad de 300 l en el que se colocó 250 l de solución nutritiva. Se puede apreciar que las curvas son casi similares.

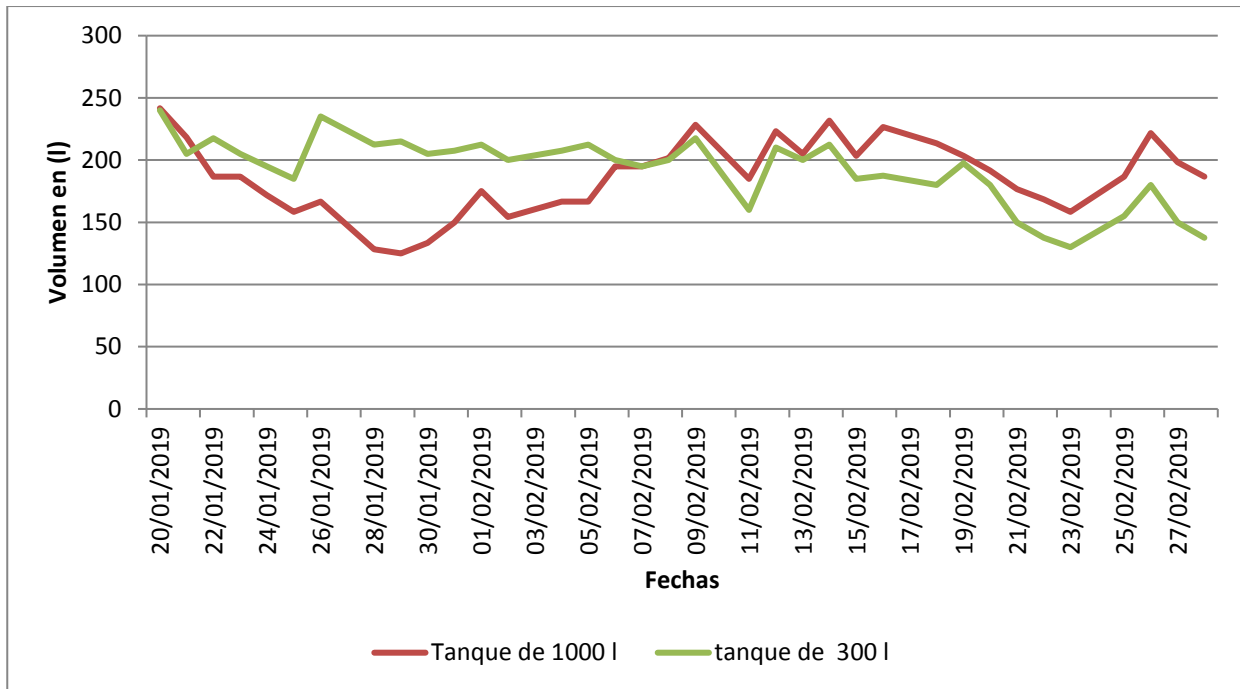


Gráfico 7: Fluctuación del volumen de la solución nutritiva Fuente: elaboración propia.

El gráfico 8 nos muestra que los volúmenes de las soluciones nutritivas tienden a disminuir más rápidamente en las últimas semanas debido a la edad fisiológica del cultivo. La etapa fenológica de mayor demanda de agua es la época de formación de cabeza. (Jaramillo, Aguilar, Tamayo, Arguello, & Arroyave, 2016).

3.2.6.2.12. Fluctuación de la temperatura ambiental

Durante todo el experimento se registraron las temperaturas máximas y mínimas que alcanzó el ambiente dentro del invernadero, esta evaluación se lo realizó con un termómetro de temperaturas altas y mínimas.

En el gráfico 8, podemos apreciar que las temperaturas más altas se registraron en el mes de diciembre, alcanzando un máximo de 42,4 °C. Casaca (2005) indica que el cultivo como

temperatura máxima puede soportar hasta los 30 °C. El promedio de las temperaturas máximas alcanzo un valor de 30,5 lo que nos indica que la temperatura máxima dentro del invernadero estuvo al margen de lo recomendado.

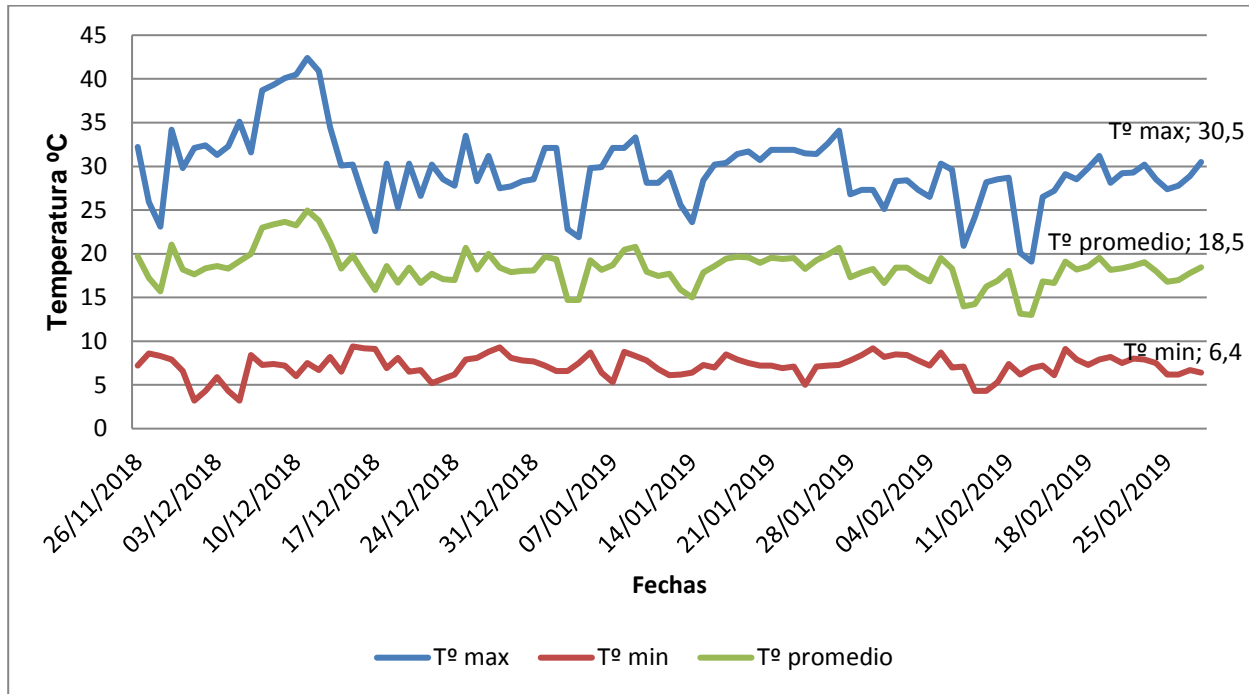


Gráfico 8: Fluctuación de la temperatura ambiental dentro del invernadero durante el periodo de investigación noviembre 2018 a febrero 2019. Fuente: elaboración propia.

En cuanto a las temperaturas mínimas el gráfico 2 nos muestra que se registró como valor más bajo los 3,2 °C. El promedio de la temperatura mínima fue de 6,4 °C lo que nos demuestra que se mantuvo por encima de la temperatura mínima recomendada. Al respecto se puede decir que el cultivo soporta como mínimo hasta -6°C (Iglesias, 2006).

Ayala (2019) en su trabajo de invitación realizado en el mismo invernadero y la misma época del año registro como temperatura máxima un valor de 41,3°C y como temperatura mínima 4,1 °C.

Asi tambien Huanca (2017) en su investigación realizada en los mismos ambientes registró fluctuaciones de temperatura entre 8,4 °C como valor mínimo y 44°C como valor máximo y afirma que estos rangos de temperatura se debieron a la época del estudio que fue

en verano, como también al modelo del invernadero. Asevera que no se observaron alteraciones de deficiencias visibles en las plantas y que la temperatura fue favorable para el crecimiento del cultivo.

3.2.6.2.13. Análisis químico de la solución nutritiva

Durante la permanencia de las lechugas en sistema NFT se procedió a tomar muestras de la solución nutritiva cada vez que se realizó su cambio. Se tomaron 200 ml a la solución nutritiva nueva y 200 ml de la solución nutritiva que ya fue utilizada. Las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Calidad Ambiental para determinar las concentraciones de los iones NO_3^- , Ca^{++} , K^+ y Na^+ .

La tabla 9 muestra el análisis químico realizado a la solución nutritiva. Se puede observar que los niveles iniciales de nitratos en la solución nutritiva inicial fueron de 229 mg/l el cual disminuyó a 226 mg/l en el tanque de 250 l y aumentó a 239 mg/l en el tanque de 750 l presentándose poca variación entre los niveles iniciales y finales.

En cuanto a la concentración de los iones de calcio en la solución nutritiva inicial se obtuvo un valor de 268 mg/l el cual incrementó a 312 mg/l en el tanque de 250 l y a 281 mg/l en el tanque de 750 l. esto se atribuye a la precipitación y acumulación que sufrió este elemento como lo indica Carita (2019), que encontró resultados similares. La absorción de Ca^{++} , el nivel uno presenta al inicio un valor de 157,40 mg/l y al finalizar registro un valor de 206,20 mg/l, respecto al nivel dos el calcio en la solución nutritiva ingreso con 171,20 mg/l finalizando con un valor de 310.00 mg/l. (Carita, 2019)

Así también Huanca (2017) en el análisis químico realizado a la solución nutritiva de su investigación observó que algunos cationes como Ca^{++} , Mg^{++} y SO_4^- se precipitaron.

Tabla 9: Análisis químico de la solución nutritiva

Parámetro	Método	Unidad	SIN	SNF 250 l	SNF 750 l
Nitratos	SM 4500-NO ₃ -B	mg N-NO ₃ /l	229	226	239
Calcio	EPA 215.1	mg/l	268	312	281
Potasio	EPA 258.1	mg/l	238	51	117
Sodio	EPA 273.1	mg/l	11	53	53

SNI: Solución nutritiva inicial; SNF 250 l: Solución nutritiva final del tanque de 250 l; SNF:

Solución nutritiva final del tanque de 750 l. Fuente: Laboratorio de Calidad Ambiental, 2019.

La concentración inicial del potasio, según el análisis de laboratorio, fue de 238 mg/l el cual disminuyó a 51 mg/l en el tanque de 250 l y a 157 mg/l en el tanque de 750 l. Al respecto, esta misma disminución en la concentración del potasio encontró Huanca (2017) en su investigación, indicando que, al inicio la concentración de potasio presentó un valor de 189 (mg/l) y al final disminuyó a 126,6 (mg/l), este rango hace suponer que hubo posibilidad de su aprovechamiento para suplementar nutricionalmente a la planta para su desarrollo. Por su parte Ayala (2019) indica que la concentración del potasio en la solución nutritiva para el nivel "1" al inicio presentó un valor de 140 (mg/L) y al final disminuyó a 80 (mg/L), este comportamiento nos indica que la planta tuvo un aprovechamiento en la absorción de este elemento para su desarrollo. Para el nivel "2" presentó 160 (mg/L) al inicio y al final 110 (mg/L). Estos valores nos muestran que hubo una disminución en la concentración de potasio presente en la solución nutritiva.

Los niveles de sodio aumentaron de 11 mg/l en la solución nutritiva inicial a 53 mg/l esto debido a que el ajuste del pH se lo realizó añadiendo bicarbonato de sodio provocando un incremento en la concentración de sodio dentro la solución nutritiva.

3.2.6.2.14. Monitoreo del cultivo

a) Monitoreo del cultivo en bandeja flotante

Para monitorear el desarrollo del cultivo en bandeja flotante se tomó muestras a las que se les midió las variables agronómicas número de hojas y altura de planta. Las mediciones se las realizó una vez a la semana hasta que fueron trasplantadas a sistema NFT.

b) Monitoreo del cultivo en sistema NFT

El monitoreo del cultivo en sistema NFT se desarrolló midiendo las variables altura de plantas y número de hojas a las plantas muestreadas de cada unidad experimental. Esta medición se la realizó una vez a la semana hasta el día de la cosecha.

En la cosecha se midieron todas las variables de respuesta, pertinentes al trabajo de investigación, de las plantas tomadas como muestra en cada unidad experimental. Las variables que se consideraron en el ensayo de campo fueron: altura de planta, número de hojas, diámetro de tallo, longitud de raíz, peso de planta, volumen de raíz, área foliar y rendimiento. Esta actividad se puede observar en el anexo 13.

3.2.6.2.15. Cosecha y comercialización

a) Cosecha

Para a cosecha se retiraron las lechugas de los canales de cultivo, posteriormente se procedió con el recorte de las raíces, el lavado de toda la planta y el empaquetado, esta actividad se puede observar en el anexo 14.

b) Comercialización

Al finalizar todas las cosechas se obtuvieron 376 paquetes que fueron comercializados en los supermercados Ketal, de la avenida Arce y Mega Center de la ciudad de La Paz, 96 lechugas fueron comercializadas en el mercado informal esto debido a que no alcanzaron los estándares de calidad.

3.2.6.3. Variables de respuesta

3.2.6.3.1. Altura de planta (cm)

Con una cinta métrica se midió, en centímetros, la distancia desde el cuello de la planta hasta el ápice de la hoja más grande, la medición se realizó a las 7 plantas muestreadas de cada una de las unidades experimentales. Para realizar el monitoreo del cultivo esta variable de respuesta fue medida cada semana para el análisis en el último día.

3.2.6.3.2. Número de hojas (N°)

Mediante conteo directo se determinó la cantidad de hojas de cada una de las 112 plantas muestreadas en el experimento. Con la finalidad de monitorear el desarrollo del cultivo se realizaron mediciones de esta variable cada semana hasta el día de la cosecha.

3.2.6.3.3. Diámetro de tallo (cm)

Con un vernier se midió, en centímetros, el diámetro del tallo cerca al cuello de la planta, la medición se realizó el día de la cosecha a cada una de las 7 plantas muestreadas en cada unidad experimental.

3.2.6.3.4. Longitud de raíz (cm)

Para determinar la longitud de raíz se empleó una regla. Se midió la distancia, en centímetros, entre el cuello de la planta y la punta de la raíz más larga. Esta variable se determinó en la cosecha de 112 plantas que fueron tomadas como muestra.

3.2.6.3.5. Peso de planta (g)

Durante la cosecha con una balanza electrónica, se procedió a medir, en gramos, las 112 lechugas tomadas como muestra en las unidades experimentales de la presente investigación.

3.2.6.3.6. Volumen de la raíz (ml)

El volumen de raíz se determinó con la ayuda de un vaso de precipitado, graduado en mililitros, tomando un volumen conocido de agua se sumergió la totalidad de las raíces, el volumen incrementado fue registrado como el volumen de raíz. La medición de esta variable de

respuesta se la realizó el día de la cosecha a 112 plantas tomadas como muestra en el experimento.

3.2.6.3.7. Área fotosintética (cm²)

Para medir el área fotosintética, el día de la cosecha, se procedió a tomar fotografías de cada una de las 112 plantas muestreadas, posteriormente mediante el software de procesamiento digital de imágenes ImageJ, se procedió a calcular el área fotosintética en cm². Este procedimiento se puede apreciar en el anexo 15.

3.2.6.3.8. Rendimiento por unidad de superficie (kg/m²)

Para determinar el rendimiento se pesaron cada una de las 7 plantas muestreadas en cada unidad experimental, de ellas se calculó la media estadística la cual se multiplicó por el número de plantas que se obtienen en 1 m². En el sistema hidropónico NFT piramidal, utilizado en el presente experimento, se tiene un promedio de 24 lechugas por metro cuadrado. Los resultados del rendimiento se expresaron en kg/m².

3.2.6.4. Análisis económico

El análisis económico para establecer el tratamiento más rentable se lo realizó utilizando la metodología del programa de economía agrícola del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Esto debido a que este método utiliza presupuestos parciales los cuales no incluye todos los costos de producción solo los que son afectados por los tratamientos alternativos considerados, centrandose su atención en los efectos de las nuevas tecnologías que se estén implementando.

Además del análisis económico de costos parciales del CIMMYT se realizó un análisis de rentabilidad utilizando la relación beneficio costo, para lo que se consideró los costos totales de producción, esto con la finalidad de determinar si la actividad de producir lechuga hidropónica es económicamente rentable.

3.2.6.4.1. Costos que varían (Bs)

Para iniciar el análisis económico de la presente investigación se calculó los costos que varían con cada tratamiento. Los costos que varían son los costos relacionados con los insumos comprados, la mano de obra y la maquinaria, que variaran de un tratamiento a otro (CIMMYT, 1988). El resto de costos no se ven afectados por la decisión de usar un tratamiento en particular, y permanecen constantes por esta razón se denominan costos fijos (Reyes, 2001).

3.2.6.4.2. Costos fijos (Bs)

El cálculo de los costos fijos se realizó sumando todos los costos de los insumos necesarios para la producción de lechuga hidropónica utilizando la técnica NFT piramidal. Se consideró como costos fijos a todos aquellos que permanecieron constantes y no cambiaron de un tratamiento a otro.

3.2.6.4.3. Rendimiento ajustado (kg/m²)

Se ajustó los rendimientos obtenidos por cada tratamiento. El CIMMYT, (1988) considera adecuado un ajuste total que va del 5 al 30%. En el presente experimento se redujo los rendimientos alcanzados en un 10% tomando en cuenta que los rendimientos experimentales suelen ser mucho más altos.

$$Rend\ Ajustado = Rend\ Experimental * (1 - tasa\ de\ ajuste)$$

3.2.6.4.4. Beneficio bruto (Bs/m²)

El beneficio bruto se calculó multiplicando el precio del producto por el rendimiento ajustado.

$$BB_i = PQ * Rend\ Ajustado$$

Donde:

BB_i: es el beneficio bruto del i-ésimo tratamiento

PQ: es el precio del producto

3.2.6.4.5. Beneficios netos (Bs/m²)

El beneficio neto se calculó restando el total de los costos que varían del beneficio bruto, para cada tratamiento.

$$BN_i = BB_i - CV_i$$

Donde:

BN_i: es el beneficio neto de del i-esimo tratamiento

BB_i: es el beneficio bruto de del i-esimo tratamiento

CV_i: es el costo que varía del i-esimo tratamiento

3.2.6.4.6. Análisis de dominancia

Para realizar el análisis de dominancia se ordenó los tratamientos de menor a mayor considerando los costos totales que varían. Se identificó a los tratamientos dominados, con la letra D, quedando excluidos de las consideraciones posteriores. Un tratamiento es dominado cuándo tiene beneficios netos menores o iguales a los de un tratamiento de costos que varían más bajos.

3.2.6.4.7. Costos totales

El cálculo de los costos totales de producción se lo realizo sumando los costos que varían de cada tratamiento con los costos fijos.

$$CT_i = CV_i + CF$$

Donde:

CT_i: es el costo total de producción del i-esimo

CV_i: es el costo que varía del i-esimo tratamiento

CF: son los costos fijos

3.2.6.4.8. Relación beneficio costo

La relación beneficio costo se calculó dividiendo los beneficios brutos sobre los costos totales de producción.

$$B/C = \frac{BB_i}{CT_i}$$

Donde:

B/C: es la relación beneficio costo

BB_i: es el beneficio bruto de del i-esimo tratamiento

CT_i: es el costo total de producción del i-esimo tratamiento

3.2.6.4.9. Costo unitario

El costo unitario de producción se calculó dividiendo los costos totales de producción de cada tratamiento por el total de unidades producidas.

$$CU_i = \frac{CT_i}{TU}$$

Donde:

CU_i: es el costo unitario

CT_i: es el costo total de producción

TU: es el total de unidades

IV. SECCIÓN PROPOSITIVA

4.1. Aspectos propositivos del trabajo dirigido

Con la implementación de la tecnología libre, tanto hardware como software, de Arduino se implementó un sistema NFT automatizado para la producción de dos variedades de lechuga. Según los resultados obtenidos se puede proponer esta nueva tecnología como una nueva alternativa ya que se demostró que no existió diferencias significativas en comparación con la tecnología de automatización tradicional.

El uso de esta nueva tecnología contribuirá en gran medida al desarrollo de nuevos sistemas de automatización debido a que Arduino cuenta con una gama amplia de sensores como ser: sensores de temperatura, sensores de pH, sensores de radiación solar, sensores de humedad ambiental, sensores de humedad de suelo, entre otros, lo que permitiría controlar una amplia gama de parámetros.

4.2. Análisis de resultados

4.2.1. Variables agronómicas

4.2.1.1. Altura de planta (cm)

El análisis de varianza para la variable de respuesta altura de planta se muestra en la tabla 10. El efecto del bloque es significativo, lo que nos indica que el diseño gana precisión porque es eficiente ya que la distancia, respecto al nivel del suelo, a la que se encontraron los diferentes canales de cultivo influyó en la altura que alcanzaron las plantas. Para la fuente de variación tipo de automatización no se presentaron diferencias significativas, demostrando que esta variable no influyó en el crecimiento de las plantas. En cuanto al factor de estudio variedad, el resultado fue altamente significativo lo que demuestra que existió una diferencia de altura de planta entre las dos variedades de lechuga. Finalmente, el análisis estadístico nos revela que no existió una interacción entre los factores de estudio.

Tabla 10: Análisis de varianza para la variable de respuesta altura de planta al momento de la cosecha

F. V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Bloque	9,71	3	3,24	6,25	0,014 *
Automatización	0,01	1	0,01	0,01	0,9193 NS
Variedad	12,43	1	12,43	23,99	0,0008 **
Automatización*Variedad	0,53	1	0,53	1,02	0,34 NS
Error	4,66	9	0,52		
Total	27,33	15			

C V = 3,29

NS: No significativo; *: Significativo; **: Altamente significativo; CV: Coeficiente de variación

El coeficiente de variación obtuvo un valor de 3,29 lo que nos indica que hubo un buen manejo de las unidades experimentales y que los datos son confiables.

Al realizar la prueba de medias Duncan para tipo de variedad se puede apreciar que la variedad *Kristine* obtuvo una mayor altura de planta con una media de 22,78 cm la variedad *Crocantela* obtuvo 21,01 cm.

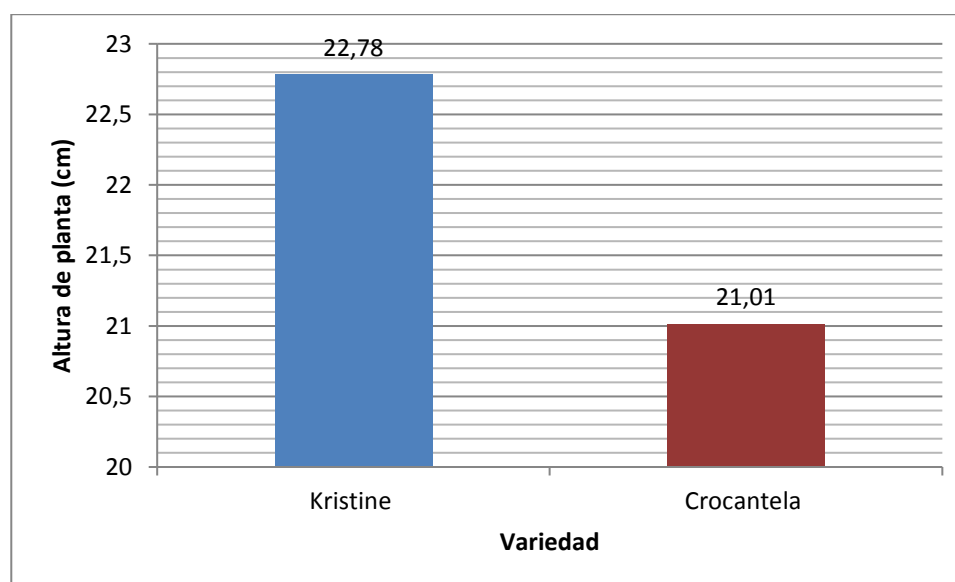


Gráfico 9: Altura de planta alcanzado por dos variedades de lechuga al momento de la cosecha

Cussi (2018) en su investigación en la que determino el caudal mínimo de riego para la producción óptima de lechuga en un sistema NFT con la variedad Crocantela obtuvo una media de 18,32 cm de altura de planta.

Asi tambien Andrade, (2022) en su trabajo de investigacion, en la que evaluo la viabilidad de la reutilizacion de la solucion nutritiva, encontro que la variedad Invicta demostró una altura de 20,03 cm y la variedad Kristine con 19,69 cm. Esto hace referencia a que cada variedad lleva consigo una diferencia morfológica como también exigencia ambiental.

Carita (2019), evaluando niveles de nitrogeno en el cultivo de lechuga obtubo los siguientes valores, para la altura de la planta, bajo la influencia del nivel uno en la variedad Crocantela de 23 cm y la variedad Romanela de 30 cm, bajo la influencia del nivel dos la variedad Crocantela registro 22 cm y variedad Romanela 32 cm de altura.

Ayala (2019), en su trabajo de investigación en el que evaluó dos niveles de cloruro de potasio en el cultivo de dos variedades de lechuga, Rubinela y Crocantela, en sistema NFT pudo evidenciar que si hubo diferencia altamente significativa entre variedades. Esta diferencia se debe al genotipo y a la interacción genotipo-ambiente y así mismo podría ser debido a que los requerimientos nutricionales, varían de una variedad a otra.

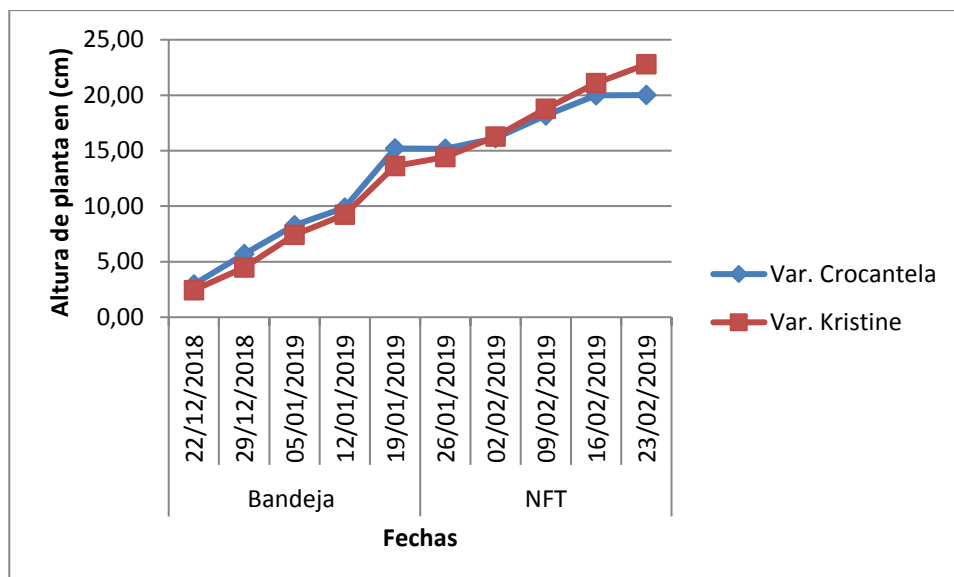


Gráfico 10: Altura de planta de dos variedades de lechuga durante el periodo de ensayo (diciembre 2018 – febrero 2019) Fuente: elaboración propia.

El gráfico 10, nos muestra la ganancia en altura de las plantas por semana, se aprecia que la diferencia de alturas, entre las variedades, se produjo en las tres últimas semanas.

4.2.1.2. Número de hojas (N°)

El análisis de varianza realizado para la variable de respuesta número de hojas se muestra en la tabla 11. Podemos apreciar que para el efecto de bloque el resultado fue significativo, por tanto, la altura a la que se ubicaron los canales de cultivo influyo en la cantidad de hojas que lograron alcanzar las plantas. En cuanto al tipo de automatización el resultado fue no significativo, revelando que esta fuente de variabilidad no influyo en la cantidad de hojas que llegaron a obtener las plantas. Para variedad el resultado fue altamente significativo, por tanto, existió una diferencia entre las variedades de lechuga en la cantidad de las hojas por planta que alcanzaron a tener al momento de la cosecha. Finalmente, la tabla 11, nos muestra que no hubo interacción entre los factores de estudio.

Tabla 11: Análisis de varianza para la variable de respuesta número de hojas al momento de la cosecha

F. V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Bloque	8,19	3	2,73	5,38	0,0213 *
Automatización	0,56	1	0,56	1,11	0,3196 NS
Variedad	33,06	1	33,06	657	<0,0001 **
Automatización*Variedad	0,56	1	0,56	1,11	0,3169 NS
Error	4,56	9	0,51		
Total	346,94	15			

C V = 4,20

NS: No significativo; *: Significativo; **: Altamente significativo; CV: Coeficiente de variación

El valor del coeficiente de variación fue de 4,20 este valor nos indica que existió un buen manejo de las unidades experimentales ya que se encuentra en los rangos permisibles.

Al realizar la prueba de significancia Duncan para variedad, se determinó que la variedad que obtuvo un mayor número de hojas por planta fue la *Kristine* con un promedio de 22 hojas, la variedad *Crocantella* alcanzo una media de 12 hojas por planta.

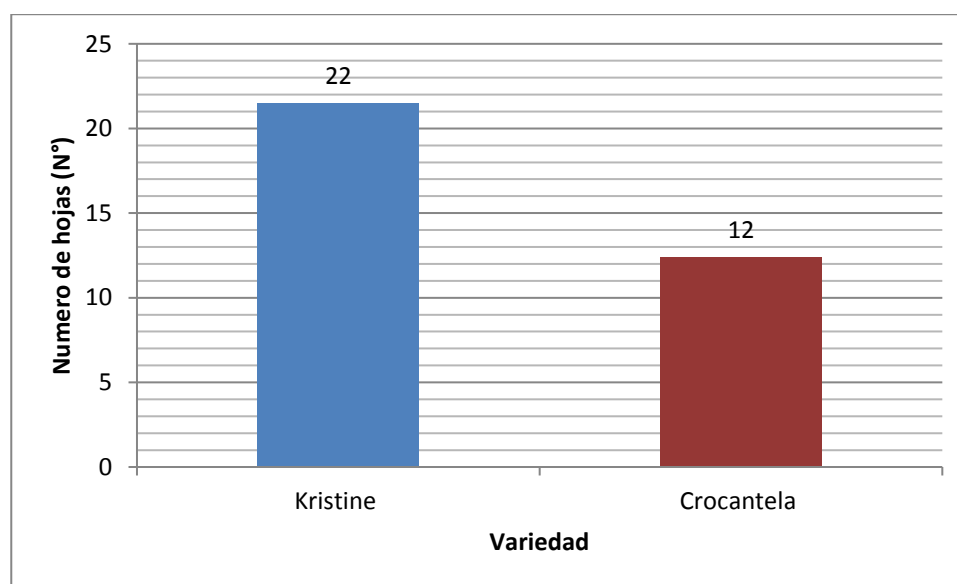


Gráfico 11: Numero de hojas alcanzado por cada variedad al momento de la cosecha

Huanca (2017) que experimento con niveles de cloruro de potasio en dos variedades de lechuga obtuvo un promedio de 11 hojas por planta para la variedad Crocantela. La diferencia en el número de hojas por planta se debe a las características propias de cada variedad.

Cussi (2018), en su investigación indica que en cuanto a variedades las medias son de 15.39 hojas para la variedad 2 “Brunela” y 14.08 hojas para la variedad 1 “Crocantela”.

Andrade (2022) que trabajo con la variedad Kristine en su trabajo de investigación indica que la solución nutritiva reciclada presenta mayor número de hoja, con 23 hojas en comparación a la solución nutritiva no reciclada que presentó un menor número de hojas igual a 21.

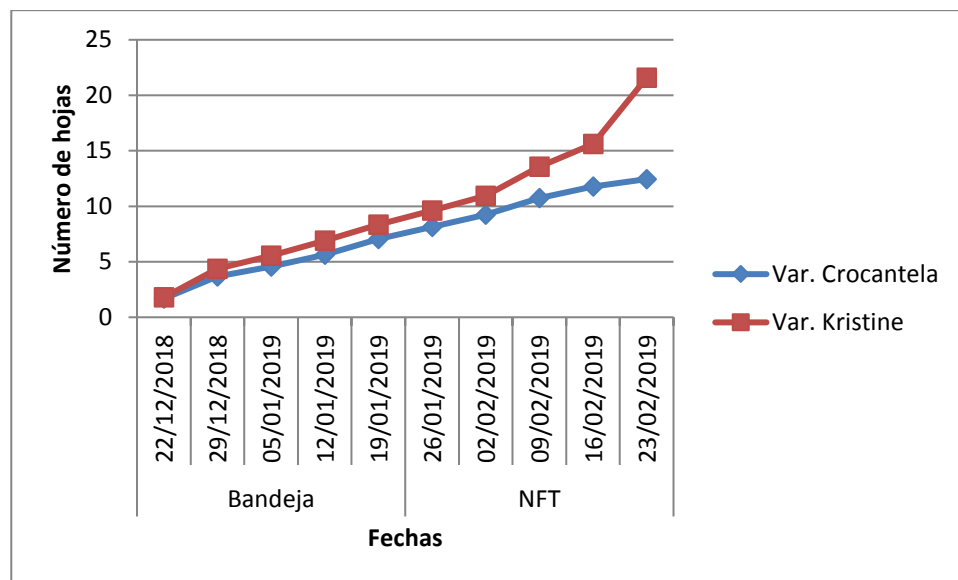


Gráfico 12: Número de hojas de dos variedades de lechuga durante el periodo de ensayo (diciembre 2018 – febrero 2019) Fuente: elaboración propia.

El gráfico 12, nos muestra la ganancia de hojas por semana, se puede observar que la diferencia en el número de hojas, entre las variedades, es más evidente en el periodo en que las plantas estuvieron en sistema NFT.

4.2.1.3. Diámetro de tallo (cm)

La tabla 12, nos muestra el análisis de varianza realizado para la variable de respuesta diámetro de tallo. Se puede observar que el resultado para bloques fue altamente significativo,

demostrando que existió una influencia debido a las diferentes alturas a las que se instalaron los canales de cultivo. Para automatización el resultado fue no significativo, por tanto, no existió una influencia del tipo de automatización en el diámetro de tallo que alcanzaron las plantas. Para variedad el resultado nos muestra que hay diferencia altamente significativa en los diámetros de tallo entre las variedades de lechuga. En cuanto a la interacción el resultado fue altamente significativo, existiendo una interacción entre los dos factores de estudio, los factores no son independientes en el diámetro de tallo.

Tabla 12: Análisis de varianza para la variable de respuesta diámetro de tallo al momento de la cosecha

F. V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Bloque	0,12	3	0,04	9,84	0,0033 **
Automatización	0,02	1	0,02	3,95	0,0782 NS
Variedad	0,68	1	0,68	171,95	<0,0001 **
Automatización*Variedad	0,05	1	0,05	12,79	0,006 **
Error	0,04	9	4,00E-03		
Total	0,9	15			
C V = 4,64					

NS: No significativo; *: Significativo; **: Altamente significativo; CV: Coeficiente de variación

El coeficiente de variación alcanzo un valor de 4,64, por tanto, se puede decir que los datos obtenidos son confiables.

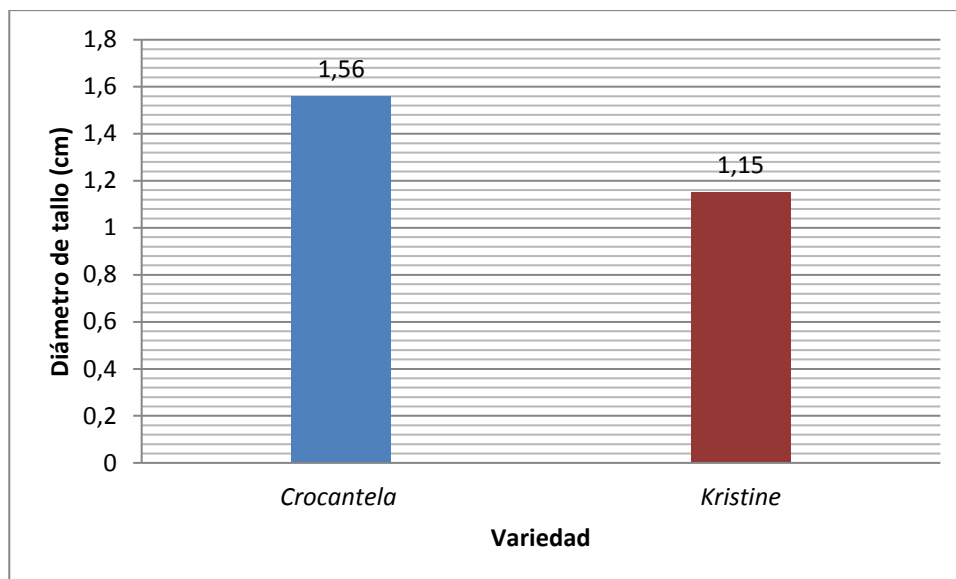


Gráfico 13: Diámetro de tallo alcanzado por dos variedades de lechuga al momento de la cosecha

Según la prueba de medias Duncan, al 5%, la variedad *Crocantela* obtuvo la media más alta con un valor de 1,56 cm de diámetro de tallo, diferenciándose de la variedad *Kristine* que obtuvo un diámetro de tallo menor con un promedio de 1,15 cm, grafico 15. Esto se atribuye a que ambas variedades son genéticamente distintas, ya que estadísticamente el tipo de automatización no tuvo una influencia significativa y las condiciones ambientales y nutricionales fueron las mismas para ambas.

Andrade (2022), nos indica que, para las variedades de lechugas, siendo mayor en la variedad *Invicta* (2,90 mm) y menor en la variedad *Kristine* (2,45 cm).

Apaza (2022), que evalúo los efectos de las relaciones cationicas en el cultivo de lechuga en la variable de respuesta diámetro de tallo indica que estadísticamente existe una diferencia entre variedades, siendo la variedad *Woldmann's Green* la que alcanzo el mejor promedio con un valor de 1,85 cm y la variedad *Kristine* con un menor promedio de 1,62 cm.

4.2.1.4. Longitud de raíz (cm)

El análisis de varianza para la variable de respuesta longitud de raíz (tabla 13) nos muestra resultados no significativos para todas las fuentes de variabilidad, lo que nos indica que ninguna de éstas influyó de manera significativa para lograr una mayor longitud de raíz.

Tabla 13: Análisis de varianza para la variable de respuesta longitud de raíz al momento de la cosecha

F. V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Bloque	10,12	3	3,37	0,32	0,8135 NS
Automatización	28,62	1	28,62	2,68	0,1359 NS
Variedad	0,00	1	0,00	0,00	>0,9999 NS
Automatización*Variedad	4,00	1	4,00	0,37	0,5555 NS
Error	96,03	9	10,67		
Total	138,78	15			

C V = 11,51

NS: No significativo; *: Significativo; **: Altamente significativo; CV: Coeficiente de variación

4.2.1.5. Peso fresco de planta (g)

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de varianza realizado para la variable de respuesta peso fresco de planta (tabla 14) se puede afirmar lo siguiente: la altura a la que se ubicaron los canales de cultivo influyo en la ganancia de peso de las plantas, el tipo de automatización no influyo de una manera significativa en el peso que obtuvieron las plantas, el tipo de variedad de lechuga si influyó en el peso alcanzado por planta y finalmente no existió una interacción entre los factores de estudio.

Tabla 14: Análisis de varianza para la variable de respuesta peso fresco de planta

F. V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Bloque	2681,25	3	893,75	6,45	0,0127 *
Automatización	4,00	1	4,00	0,03	0,8688 NS
Variedad	2916,00	1	2916,00	21,06	0,0013 **
Automatización*Variedad	6,25	1	6,25	0,05	0,8365 NS
Error	1246,25	9	138,47		
Total	6853,75	15			

C V = 6,97

NS: No significativo; *: Significativo; **: Altamente significativo; CV: Coeficiente de variación

El coeficiente de variabilidad alcanzó un valor de 6,97 lo que indica que los datos del análisis estadístico son confiables por encontrarse dentro del rango permisible.

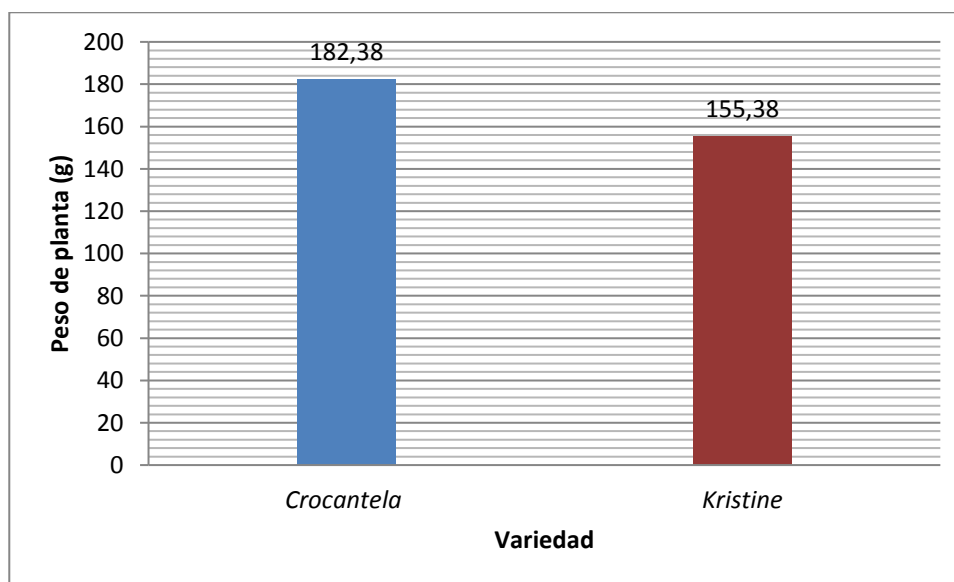


Gráfico 14: Peso de planta alcanzado por dos variedades de lechuga al momento de la cosecha

El test Duncan realizado para variedad muestra que la lechuga *Crocantela* obtuvo como peso promedio 182,38 gramos en cambio la variedad *Kristine* obtuvo un promedio de 155,38 gramos en el peso de las lechugas, Gráfico 14. Al respecto Ayala (2019) en su trabajo de investigación en el que evaluó dos niveles de cloruro de potasio con las variedades Rubinela y

Crocantela encontró diferencia altamente significativa entre variedades respecto al peso fresco de la planta con valores de 248,5 g para la variedad Crocantela y 151,75 g para la variedad Rubinela. Así también Huanca (2017) en su investigación indica que la variedad Crocantela mostro un promedio superior con un valor de 250 g/planta a comparación de Romalela que obtuvo el menor promedio con un valor de 183 g/planta, esta diferencia posiblemente se deba a la variedad misma del cultivo.

Andrade (2022) en los resultados de su investigación para esta variable de respuesta indica que, para las variedades de lechugas, se encontró un valor mayor en la variedad Invicta (196,27 gr) y menor en la variedad Kristine (192,46 gr).

4.2.1.6. Volumen de raíz (ml)

La tabla 15, nos muestra el análisis de varianza de la variable de respuesta volumen de raíz. El resultado para bloques fue no significativo por tanto la altura a la que se encontraron ubicados los canales de cultivo no influyo de una manera significativa en el volumen de raíz alcanzado por las plantas. Para tipo de automatización el resultado fue no significativo lo que indica que el tipo de automatización utilizado en el experimento no influyo en el volumen de raíz de las plantas. El resultado para variedad fue significativo por lo que el tipo de variedad si influyo en el volumen de raíz. El ANVA nos muestra que no existió interacción entre los factores de estudio.

Tabla 15: Análisis de varianza para la variable de respuesta volumen de raíz al momento de la cosecha

F. V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Bloque	117,69	3	39,23	3,25	0,0739 NS
Automatización	5,06	1	5,06	0,42	0,5333 NS
Variedad	68,06	1	68,06	5,64	0,0415 *
Automatización*Variedad	7,56	1	7,56	0,63	0,4488 NS
Error	108,56	9	12,06		
Total	306,94	15			

C V = 9,37

NS: No significativo; *: Significativo; **: Altamente significativo; CV: Coeficiente de variación

Al realizar la prueba de medias Duncan al 5%, para variedad, se puede apreciar que las dos variedades fueron categorizadas significativamente, la variedad *Crocantela* fue la que obtuvo un mayor promedio en el volumen de raíz alcanzando 39,13 ml, la variedad *Kristine* alcanzo una media de 35,00 ml, gráfico 15.

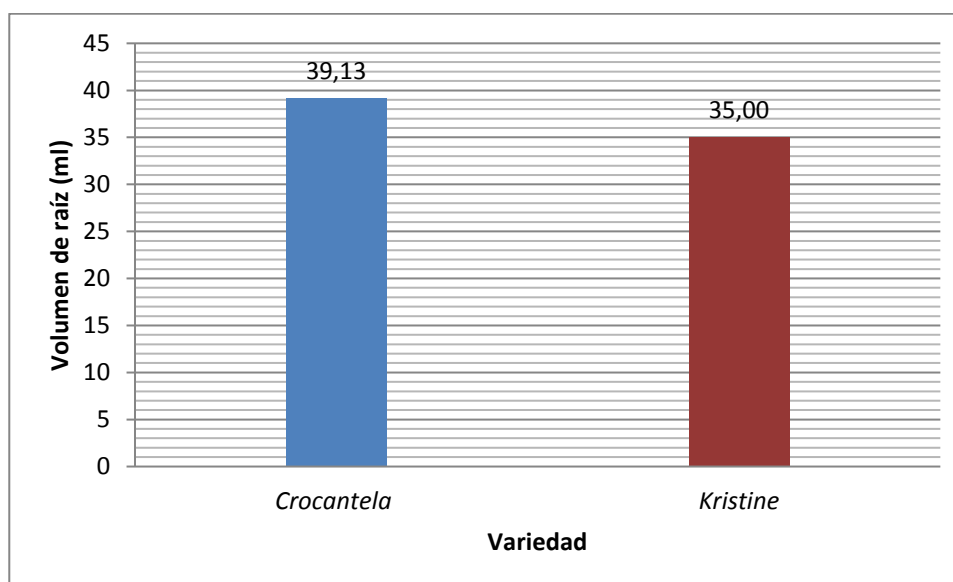


Gráfico 15: Volumen de raíz alcanzado por dos variedades de lechuga al momento de la cosecha

Cussi (2018), en su trabajo de investigación indica que, para el factor variedad si se obtuvo una diferencia altamente significativa, siendo la variedad 1 “Crocantela” la que obtuvo un mayor volumen de raíz con valores de 37,22 cm³ y 27,78 cm³ mientras que la variedad “Brunela” presento los valores más bajos, con 20,05 cm³ y 16,11 cm³. A si también menciona que la variación entre variedades en cuanto a volumen de raíces se debe al factor genético, considerando que las condiciones ambientales y nutricionales fueron similares para ambas variedades.

Andrade (2022) En su investigación menciona que, el mejor volumen de raíz en promedio pertenece a la variedad Invicta demostró 33,74 cm³, entre tanto la variedad Kristine presentó un promedio de 28,36 cm³

Apaza (2022) en su investigación encontró que la variedad Kristine alcanzo un valor promedio de 32.29 cm³ y la variedad Woldmann’s Green logro un promedio de 29.89 cm³ en cuanto a volumen de pan de raíz.

4.2.1.7. Área fotosintética (cm²)

El análisis de varianza realizado para la variable de respuesta área foliar (tabla 16) nos muestra que ninguna de las fuentes de variabilidad influyo de una manera significativa en la ganancia de área foliar de las plantas.

Tabla 16: Análisis de varianza para la variable de respuesta área fotosintética

F. V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Bloque	9134,19	3	3044,73	0,50	0,6862 NS
Automatización	3813,06	1	3813,06	0,63	0,4474 NS
Variedad	2047,56	1	2047,56	0,34	0,5748 NS
Automatización*Variedad	351,56	1	351,56	0,06	0,8148 NS
Error	54387,56	9	6043,06		
Total	69733,94	15			

CV = 8,53

NS: No significativo; *: Significativo; **: Altamente significativo; CV: Coeficiente de variación

4.2.2. Rendimiento (Kg/m²)

El ANVA realizado para la variable de repuesto rendimiento (tabla 17) nos muestra que para bloques el resultado fue significativo por lo cual la altura a la que se encontró los canales de cultivo si influyo en el rendimiento. El tipo de automatización no influyo de una manera significativa en el rendimiento del cultivo. Para variedad el resultado fue altamente significativo existiendo una influencia de la variedad de lechuga. No existió una interacción entre los factores de estudio.

Tabla 17: Análisis de varianza para la variable de respuesta para rendimiento

F. V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Bloque	1,56	3	0,52	6,44	0,0128 *
Automatización	2,50E-03	1	2,50E-03	0,03	0,8650 NS
Variedad	1,7	1	1,70	20,96	0,0013 **
Automatización*Variedad	4,00E-03	1	4,00E-03	0,05	0,8290 NS
Error	0,73	9	0,08		
Total	3,99	15			

C V = 7,02

NS: No significativo; *: Significativo; **: Altamente significativo; CV: Coeficiente de variación

El coeficiente de variación fue de 7,02, lo que nos indica que existió un buen manejo de las unidades experimentales por lo que los datos son confiables.

La prueba de medias Duncan al 5% para variedad, nos indica que la variedad *Crocantela* obtuvo el rendimiento más alto con un valor de 4,38 kg/m² y la variedad *Kristine* el rendimiento más bajo con un valor de 3,73 kg/m², el gráfico 16, nos muestra las medias obtenidas por cada variedad. Esta diferencia se debe a que la variedad *Crocantela* presenta hojas más grandes y gruesas respecto a la variedad *Kristine* que es de hojas delgadas y medianas. Ayala (2019), en su trabajo de investigación nos indica que el mejor rendimiento obtenido fue de la variedad *Crocantela* a comparación de la variedad *Rubinela*, atribuye que esto se debió a las características genéticas de cada variedad, ya que la variedad *Crocantela* es de porte alto mientras que la variedad *Rubinela* es de porte bajo.

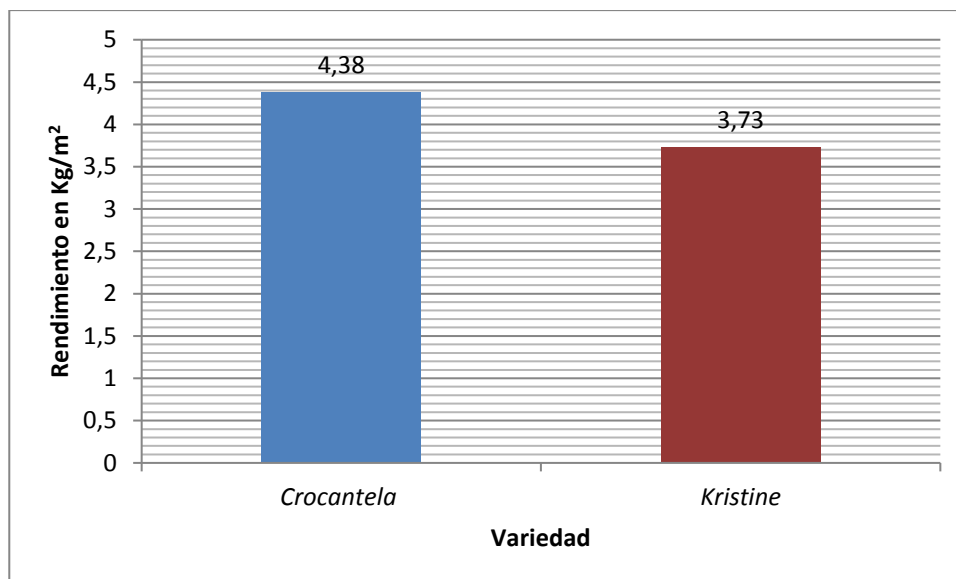


Gráfico 16: Rendimiento alcanzado por dos variedades de lechuga al momento de la cosecha

Ayala (2019), en su trabajo de investigación nos indica que el mejor rendimiento obtenido fue de la variedad Crocantela a comparación de la variedad Rubinela, atribuye que esto se debió a las características genéticas de cada variedad, ya que la variedad Crocantela es de porte alto mientras que la variedad Ruvinela es de porte bajo.

Andrade (2022) indica que la variedad Invicta presento mayor rendimiento con 4,70 Kg/m² y la variedad kristine presento un rendimiento de 4,55 Kg/m².

Apaza (2022) en su trabajo de investigacion mencioana que, la variedad Kristine reporta un mayor rendimiento con 5 kg/m² con respecto a la variedad Woldmann's Green que obtiene un menor rendimiento con 4.76 kg/m²

4.2.3. Análisis económico

4.2.3.1. Costos que varían con cada tratamiento (Bs)

La tabla 18 muestra los costos que varían con cada tratamiento. Se puede apreciar que los tratamientos 3 y 4 obtuvieron los costos más bajos con valores de 360,39 Bs y 384,89 Bs respectivamente, esto debido a que el sistema de automatización controlado por la placa

Arduino uno tiene los precios más bajos en sus componentes respecto al sistema de automatización controlado por dos temporizadores digitales AHC-15.

Tabla 18: Total de costos que varían por tratamiento

	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
Total, de costos que varían en (Bs)	673,76	698,26	360,39	384,89
Total, de costos que varían en (Bs/m ²)	23,39	24,25	12,51	13,36

El total de los costos que varían fue dividido sobre el área que ocupa una pirámide del sistema NFT, que es de 28,8 m², esto con la finalidad de obtener los costos que varían por metro cuadrado. El detalle de los costos que varían por tratamiento se muestra en el anexo 16.

4.2.3.1. Rendimiento medio por tratamiento (Kg/m²)

En la tabla 19 podemos observar los rendimientos medios obtenidos por cada tratamiento. Se aprecia que los tratamientos 1 y 3, correspondientes a la variedad *Crocantela*, fueron los que obtuvieron los rendimientos más altos con un promedio de 4,35 kg/m² y 4,41 kg/m² respectivamente.

Tabla 19: Rendimientos medios alcanzados por cada tratamiento

Tratamiento	Rendimiento	Unidad
T 1	4,35	kg/m ²
T 2	3,73	kg/m ²
T 3	4,41	kg/m ²
T 4	3,72	kg/m ²

4.2.3.2. Rendimiento ajustado (kg/m²)

Se redujo el rendimiento medio de cada tratamiento en un 10% según la recomendación del CIMMYT, la tabla 20 nos muestra los rendimientos ajustados.

Tabla 20: Rendimientos ajustados

Rendimientos	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
Rendimiento medio en (kg/m ²)	4,35	3,73	4,41	3,72
Rendimiento ajustado (kg/m ²)	3,91	3,36	3,97	3,35

4.2.3.3. Beneficio bruto (Bs/m²)

El beneficio bruto se calculó multiplicando el precio del producto por el rendimiento ajustado, para el cálculo del precio del producto se consideró que al finalizar todas las cosechas se obtuvieron 376 paquetes que fueron comercializados en supermercados a 2444 Bs y 96 lechugas que fueron comercializadas en el mercado informal a 160 Bs adquiriéndose un total de 2604 Bs, este valor se dividió sobre el peso total, calculado, de lechugas que fue de 113,49 kg, obteniéndose un precio del producto de 18,15 Bs/kg.

Tabla 21: Beneficio bruto obtenido por cada tratamiento

	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
Rendimiento medio (kg/m ²)	4,35	3,73	4,41	3,72
Rendimiento ajustado (kg/m ²)	3,91	3,36	3,97	3,35
Precio del producto (Bs/kg)	18,15	18,15	18,15	18,15
Beneficio Bruto (Bs/ m ²)	71,04	60,92	71,97	60,81

4.2.3.4. Beneficio neto por tratamiento (Bs/m²)

La tabla 22 muestra los beneficios netos que se obtuvieron con cada tratamiento, se puede apreciar que el tratamiento 3 obtuvo los mayores beneficios netos seguido del tratamiento 1 con valores de 59,45 Bs/m² y 47,65 Bs/m² respectivamente, los tratamientos 4 y 2 obtuvieron lo beneficios netos más bajos con valores de 47,44 Bs/m² y 36,68 Bs/m² respectivamente.

Tabla 22: Benéfico neto obtenidos por cada tratamiento

	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
Beneficio Bruto (Bs/ m ²)	71,04	60,92	71,97	60,81
Total, de costos que varían (Bs/ m ²)	23,39	24,25	12,51	13,36
Beneficio neto (Bs/ m ²)	47,65	36,68	59,45	47,44

4.2.3.5. Análisis de dominancia

Según el análisis de dominancia (tabla 23) los tratamientos 1, 2 y 4 resultaron dominados, debido a que estos tienen beneficios netos menores a los del tratamiento 3 el cual posee los costos más bajos.

Tabla 23: Análisis de dominancia

Tratamiento	Tipo de automatización	Variedad de lechuga	Total, de costos que varían (Bs/m ²)	Beneficios netos (Bs/m ²)
T3	Microcontrolador arduino	Crocantela	12,51	59,45
T4	Microcontrolador arduino	Kristine	13,36	47,44 D
T1	Temporizador digital	Crocantela	23,39	47,65 D
T2	Temporizador digital	Kristine	24,25	36,68 D

El análisis de dominancia nos indica que el tratamiento 3 resulto ser la única alternativa significativa que reduce los costos de producción e incrementa los beneficios netos. Debido a que los tratamientos 4, 1 y 2 tienen costos que varían más altos y beneficios netos más bajos respecto al tratamiento 3.

4.2.3.6. Costos fijos

La tabla 24 muestra los costos fijos de producción para un invernadero hidropónico NFT piramidal de 200 m². Para esto se consideró los insumos necesarios para un ciclo de

producción de tres meses en un invernadero hidropónico NFT piramidal con capacidad de 2208 plantas. El detalle de los costos fijos de producción 17 muestra en el anexo 17.

Tabla 24: Total de costos fijos

	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
Total, de costos fijos en (Bs)	3903,10	3903,10	3903,10	3903,10

4.2.3.7. Costos totales de producción

La tabla 25 nos muestra los costos totales de producción para cada tratamiento. Se aprecia que los tratamientos 1 y 2 son los que obtuvieron mayores costos de producción debido al sistema de automatización controlado por los dos temporizadores digitales AHC-15 en cambio los tratamientos 3 y 4 correspondientes al sistema de automatización controlado por Arduino obtuvieron los costos más bajos.

Tabla 25: Costos totales de producción por tratamiento

Factores	Tratamiento			
	T1	T2	T3	T4
Total, de costos que varían por tratamiento (Bs)	673,76	698,26	360,39	384,89
Total, de costos fijos (Bs)	3903,10	3903,10	3903,10	3903,10
Costo total de producción (Bs)	4576,86	4601,36	4263,48	4287,98

4.2.3.8. Relación beneficio costo

La tabla 26 muestra la relación beneficio costo de cada tratamiento, se tomó en cuenta los beneficios brutos, tabla 26, obtenidos por cada tratamiento en Bs/m², estos valores fueron multiplicados por 115,2 m² que fue la superficie que ocuparon los módulos de producción del invernadero.

Tabla 26: Relación beneficio costo (B/C) de cada tratamiento

Factores	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
Beneficio bruto (Bs)	8184,18	7018,01	8290,64	7005,11
Costo total de producción (Bs)	4576,86	4601,36	4263,48	4287,98
Relación B/C	1,79	1,53	1,94	1,63

El tratamiento 3 obtuvo la relación beneficio costo más alta con un valor de 1,94 este valor nos indica que por cada boliviano invertido existe una ganancia de 0,94 bolivianos por tanto la producción de lechuga hidropónica, empleando el tratamiento 3, es la más rentable ya que los beneficios superan a los costos de producción.

4.2.3.9. Costo unitario de lechuga

La tabla 27 nos muestra el precio que cuesta producir una lechuga utilizando los diferentes tratamientos. Podemos apreciar que el tratamiento 3 fue el que obtuvo el precio unitario más bajo con un valor de 1,93 bolivianos por lechuga.

Tabla 27: Costo unitario

Factores	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
Costo total de producción	4576,86	4601,36	4263,48	4287,98
Total, de unidades	2208	2208	2208	2208
Costo unitario	2,07	2,08	1,93	1,94

V. CONCLUSIONES

En base al análisis e interpretación de los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se llega a las siguientes conclusiones:

Las dos variedades de lechuga presentaron comportamientos agronómicos diferentes. En las variables de respuesta altura de planta y número de hojas la variedad *Kristine* demostró ser superior con promedios de 22,78 cm y 22 hojas. En cambio, en las variables de respuesta diámetro de tallo, peso de planta, volumen de raíz y rendimiento la variedad *Crocantela* obtuvo las medias más altas con valores de 1,56 cm, 182,38 g, 39,13 ml y 2,92 kg/m² respectivamente.

Según la variable de respuesta rendimiento, la variedad *Crocantela* obtuvo un rendimiento de 4,38 kg/m² y la variedad *Kristine* un valor de 3,73 kg/m². También es importante indicar que no existió una diferencia significativa para el tipo de automatización utilizado, por lo que podemos concluir que el funcionamiento del sistema de automatización controlado por la placa Arduino uno fue similar al funcionamiento del sistema de automatización, tradicional, controlado por temporizadores digitales, Lo que demuestra que el uso de esta nueva tecnología puede ser aplicada en la automatización de un sistema NFT piramidal.

Según el análisis económico de costos, el T₃ correspondiente a la combinación de los factores de estudio microcontrolador Arduino con variedad *Crocantela*, Resulto ser la alternativa económica más significativa debido a que reduce los costos de producción e incrementa los beneficios netos, ya que los tratamientos 4, 1 y 2 obtuvieron costos que varían más altos y beneficios netos más bajos respecto al tratamiento 3. En cuanto a la relación que existe entre los beneficios brutos y los costos totales de producción el tratamiento 3 fue el que obtuvo el B/C más alto con un valor de 1,94 y además de que obtuvo el precio unitario de producción más bajo con un valor de 1.93 bolivianos por lechuga por lo que se concluye que la producción de lechuga hidropónica, empleando el tratamiento 3, es la alternativa más rentable ya que los beneficios superan a los costos.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Arduino. (10 de octubre de 2018). *Arduino*. Recuperado el 7 de noviembre de 2018, de <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>
- Arroyave, Semillas. (2019). *Semillas Arroyave*. Recuperado el 15 de Marzo de 2019, de <http://www.semillasarroyave.com/zona-asesores/>
- Asamblea legislativa plurinacional. (2011). *Ley de revolución productiva comunitaria agropecuaria*. La Paz: Ministerio de gobierno .
- Ayala, B. V. (2019). *Evaluación de dos niveles de cloruro de potasio (KCl) óptimos para evitar la fitotoxidad del cloruro en el cultivo de lechuga (Lactuca sativa L.) en sistema hidropónico NFT, El Alto - La Paz*. La Paz.
- Beltrano, J. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Buenos Aires, Argentina: edulp.
- Bremes, L., & Jimenes, M. (2014). *Manual de producción hidropónica para hortalizas de hoja en sistema NFT (Nutrient Film Technique)*. Recuperado el 18 de Abril de 2019, de Repositorio TEC: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6581/manual-hidroponia-NFT.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carita, R. (2019). *Evaluación de niveles de nitrógeno en el cultivo de lechuga (Lactuca sativa L.) en el sistema hidropónico NFT, en la ciudad de El Alto - La Paz*. La Paz.
- Carrasco, G. (1996). *La empresa hidropónica de mediana escala: La técnica de la solución nutritiva recirculante*. Santiago, Chile: FAO.
- Casaca, A. D. (Abril de 2005). *Guías Tecnológicas de Frutas y verduras (El Cultivo de la Lechuga)*. Recuperado el 20 de Abril de 2019, de Dirección de Innovación y Calidad: <http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/2792/lechuga.pdf>
- Castro, R. (2007). *Manual de Hidroponía*. La Paz, Bolivia: TORRE Grupo Editorial.
- CIMMYT. (1988). *La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica*. Recuperado el 17 de Mayo de 2019, de <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/1063/9031.pdf>

- Cussi, M. (2018). *Determinación del caudal mínimo de riego para la producción óptima de lechuga (Lactuca sativa L.) en un sistema N.F.T. en la ciudad de el alto, La Paz*. La Paz , Bolivia .
- Ebel, F., Idler, S., Prede, G., & Scholz, D. (enero de 2008). *Fundamentos de la técnica de automatización*. Recuperado el 20 de Abril de 2019, de Docplayer:
<https://docplayer.es/1227807-Fundamentos-de-la-tecnica-de-automatizacion-libro-tecnico.html>
- El agro*. (2019). Recuperado el 5 de Mayo de 2019, de El agro:
<http://elagroec.com/producto/lechuga/>
- El Agro*. (2019). Recuperado el 5 de Mayo de 2019, de El Agro:
<http://elagroec.com/producto/lechuga/>
- Estado Plurinacional de Bolivia. (2009). *Constitución Política del Estado*,. La Paz: Ministerio de la presidencia .
- FAO. (1996). *La empresa hidropónica de mediana escala: La técnica de la solución nutritiva recirculante ("NFT")*. Chile: Universidad de Talca.
- Favela, E., Preciado, P., & Benavides, A. (Abril de 2006). *Manual para la preparación de soluciones nutritivas*. Recuperado el 28 de Marzo de 2019, de Neptuno Hidroponía:
http://hidroponianeptuno.com.ar/PDF/Manual_Soln_Nutritivas-Coahuila-Mexico.pdf
- FERCAM*. (2019). Recuperado el 5 de Mayo de 2019, de FERCAM:
<http://sementesfercam.com.br/produtos/>
- Fernández, P. (2001). *Compresores*. Recuperado el 20 de Abril de 2019, de ing.una.py:
http://www.ing.una.py/pdf_material_apoyo/compresores-y-ventiladores.pdf
- Flores, L. G., & Madrid, J. R. (2019). *Biblioteca digital Zamora*. Recuperado el 23 de Junio de 2019, de Biblioteca digital Zamora:
<https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1740/1/CPA-2013-036.pdf>

- Gilsanz, J. C. (2007). *Hidroponia*. Recuperado el 6 de Mayo de 2019, de <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/520/1/11788121007155745.pdf>
- Huanca, C. (2017). *Evaluación de dos variedades de lechuga (Lactuca sativa L.) con dos niveles de cloruro de potasio (KCl), en sistema hidropónico NFT, El Alto - La Paz*. La Paz.
- Iglesias, N. (2006). *Producción de hortalizas bajo cubierta*. Argentina: INTA.
- Inca, S. A. (2013). *Automatización y control del sistema NFT para cultivos hidropónicos*. Recuperado el 18 de Abril de 2019, de Cibertesis URP: http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/405/1/Inca_sa.pdf
- Jaramillo, J., Aguilar, P., Tamayo, P., Arguello, E., & Arroyave, M. (2016). *Modelo tecnológico para el cultivo de lechuga bajo buenas prácticas agrícolas en el oriente antioqueño*. Recuperado el 14 de Julio de 2019, de <https://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/MANUAL%20DEL%20CULTIVO%20DE%20LA%20LECHUGA.pdf>
- Lexoelectric. (2019). *Timer Digital c/Reserva de Marcha 0-24HRS AHC 15A 220V*. Recuperado el 7 de Abril de 2019, de Lexo electric: <http://www.lexo.cl/producto/timer-digital-c-reserva-de-marcha-0-24hrs-ahc-15a-220v/120>
- Llanos, L. (23 de julio de 2016). *Manejar cargas de más de 220V con arduino y salida por relè*. Recuperado el 5 de noviembre de 2018, de <https://www.luisllamas.es/arduino-salida-rele/>
- Palomino, k. (2008). *Hidroponía Comercial* . Peru: EIRL.
- Quispe, E. (2018). *Evaluación de la eficiencia del sistema NFT en dos tiempos de riego para la optimización de la electrobomba en el cultivo de lechuga (Lactuca sativa L.) en ambiente controlado, en la ciudad de El Alto zona Bautista Saavedra*. La Paz.

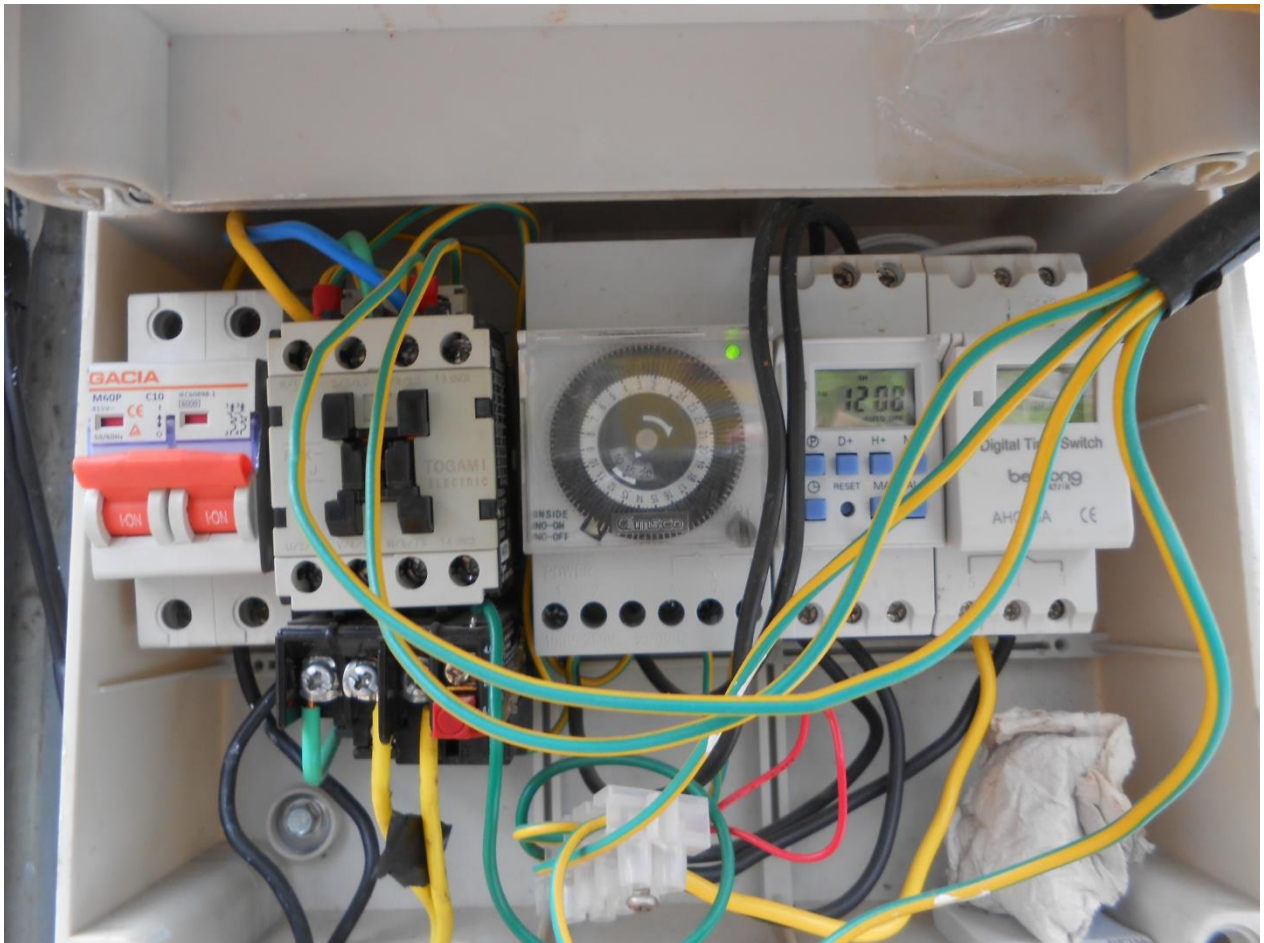
- Reyes, M. (junio de 2001). *Análisis económico de experimentos agrícolas con presupuestos parciales: Re-enseñando el uso de este enfoque*. Recuperado el 17 de Mayo de 2019, de <http://www.geocities.ws/mrhdz/pparciales.PDF>
- Rico, V. (22 de Septiembre de 2004). *Curso de Programación*. Recuperado el 3 de Mayo de 2019, de IQ Celaya:
<http://www.iqcelaya.itc.mx/~vicente/Programacion/CursoUnidad1.pdf>
- Rios, D., & Belarmino, S. (Agosto de 2012). *Manejo práctico del riego en cultivos sin suelo*. Recuperado el 5 de Mayo de 2019, de
http://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/otra_462_cultivo%20sin%20suelo.pdf
- Saavedra, G. (2017). *Manual de producción de lechuga*. Santiago, Chile: INIA.
- Santos, B., & Ríos, D. (Diciembre de 2016). *Cálculo de Soluciones Nutritivas*. Recuperado el 18 de Abril de 2019, de AgroCabildo:
http://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/otro_622_soluciones_nutritivas.pdf
- Sepúlveda, P. (2017). *enfermedades de la lechuga* . Recuperado el 16 de Julio de 2019, de
<http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/09%20Manual%20Lechuga.pdf>
- Sepúlveda, P. (2018). *Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades Oídio en lechuga*. Recuperado el 16 de Julio de 2019, de
<http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/FichasT/NR41194.pdf>
- Theodoracopoulos, M., Lardizabal, R., & Arias, S. (Febrero de 2009). *Producción de lechuga* . Recuperado el 16 de Julio de 2019, de
http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/bitstream/handle/123456789/72/EDA_Manual_Produccion_Lechuga_02_09.pdf?sequence=1
- TodoElectrodo. (10 de 2 de 2013). *TodoElectrodo* . Recuperado el 29 de septiembre de 2018, de todoElectrodo: Lcd 16x2: <http://todoelectrodo.blogspot.com/2013/02/lcd-16x2.html>

UNEDE. (2006). *Controladores Lógicos Programables (PLC)*. Recuperado el 10 de Abril de 2019, de http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_I SE6_1_1.pdf

Ureña, C. (12 de 2011). *Lenguajes de Programación*. Recuperado el 2 de Mayo de 2019, de <https://lsi.ugr.es/curena/doce/lp/tr-11-12/lp-c01-impr.pdf>

ANEXOS

Anexo 1: Sistema de automatización controlado por temporizador digital AHC-15

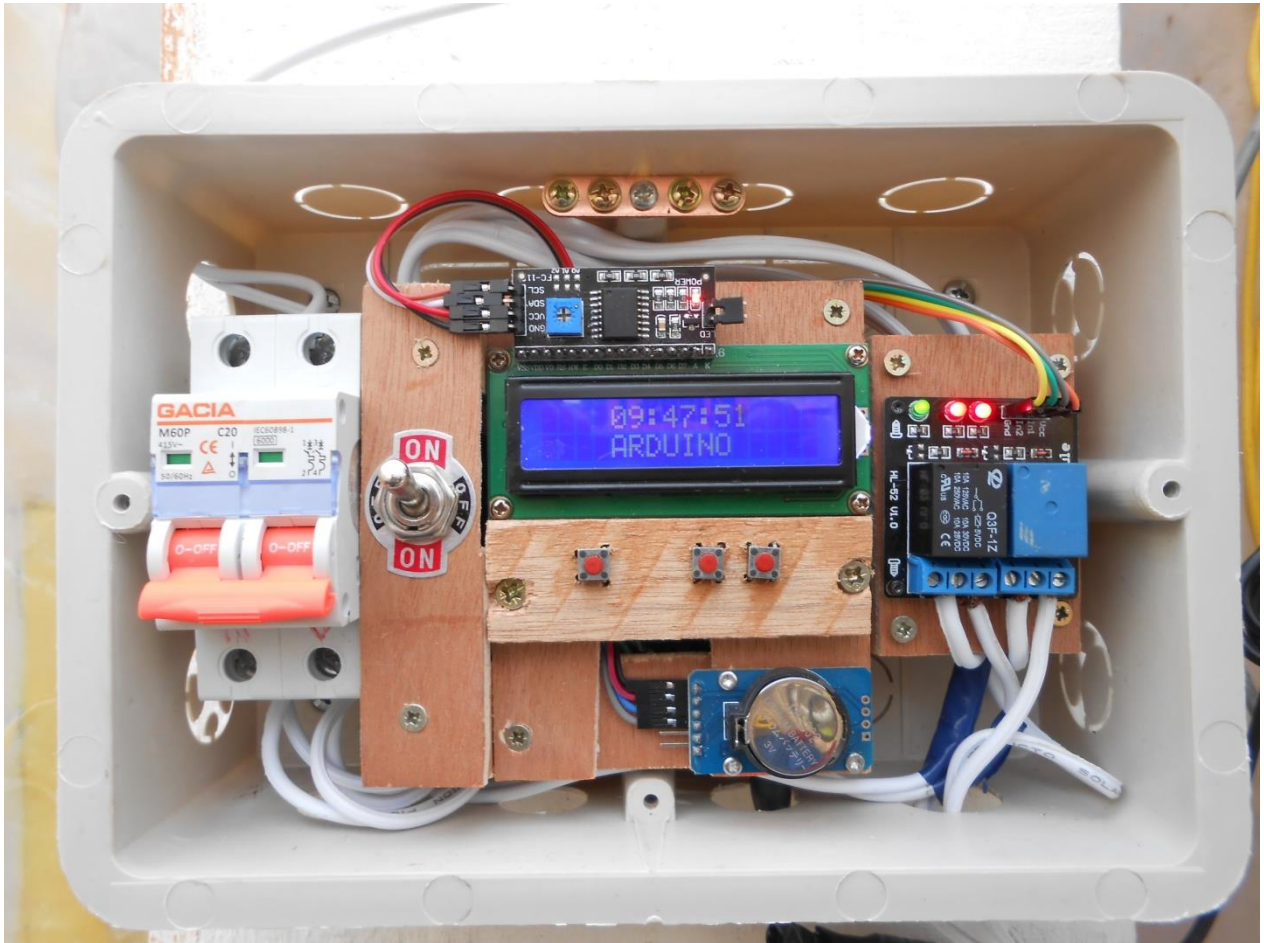


Anexo 2: Programa para la recirculación de la solución nutritiva del sistema de automatización controlado por dos temporizadores AHC-15

Nº Programa	Hora de Inicio	Hora Final	Tiempo encendido
1	07:00	07:05	5 minutos
2	08:00	08:05	5 minutos
3	09:00	09:05	5 minutos
4	10:00	10:05	5 minutos
5	10:15	10:20	5 minutos
6	10:30	10:35	5 minutos
7	10:45	10:50	5 minutos

8	11:00	11:05	5 minutos
9	11:15	11:20	5 minutos
10	11:30	11:35	5 minutos
11	11:45	11:50	5 minutos
12	12:00	12:05	5 minutos
13	12:15	12:20	5 minutos
14	12:30	12:35	5 minutos
15	12:45	12:50	5 minutos
16	13:00	13:05	5 minutos
17	13:15	13:20	5 minutos
18	13:30	13:35	5 minutos
19	13:45	13:50	5 minutos
20	14:00	14:05	5 minutos
21	14:15	14:20	5 minutos
22	14:30	14:35	5 minutos
23	14:45	14:50	5 minutos
24	15:00	15:05	5 minutos
25	15:15	15:20	5 minutos
26	15:30	15:35	5 minutos
27	15:45	15:50	5 minutos
28	16:00	16:05	5 minutos
29	17:00	17:05	5 minutos
30	18:00	18:05	5 minutos
31	00:00	00:05	5 minutos
32	--:--	--:--	0 minutos
Total			155 minutos

Anexo 3: Temporizador Arduino



Anexo 4: Programa para la recirculación de la solución nutritiva del sistema de automatización controlado por arduino

Nº Programa	Hora de Inicio	Hora Final	Tiempo encendido
1	07:00	07:05	5 minutos
2	08:00	08:05	5 minutos
3	09:00	09:05	5 minutos
4	10:00	10:05	5 minutos
5	10:15	10:20	5 minutos
6	10:30	10:35	5 minutos
7	10:45	10:50	5 minutos
8	11:00	11:05	5 minutos

9	11:15	11:20	5 minutos
10	11:30	11:35	5 minutos
11	11:45	11:50	5 minutos
12	12:00	12:05	5 minutos
13	12:15	12:20	5 minutos
14	12:30	12:35	5 minutos
15	12:45	12:50	5 minutos
16	13:00	13:05	5 minutos
17	13:15	13:20	5 minutos
18	13:30	13:35	5 minutos
19	13:45	13:50	5 minutos
20	14:00	14:05	5 minutos
21	14:15	14:20	5 minutos
22	14:30	14:35	5 minutos
23	14:45	14:50	5 minutos
24	15:00	15:05	5 minutos
25	15:15	15:20	5 minutos
26	15:30	15:35	5 minutos
27	15:45	15:50	5 minutos
28	16:00	16:05	5 minutos
29	17:00	17:05	5 minutos
30	18:00	18:05	5 minutos
31	00:00	00:05	5 minutos
32	--:--	--:--	0 minutos
33	--:--	--:--	0 minutos
34	--:--	--:--	0 minutos
Total			155min

Anexo 5: Programa para la frecuencia de oxigenación

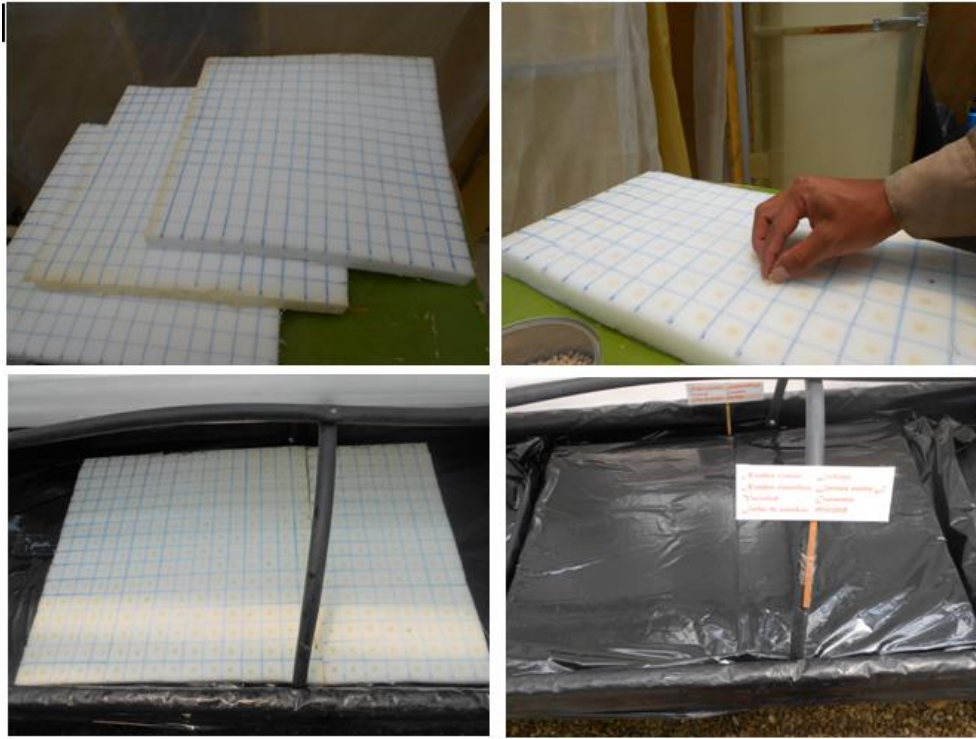
Nº Programa	Hora de Inicio	Hora Final	Tiempo encendido
1	06:00	06:03	3 minutos
2	09:00	09:03	3 minutos
3	10:30	10:33	3 minutos

4	12:00	12:03	3 minutos
5	15:00	15:03	3 minutos
6	16:30	16:03	3 minutos
7	18:00	18:03	3 minutos
8	21:00	21:03	3 minutos
9	00:00	00:03	3 minutos
10	3:00	3:03	3 minutos
		Total	30 minutos

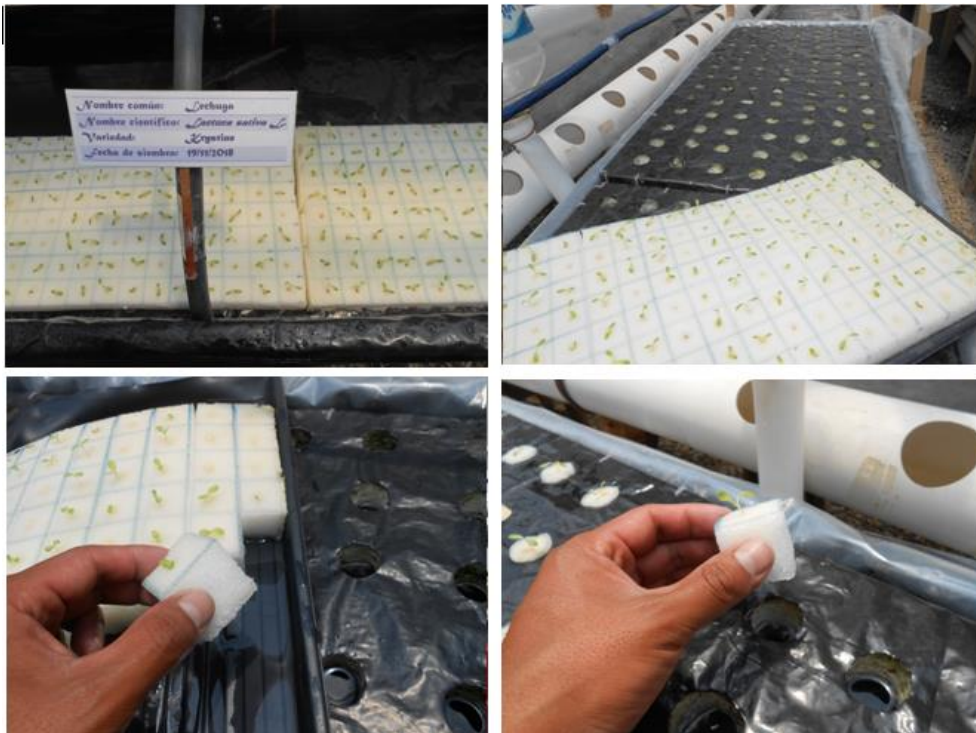
Anexo 6: Fertilizantes para 140 litros de solución nutritiva al 50% de concentración

Nombre del fertilizante	Formula química	Masa en (g)
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	117,89
Nitrato de potasio	K NO_3	33,18
Nitrato de magnesio	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	54,81
Cloruro de potasio	KCl	11,33
Nitro – S		23,75
Fosfato mono potásico	KH_2PO_4	22,70
Sulfato de potasio	K_2SO_4	15,10
Sulfato de magnesio	MgSO_4	38,90
Sulfato de hierro	Fe SO_4	2,47
Sulfato de zinc	Zn SO_4	0,01
Sulfato de manganeso	Mn SO_4	0,21
Molibdato de amonio	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$	0,01
Ácido bórico	H_3BO_3	0,37

Anexo 7: Siembra de semillas peletizadas de lechuga



Anexo 8: Trasplante a bandeja flotante



Anexo 9: Trasplante a sistema NFT



Anexo 10: Distribución de los tratamientos y bloques



Anexo 11: Control orgánico contra pulgones

Insecticida Orgánico	
Ingredientes: 5 cebollas medianas 5 cabezas de ajo 5 limones Detergente en polvo 2 onzas de Alcohol 5 litros de agua	Materiales: Balde plástico de 10 litros Cuchara Paleta plástica Batan Cuchillo
Control: Pulgones	
Aplicación: Mezclar 1,5 litros del insecticida orgánico en 3,5 litros de agua, con una mochila fumigadora o un atomizador aplicar sobre la zona infestada.	
Preparación: Pelar y picar finamente las cebollas, pelar y moler el ajo, extraer el jugo de los limones. En el balde plástico coloque el agua, ajo, cebolla y jugo de limón. Posteriormente añada 3 cucharas de detergente en polvo y 2 onzas de alcohol. Remueva la mezcla y deje reposar por 24 horas. Cuele la mezcla con un colador para separar el líquido de las partículas solididad.	

Anexo 12: Control orgánico contra hongos

Caldo Sulfocálcico	
Ingredientes: 200 gramos de cal 200 gramos de azufre en polvo 5 litros de agua	Materiales: Ollas de aluminio Cocina o estufa Balde plástico de 10 litros Cuchara Paleta plástica
Control: Hongos	
Aplicación:	

Mezclar 2,5 litros del caldo sulfocálcico en 50 litros de agua, aplicar con una mochila fumigadora o un sistema de nebulización.

Preparación:

En 5 la olla de aluminio colocar el agua añadir la cal, diluir por completo, posteriormente añadir el azufre en polvo. Cocinar la mezcla durante 45 minutos o hasta que obtenga un color naranja. Cuele la mezcla con un colador para separar el líquido de las partículas solidas.

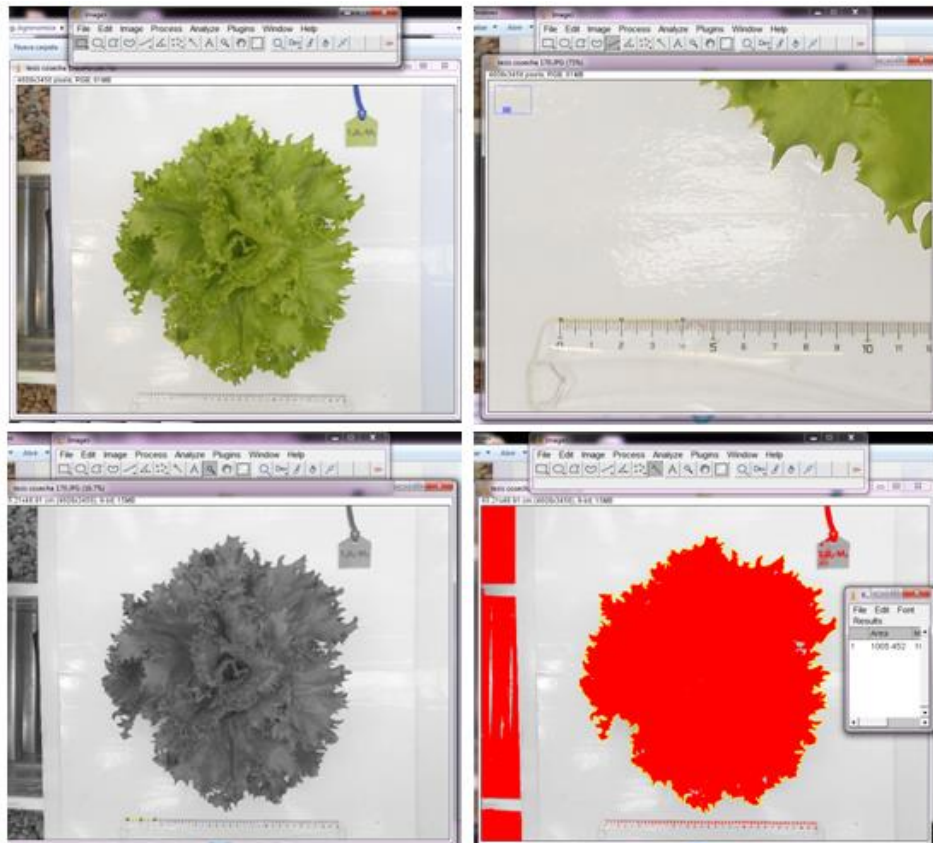
Anexo 13: Medición de las variables de respuesta



Anexo 14: Cosecha y post cosecha



Anexo 15: Determinación del área foliar mediante el Software ImageJ



Anexo 16: Costos que varían por tratamiento

Insumos	Unidad	P. U. (Bs)	Cantidad	Costos en (Bs) de cada tratamiento			
				T1	T2	T3	T4
Semilla							
Semilla peletizada							
variedad Crocantela	unidad	0,055	350	19,25		19,25	
Semilla peletizada							
variedad Kristine	unidad	0,125	350		43,75		43,75
Componentes de los sistemas de automatización							
Temporizador digital AHC-							
15	pza	175	2	350	350		
Contactador	pza	80	1	80	80		
Relé de sobre intensidad	Pza	50	1	50	50		
Caja eléctrica metálica	pza	40	1	40	40		
Llave selectora de tres posiciones	pza	12	1	12	12	10	10
Llave térmica	pza	30	1	35	35	30	30
Caja eléctrica plástica	pza	30	1			30	30
Placa arduino uno	pza	75	1			75	75
Módulo RTC (reloj de tiempo real)	pza	25	1			25	25
Pantalla LCD 16 x 2	pza	30	1			30	30
Módulo I2C par control de LCD	pza	15	1			15	15
Pulsadores	pza	3	3			9	9
Modulo Relé	pza	24	1			24	24
Adaptador de corriente AC a DC 12 V y 2000 mA	pza	40	1			40	40
Consumo de corriente							
Consumo de corriente							
bomba de agua 1HP	kwh	0,7	125,02	87,51	87,51		
Consumo de corriente							
bomba de agua 0,5 HP	kwh	0,7	56,83			39,78	39,78

Consumo de corriente						
compresora de 1HP	kwh	0,7	19,08		13,36	13,36
Total, de costos que varían (Bs)				673,76	698,26	360,39 384,89
Total, de costos que varían en (Bs/m2)				23,39	24,25	12,51 13,36

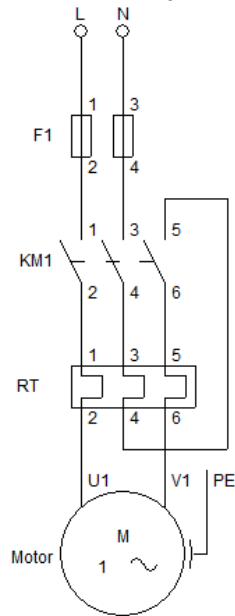
Anexo 17: Costos fijos

Insumos	Unidad	Precio unitario	Cant.	Total
Fertilizantes				
Nitrato de calcio	kg	4,8	4,21	20,21
Sulfato de magnesio	kg	8,0	1,39	11,12
Nitrato de potasio	kg	8,8	1,18	10,38
Nitrato de magnesio	kg	11,2	1,96	21,92
Fosfato mono potásico	kg	18,4	0,81	14,9
Sulfato de potasio	kg	14,0	0,54	7,55
Cloruro de potasio	kg	3,8	0,40	1,54
Nitro-S	kg	9,0	0,85	7,63
Sulfato de hierro	kg	8,0	0,088	0,71
Sulfato de manganeso	kg	17,0	0,0077	0,13
Ácido bórico	kg	13,0	0,013	0,17
Sulfato de zinc	kg	15,0	0,0003	0,0041
Molibdato de amonio	g	6,0	0,0004	0,0024
Material químico				
Ácido nítrico	ml	0,28	15,00	24,0
Ácido fosfórico	ml	0,056	5,00	14,0
Auxinas para raíz	ml	10	1,09	10,9
Bicarbonato de sodio	kg	30	1,60	48,0
Azufre	kg	40	1,40	56,0
Cal viva	kg	1	1,40	1,4
Agua destilada	litro	6	1,00	6,0
Materiales varios				
Consumo de agua	m3/mes	57,60	3	172,80
Insecticida orgánico	global	11,00	2	22,00

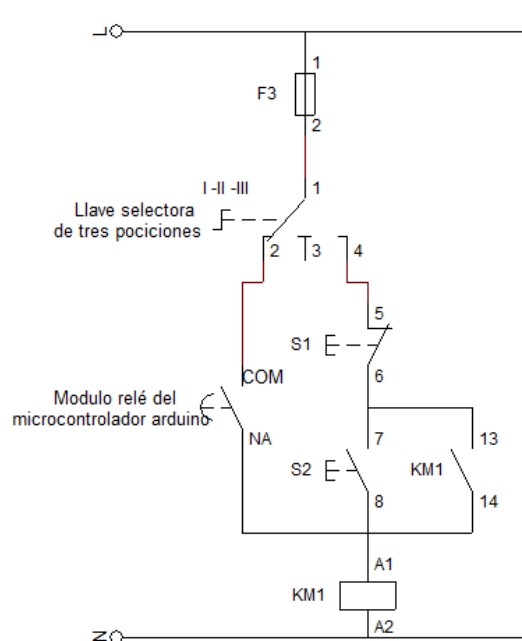
Lamina de esponja	m ²	16,33	2	32,45
Masquen	unidad	4,00	4	16,00
Vasos plásticos de 200 ml	unidad	0,07	2208	154,56
Bolsa celofán	unidad	0,13	1104	147,20
Etiquetas de código de barras	unidad	0,05	1104	55,20
Insecticida Cypermetrin 250 EC	ml	0,42	15	6,30
Insecticida Thodotrin 250 EC	ml	0,07	15	1,02
insecticida Stermin 600 SL	ml	0,25	12	3,00
insecticida Capotal 540 EC	ml	0,40	15	6,00
Alquiler de invernadero y mano de obra				
Alquiler del invernadero	mes	850	3,0	2550
Mano de obra para siembra	jornal	80	0,5	40
Mano de obra para trasplante a bandeja	jornal	80	0,5	40
Mano de obra para trasplante a NFT	jornal	80	2,0	160
Mano de obra para cosecha	jornal	80	2,0	160
Transporte a supermercado Ketal	viaje	80	1,0	80
Total, de costos fijos				3903,10

Anexo 18: Circuito de mando y de potencia para el control de una bomba de agua

Circuito de potencia



Circuito de mando



Anexo 19: Informe de laboratorio del análisis químico a la solución nutritiva inicial

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



Informe de Ensayo: A 60/19

Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYO EN SOLUCIÓN NUTRITIVA A 60/19

Cliente: **HORTICOLAS CHUI**
Solicitante: Sr. Romer Mamani Huarachi
Dirección del cliente: Z/25 de julio, Av. Pajchani Grande, N° 2174
Procedencia de la muestra: El Alto
Departamento de La Paz
Punto de muestreo: El Alto, Z/Bautista Saavedra
Responsable del muestreo: Sr. Romer Mamani Huarachi
Fecha de muestreo: No especificado
Hora de muestreo: No especificado
Fecha de recepción de la muestra: 29 de abril de 2019
Fecha de ejecución del ensayo: Del 29 de abril al 10 de mayo, 2019
Caracterización de la muestra: Solución nutritiva para hidroponía
Tipo de muestra: Simple
Envase: Botella plástica
Código LCA: 60-1
Código original: Sol. Nutritiva Nueva

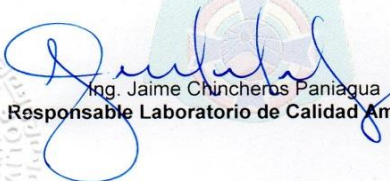
Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	60-1 Sol. Nutritiva Nueva
Nitratos	SM 4500-NO3 -B	mg N-NO ₃ /l	0,30	229
Calcio	EPA 215.1	mg/l	0,32	268
Potasio	EPA 258.1	mg/l	0,21	238
Sodio	EPA 273.1	mg/l	0,019	11

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, Abril 14 de 2019


Ing. Jaime Chuncheros Paniagua
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



c.c.: Arch.
JCH/LCA

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

Anexo 20: Informe de laboratorio del análisis químico realizado a la solución nutritiva final del tanque de 250 l

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



Informe de Ensayo: A 62/19

Página 2 de 2

INFORME DE ENSAYO EN SOLUCIÓN NUTRITIVA A 62/19

Cliente: **HORTICOLAS CHUI**
Solicitante: Sr. Romer Mamani Huarachi
Dirección del cliente: Z/25 de julio, Av. Pajchani Grande, N° 2174
Procedencia de la muestra: El Alto
Departamento de La Paz
Punto de muestreo: El Alto, Z/Bautista Saavedra
Responsable del muestreo: Sr. Romer Mamani Huarachi
Fecha de muestreo: 7 de marzo de 2019
Hora de muestreo: 09:00
Fecha de recepción de la muestra: 29 de abril de 2019
Fecha de ejecución del ensayo: Del 29 de abril al 10 de mayo, 2019
Caracterización de la muestra: Solución nutritiva para hidroponía
Tipo de muestra: Simple, 400 ml.
Envase: Botella plástica
Código LCA: 62-2
Código original: Solución TP 250L


Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	62-2 Solución TP 250L
Nitratos	SM 4500-NO3 -B	mg N-NO ₃ /l	0,30	226
Calcio	EPA 215.1	mg/l	0,32	312
Potasio	EPA 258.1	mg/l	0,21	51

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, Abril 14 de 2019


Ing. Jaime Chincheros-Paniagua
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



c.c.: Arch.
JCH/LCA

Anexo 21: Informe de laboratorio del análisis de laboratorio realizado a la solución nutritiva final del tanque de 750 l

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



Informe de Ensayo: A 62/19

Página 1 de 2

INFORME DE ENSAYO EN SOLUCIÓN NUTRITIVA A 62/19

Cliente: **HORTICOLAS CHUI**
Solicitante: Sr. Romer Mamani Huarachi
Dirección del cliente: Z/25 de julio, Av. Pajchani Grande, N° 2174
Procedencia de la muestra: El Alto
Departamento de La Paz
Punto de muestreo: El Alto, Z/Bautista Saavedra
Responsable del muestreo: Sr. Romer Mamani Huarachi
Fecha de muestreo: 7 de marzo de 2019
Hora de muestreo: 09:00
Fecha de recepción de la muestra: 29 de abril de 2019
Fecha de ejecución del ensayo: Del 29 de abril al 10 de mayo, 2019
Caracterización de la muestra: Solución nutritiva para hidroponía
Tipo de muestra: Simple, 400 ml.
Envase: Botella plástica
Código LCA: 62-1
Código original: Solución TG 1000L

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	62-1 Solución TG 1000L
Nitratos	SM 4500-NO3 -B	mg N-NO ₃ /l	0,30	239
Calcio	EPA 215.1	mg/l	0,32	281
Potasio	EPA 258.1	mg/l	0,21	117

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, Abril 14 de 2019



c.c.: Arch.
JCH/LCA

Anexo 22: Registro de las variables de respuesta al momento de la cosecha del tratamiento 1

(Temporizador Digital con Variedad Crocantela)

Código	Altura de planta (cm)	Número de hojas	Diámetro de tallo (cm)	Largo de raíz (cm)	Peso de planta (g)	Volumen de raíz (ml)	Área fotosintética (cm ²)
T ₁ B ₁ -M ₁	18,0	11	1,6	31,0	149	30	797,23
T ₁ B ₁ -M ₂	12,3	10	1,4	23,8	125	45	720,98
T ₁ B ₁ -M ₃	19,5	13	1,5	29,0	206	40	902,87
T ₁ B ₁ -M ₄	21,6	12	1,6	28,4	268	56	1168,332
T ₁ B ₁ -M ₅	20,3	13	1,5	24,5	206	50	915,94
T ₁ B ₁ -M ₆	21,2	14	1,7	30,6	235	50	1171,77
T ₁ B ₁ -M ₇	23,6	14	1,8	26,6	200	50	1055,17
Promedio	19,5	12	1,6	27,7	198	46	961,76
T ₁ B ₂ -M ₁	20,6	16	1,8	26,3	174	30	896,39
T ₁ B ₂ -M ₂	22,1	15	1,7	22,9	237	40	1004,49
T ₁ B ₂ -M ₃	19,5	12	1,3	25,7	131	30	763,75
T ₁ B ₂ -M ₄	21,3	13	1,5	30,5	207	40	1177,35
T ₁ B ₂ -M ₅	20,7	10	1,2	16,3	164	45	905,60
T ₁ B ₂ -M ₆	21,2	12	1,7	32,6	209	45	952,79
T ₁ B ₂ -M ₇	24,7	15	1,6	28,5	215	50	829,61
Promedio	21,4	13	1,5	26,1	191	40	932,85
T ₁ B ₃ -M ₁	19,0	11	1,4	24,5	220	40	977,15
T ₁ B ₃ -M ₂	20,9	13	1,4	19,6	187	40	837,62
T ₁ B ₃ -M ₃	22,0	11	1,0	18,0	119	20	754,08
T ₁ B ₃ -M ₄	22,0	9	1,4	28,6	153	40	682,41
T ₁ B ₃ -M ₅	24,0	11	1,8	30,5	232	50	1014,95
T ₁ B ₃ -M ₆	19,5	10	1,2	29,0	98	20	442,09
T ₁ B ₃ -M ₇	22,5	14	1,5	27,0	200	51	1215,23
Promedio	21,4	11	1,4	25,3	173	37	846,22
T ₁ B ₄ -M ₁	21,4	13	1,6	39,5	233	45	1117,57
T ₁ B ₄ -M ₂	19,3	11	1,2	28,5	123	40	777,22
T ₁ B ₄ -M ₃	20,0	11	1,5	26,0	126	20	555,73
T ₁ B ₄ -M ₄	18,3	10	1,2	25,0	126	25	666,80
T ₁ B ₄ -M ₅	23,1	13	1,4	33,5	197	45	1115,13
T ₁ B ₄ -M ₆	23,0	13	1,4	32,0	168	25	907,79
T ₁ B ₄ -M ₇	22,5	10	1,5	33,0	166	40	948,83
Promedio	21,1	12	1,4	31,1	163	34	869,87

Anexo 23: Registro de las variables de respuesta al momento de la cosecha del tratamiento 2

(Temporizador Digital con Variedad Kristine)

Código	Altura de planta (cm)	Número de hojas	Diámetro de tallo (cm)	Largo de raíz (cm)	Peso de planta (g)	Volumen de raíz (ml)	Área fotosintética (cm ²)
T ₂ B ₁ -M ₁	22,5	20	1,1	22,0	151	25	762,03
T ₂ B ₁ -M ₂	19,8	19	1,2	22,0	123	40	641,21
T ₂ B ₁ -M ₃	22,0	20	1,2	33,5	150	20	827,39
T ₂ B ₁ -M ₄	21,6	23	1,2	24,0	234	50	1004,53
T ₂ B ₁ -M ₅	18,5	22	1,1	24,0	128	25	688,39
T ₂ B ₁ -M ₆	20,3	23	1,5	23,5	177	45	862,66
T ₂ B ₁ -M ₇	22,5	20	1,0	28,0	119	25	646,15
Promedio	21,0	21	1,2	25,3	155	33	776,05
T ₂ B ₂ -M ₁	20,3	26	1,2	34,0	152	25	939,77
T ₂ B ₂ -M ₂	21,0	22	1,7	27,0	133	25	862,71
T ₂ B ₂ -M ₃	33,5	23	1,1	23,0	165	40	791,81
T ₂ B ₂ -M ₄	19,6	24	1,3	23,0	141	25	765,86
T ₂ B ₂ -M ₅	22,5	22	1,5	28,0	145	45	655,71
T ₂ B ₂ -M ₆	23,6	24	1,1	22,0	174	45	908,64
T ₂ B ₂ -M ₇	23,5	20	1,5	23,0	161	25	791,98
Promedio	23,4	23	1,3	25,7	153	33	816,64
T ₂ B ₃ -M ₁	22,6	27	1,3	28,0	217	50	1223,37
T ₂ B ₃ -M ₂	26,0	21	1,1	24,0	171	30	1007,38
T ₂ B ₃ -M ₃	23,9	19	1,3	29,0	150	30	985,89
T ₂ B ₃ -M ₄	25,5	18	0,8	25,0	127	25	802,60
T ₂ B ₃ -M ₅	22,6	22	1,1	28,5	160	40	960,92
T ₂ B ₃ -M ₆	25,0	22	1,0	25,0	146	25	988,07
T ₂ B ₃ -M ₇	23,3	25	1,4	28,0	237	45	1184,85
Promedio	24,1	22	1,1	26,8	173	35	1021,87
T ₂ B ₄ -M ₁	25,0	19	0,9	30,0	116	30	874,21
T ₂ B ₄ -M ₂	21,1	19	1,0	29,0	128	40	933,51
T ₂ B ₄ -M ₃	25,0	19	0,9	31,0	153	25	896,18
T ₂ B ₄ -M ₄	22,1	22	1,3	25,0	145	30	993,21
T ₂ B ₄ -M ₅	25,0	23	1,1	32,0	162	25	941,53
T ₂ B ₄ -M ₆	23,8	23	1,0	31,0	162	40	1006,09
T ₂ B ₄ -M ₇	21,5	18	1,2	21,0	124	45	953,45
Promedio	23,4	20	1,1	28,4	141	34	942,60

Anexo 24: Registro de las variables de respuesta al momento de la cosecha del tratamiento 3

(Microcontrolador arduino con variedad Crocantela)

Código	Altura de planta (cm)	Número de hojas	Diámetro de tallo (cm)	Largo de raíz (cm)	Peso de planta (g)	Volumen de raíz (ml)	Área fotosintética (cm ²)
T ₃ B ₁ -M ₁	23	14	2,1	40	308	50	1217,86
T ₃ B ₁ -M ₂	19	11	2,2	29	210	45	943,03
T ₃ B ₁ -M ₃	19,5	11	1,7	24	182	45	870,15
T ₃ B ₁ -M ₄	20	14	1,6	34	190	45	731,70
T ₃ B ₁ -M ₅	23	12	2	38	197	40	913,31
T ₃ B ₁ -M ₆	21	15	1,7	33	203	25	775,26
T ₃ B ₁ -M ₇	21	12	1,6	32	169	40	865,38
Promedio	20,9	12,7	1,8	32,9	208,4	41,4	902,38
T ₃ B ₂ -M ₁	21,5	12	1,5	18	160	45	944,69
T ₃ B ₂ -M ₂	20,5	11	1,7	25	143	25	1009,95
T ₃ B ₂ -M ₃	22	12	1,4	22	133	40	873,33
T ₃ B ₂ -M ₄	20,5	11	1,8	21	200	45	988,46
T ₃ B ₂ -M ₅	22	15	1,6	26	292	45	1212,63
T ₃ B ₂ -M ₆	22,5	12	1,6	26	205	45	829,88
T ₃ B ₂ -M ₇	19,5	23	1,8	38	146	45	756,78
Promedio	21,2	13,7	1,6	25,1	182,7	41,4	945,10
T ₃ B ₃ -M ₁	21	11	1,3	38	139	25	784,30
T ₃ B ₃ -M ₂	20	13	1,4	31	207	25	1072,83
T ₃ B ₃ -M ₃	22	14	1,8	35	230	40	1001,58
T ₃ B ₃ -M ₄	20	13	1,5	29	182	40	840,84
T ₃ B ₃ -M ₅	21	14	2,1	29	214	50	1014,91
T ₃ B ₃ -M ₆	19,5	11	1,7	29	160	45	1037,85
T ₃ B ₃ -M ₇	21,5	10	1,6	33	103	40	708,58
Promedio	20,7	12,3	1,6	32,0	176,4	37,9	922,98
T ₃ B ₄ -M ₁	20,5	15	1,5	27	85	25	949,69
T ₃ B ₄ -M ₂	22	11	1,6	19	163	25	1022,26
T ₃ B ₄ -M ₃	20	11	1,3	25	123	35	868,64
T ₃ B ₄ -M ₄	22,5	14	1,6	41	227	45	998,54
T ₃ B ₄ -M ₅	22,5	12	1,6	29	130	40	1128,74
T ₃ B ₄ -M ₆	23	13	2,2	27	291	45	1223,28
T ₃ B ₄ -M ₇	22,5	10	1,4	20	148	40	821,02
Promedio	21,9	12,3	1,6	26,9	166,7	36,4	1001,74

Anexo 25: Registro de las variables de respuesta en el momento de la cosecha del tratamiento

4 (Microcontrolador arduino con variedad Kristine)

Código	Altura de planta (cm)	Número de hojas	Diámetro de tallo (cm)	Largo de raíz (cm)	Peso de planta (g)	Volumen de raíz (ml)	Área fotosintética (cm ²)
T ₄ B ₁ -M ₁	21	25	1,2	23	209	45	904,17
T ₄ B ₁ -M ₂	21,5	20	1,3	33,5	112	45	759,97
T ₄ B ₁ -M ₃	22,5	21	1,3	26	198	50	955,05
T ₄ B ₁ -M ₄	19	21	1,3	28	135	50	895,85
T ₄ B ₁ -M ₅	21,5	24	1,3	37	196	50	940,97
T ₄ B ₁ -M ₆	19,5	22	1,2	23	151	40	666,58
T ₄ B ₁ -M ₇	22	23	1,3	31	198	45	807,49
Promedio	21,0	22,3	1,3	28,8	171,3	46,4	847,15
T ₄ B ₂ -M ₁	24,5	21	1,1	33	167	25	982,18
T ₄ B ₂ -M ₂	19,5	25	1,2	27	162	45	1037,77
T ₄ B ₂ -M ₃	21	20	1,3	30	189	50	921,90
T ₄ B ₂ -M ₄	22	23	1	21	117	30	941,09
T ₄ B ₂ -M ₅	24	20	1,3	46	116	25	990,18
T ₄ B ₂ -M ₆	22	20	1,2	33	178	40	887,25
T ₄ B ₂ -M ₇	21	24	1,2	36	202	50	1048,83
Promedio	22,0	21,9	1,2	32,3	161,6	37,9	972,74
T ₄ B ₃ -M ₁	23,5	22	1	35	121	50	918,71
T ₄ B ₃ -M ₂	22,5	22	1	40	155	40	987,63
T ₄ B ₃ -M ₃	24	23	1,2	33	183	40	1090,02
T ₄ B ₃ -M ₄	26	24	1	36	237	30	1041,07
T ₄ B ₃ -M ₅	20	19	1	25,5	139	25	826,78
T ₄ B ₃ -M ₆	25	20	1,1	36	197	25	1013,38
T ₄ B ₃ -M ₇	21,5	25	1	31	143	20	762,39
Promedio	23,2	22,1	1,0	33,8	167,9	32,9	948,57
T ₄ B ₄ -M ₁	30,5	21	0,8	17	184	20	939,89
T ₄ B ₄ -M ₂	20	16	0,8	22	69	35	749,84
T ₄ B ₄ -M ₃	23,5	24	1,2	31	172	40	1197,71
T ₄ B ₄ -M ₄	20,8	21	1,2	23	125	40	911,73
T ₄ B ₄ -M ₅	27,5	24	1	31	94	25	781,63
T ₄ B ₄ -M ₆	21	16	1	27	100	30	797,21
T ₄ B ₄ -M ₇	25,5	18	0,7	31	94	40	750,02
Promedio	24,1	20,0	1,0	26,0	119,7	32,9	875,43

Anexo 26: Registro de temperaturas dentro del invernadero durante el periodo de investigación

Día	Fecha	T° máx en °C	T° mín en °C	T° prom en °C
1	26/11/2018	32,2	7,2	19,7
2	27/11/2018	25,9	8,6	17,3
3	28/11/2018	23,1	8,3	15,7
4	29/11/2018	34,2	7,9	21,1
5	30/11/2018	29,8	6,6	18,2
6	01/12/2018	32,1	3,2	17,7
7	02/12/2018	32,4	4,3	18,4
8	03/12/2018	31,3	5,9	18,6
9	04/12/2018	32,3	4,3	18,3
10	05/12/2018	35,1	3,2	19,2
11	06/12/2018	31,6	8,4	20,0
12	07/12/2018	38,7	7,3	23,0
13	08/12/2018	39,3	7,4	23,4
14	09/12/2018	40,1	7,2	23,7
15	10/12/2018	40,5	6,0	23,3
16	11/12/2018	42,4	7,5	25,0
17	12/12/2018	40,9	6,7	23,8
18	13/12/2018	34,5	8,2	21,4
19	14/12/2018	30,1	6,5	18,3
20	15/12/2018	30,2	9,4	19,8
21	16/12/2018	26,3	9,2	17,8
22	17/12/2018	22,6	9,1	15,9
23	18/12/2018	30,3	6,9	18,6
24	19/12/2018	25,3	8,1	16,7
25	20/12/2018	30,3	6,5	18,4
26	21/12/2018	26,6	6,7	16,7
27	22/12/2018	30,2	5,2	17,7
28	23/12/2018	28,5	5,7	17,1
29	24/12/2018	27,8	6,2	17,0
30	25/12/2018	33,5	7,9	20,7
31	26/12/2018	28,3	8,1	18,2
32	27/12/2018	31,2	8,8	20,0
33	28/12/2018	27,5	9,3	18,4
34	29/12/2018	27,7	8,1	17,9
35	30/12/2018	28,3	7,8	18,1
36	31/12/2018	28,5	7,7	18,1
37	01/01/2019	32,1	7,2	19,7
38	02/01/2019	32,1	6,6	19,4
39	03/01/2019	22,8	6,6	14,7
40	04/01/2019	21,9	7,5	14,7

41	05/01/2019	29,8	8,7	19,3
42	06/01/2019	29,9	6,4	18,2
43	07/01/2019	32,1	5,3	18,7
44	08/01/2019	32,1	8,8	20,5
45	09/01/2019	33,3	8,3	20,8
46	10/01/2019	28,1	7,8	18,0
47	11/01/2019	28,1	6,8	17,5
48	12/01/2019	29,3	6,1	17,7
49	13/01/2019	25,6	6,2	15,9
50	14/01/2019	23,6	6,4	15,0
51	15/01/2019	28,4	7,3	17,9
52	16/01/2019	30,2	7,0	18,6
53	17/01/2019	30,4	8,5	19,5
54	18/01/2019	31,4	7,9	19,7
55	19/01/2019	31,7	7,5	19,6
56	20/01/2019	30,7	7,2	19,0
57	21/01/2019	31,9	7,2	19,6
58	22/01/2019	31,9	6,9	19,4
59	23/01/2019	31,9	7,1	19,5
60	24/01/2019	31,5	5	18,3
61	25/01/2019	31,4	7,1	19,3
62	26/01/2019	32,6	7,2	19,9
63	27/01/2019	34,1	7,3	20,7
64	28/01/2019	26,8	7,8	17,3
65	29/01/2019	27,3	8,4	17,9
66	30/01/2019	27,3	9,2	18,3
67	31/01/2019	25,1	8,2	16,7
68	01/02/2019	28,3	8,5	18,4
69	02/02/2019	28,4	8,4	18,4
70	03/02/2019	27,3	7,8	17,6
71	04/02/2019	26,5	7,2	16,9
72	05/02/2019	30,3	8,7	19,5
73	06/02/2019	29,6	7	18,3
74	07/02/2019	20,9	7,1	14,0
75	08/02/2019	24,2	4,3	14,3
76	09/02/2019	28,2	4,3	16,3
77	10/02/2019	28,5	5,3	16,9
78	11/02/2019	28,7	7,4	18,1
79	12/02/2019	20,1	6,2	13,2
80	13/02/2019	19,1	6,9	13,0
81	14/02/2019	26,5	7,2	16,9
82	15/02/2019	27,2	6,1	16,7
83	16/02/2019	29,1	9,1	19,1

84	17/02/2019	28,5	7,9	18,2
85	18/02/2019	29,8	7,3	18,6
86	19/02/2019	31,2	7,9	19,6
87	20/02/2019	28,1	8,2	18,2
88	21/02/2019	29,2	7,5	18,4
89	22/02/2019	29,3	8	18,7
90	23/02/2019	30,2	7,9	19,1
91	24/02/2019	28,5	7,5	18,0
92	25/02/2019	27,4	6,2	16,8
93	26/02/2019	27,8	6,2	17,0
94	27/02/2019	28,9	6,7	17,8
95	28/02/2019	30,5	6,4	18,5

Anexo 27: Registro de parámetros de la solución nutritiva en el periodo de bandeja flotante

Fecha	Bandeja automatizada 1			Bandeja automatizada 2			Bandeja manual 1			Bandeja manual 2		
	pH	CE (μ S/cm)	TDS (ppm)	pH	CE (μ S/cm)	TDS (ppm)	pH	CE (μ S/cm)	TDS (ppm)	pH	CE (μ S/cm)	TDS (ppm)
22/12/2018	6,1	1210	610	6,0	1200	600	6,1	1170	590	5,9	1190	610
24/12/2018	6,0	1580	780	6,2	1400	700	6,2	1260	630	6,2	1270	640
25/12/2018	6,3	1100	550	6,0	1160	580	6,0	1130	570	6,0	1240	620
26/12/2018	6,4	1170	590	5,9	1210	610	5,9	1130	570	6,0	1130	570
27/12/2018	6,3	1150	580	5,6	1200	600	5,9	1040	520	6,0	1110	560
28/12/2018	6,0	1150	580	5,3	1140	580	5,8	1100	550	5,7	1180	590
29/12/2018	6,4	1570	790	5,8	1620	820	5,9	1380	690	5,7	1520	770
31/12/2018	6,0	1600	800	5,4	1590	810	5,8	1640	820	5,5	1730	870
01/01/2019	5,9	1580	790	5,4	1440	720	5,8	1520	760	5,4	1530	770
02/01/2019	6,3	1440	730	6,1	1500	760	6,0	1510	760	6,1	1580	790
03/01/2019	6,5	1460	740	6,2	1430	710	6,1	1470	750	6,0	1490	780
04/01/2019	6,4	1520	760	6,0	1530	770	6,0	1480	740	5,8	1520	770
05/01/2019	6,1	1720	870	6,1	1630	820	5,9	1700	860	5,8	1800	910
07/01/2019	6,0	1680	850	5,5	1620	820	5,7	1640	820	5,2	1750	880
08/01/2019	5,6	1730	870	5,8	1670	840	5,9	1590	800	6,1	1780	900
09/01/2019	5,7	1830	920	5,9	1820	920	5,9	1800	910	6,0	1990	980
10/01/2019	5,7	1630	820	5,9	1690	850	5,9	1650	830	5,8	1720	870
11/01/2019	5,3	1790	900	5,3	1750	880	5,8	1600	800	5,5	1700	860
12/01/2019	6,2	1870	940	6,2	1830	930	5,9	1610	810	6,0	1860	940
14/01/2019	6,4	2100	1060	6,3	1900	960	6,2	1830	930	6,3	2060	1030
15/01/2019	6,1	2100	1050	6,1	2120	1060	6,0	2100	1050	6,2	2200	1120
16/01/2019	6,1	1990	1000	6,1	1880	960	5,9	1950	990	6,1	2140	1070
17/01/2019	5,7	1830	920	5,4	1720	870	5,8	1660	840	5,9	1830	920
18/01/2019	5,7	1740	880	5,7	1880	910	5,7	1630	820	5,8	1820	920
19/01/2019	5,3	1950	980	5,1	1890	950	5,5	1750	880	5,5	1970	990

Anexo 28: Registro de parámetros de la solución nutritiva en el periodo de sistema NFT del tanque de 750 litros con sistema de automatización controlado por dos temporizadores AHC-15

Fecha	pH		CE en (μ S/cm)		TDS en (ppm)		Tº en (°C)		Volumen en (l)	
	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde
20/01/19	6,0	5,9	2200	2100	1100	1050	17,5	20,3	750	700
21/01/19	5,8	5,6	2020	2060	1010	1030	13,2	28,9	720	590
22/01/19	5,9	6,2	2160	2140	1080	1070	14,9	21,1	620	500
23/01/19	5,6	6,1	2060	2080	1030	1040	13,1	14,6	600	520
24/01/19	5,4	6,2	2280	2260	1140	1130	10,4	20,8	580	450
25/01/19	5,6	6,1	2160	2140	1080	1070	14,3	17,3	490	460
26/01/19	5,2	5,7	2300	2000	1150	1010	14,2	20,7	450	550
28/01/19	5,0	6,4	1820	2200	930	1100	13,4	13,4	470	300
29/01/19	5,8	6,1	2220	2240	1110	1120	13,1	15,3	450	300
30/01/19	5,4	5,8	2240	2360	1120	1180	12,8	14,3	410	390
31/01/19	5,4	5,9	2360	2040	1180	1020	10,6	11,5	490	410
01/02/19	5,6	6,5	1710	1600	860	810	11,9	18,2	550	500
02/02/19	6,5	6,7	1980	1930	1000	990	11,9	15,5	525	400
04/02/19	6,3	6,0	2260	2220	1130	1110	11,6	19,9	450	550
05/02/19	5,9	6,4	2140	2120	1070	1060	12,3	20,3	550	450
06/02/19	6,0	6,3	2300	2300	1150	1150	12,5	19,3	650	520
07/02/19	5,9	5,9	2440	2420	1220	1210	12,6	13,5	600	570
08/02/19	5,3	6,3	2340	1920	1170	970	9,5	15,2	610	600
09/02/19	6,4	5,6	2220	2460	1110	1230	11,4	20,1	690	680
11/02/19	5,8	5,7	2220	1770	1110	900	12,7	13,9	610	500
12/02/19	5,9	6,0	1780	2020	900	1010	10,2	17,3	590	750
13/02/19	5,4	6,2	2040	2040	1020	1020	11,1	13,9	620	610
14/02/19	5,8	5,3	2060	1930	1030	970	11,6	16,9	740	650
15/02/19	6,1	6,2	2200	1780	1100	890	11,8	18,5	650	570
16/02/19	6,1	6,0	1840	1590	910	800	11,4	13,8	700	660
18/02/19	5,8	5,9	2240	1750	1120	880	13,4	19,3	600	680
19/02/19	6,1	5,9	1950	1820	980	910	13,6	18,6	670	550
20/02/19	6,1	5,9	1850	2160	930	1080	11,4	13,9	650	500
21/02/19	5,8	5,8	2100	2040	1050	1020	11,7	19,1	610	450
22/02/19	5,9	5,7	2160	2060	1080	1030	13,6	24,1	550	460
23/02/19	5,8	5,9	2080	1910	1040	960	13,3	25,1	500	450
25/02/19	5,4	5,9	2140	1830	1070	920	13,8	22,4	480	640
26/02/19	5,8	6,2	1870	2020	940	1010	12,8	17,6	690	640
27/02/19	5,8	5,8	2260	1720	1130	870	13,7	15,0	600	590
28/02/19	6,0	6,0	2020	1880	1010	950	11,3	17,5	630	490

Anexo 29: Registro de parámetros de la solución nutritiva en el periodo de sistema NFT del tanque de 250 litros con sistema de automatización controlado microcontrolador arduino

Fecha	pH		CE en ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		TDS en (ppm)		T° en (°C)		Volumen en (l)	
	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde
20/01/19	6,0	5,9	2140	2100	1070	1050	14,6	22,1	250	230
21/01/19	5,7	5,5	2160	2180	1080	1090	13,7	22,4	220	190
22/01/19	5,7	6,0	2120	2340	1060	1170	15,3	21,2	225	210
23/01/19	5,6	6,0	2020	2140	1010	1070	13,3	15,0	220	190
24/01/19	5,6	6,4	2040	2240	1020	1120	10,0	22,6	210	180
25/01/19	6,0	6,4	1980	2400	1000	1200	14,7	18,4	210	160
26/01/19	5,9	6,0	2200	2000	1100	1020	14,5	21,3	200	270
28/01/19	5,3	6,5	1900	2060	1000	1030	13,8	14,1	235	190
29/01/19	6,4	6,5	2060	2000	1030	1000	13,4	15,5	230	200
30/01/19	6,1	6,3	2000	2340	1010	1170	12,4	14,7	230	180
31/01/19	6,1	6,1	1990	1840	1010	920	10,8	12,0	225	190
01/02/19	5,5	6,5	1900	1680	960	850	11,0	18,4	225	200
02/02/19	6,2	6,2	1830	2240	920	1120	10,6	16,2	210	190
04/02/19	5,6	5,9	2080	2400	1040	1200	12,3	19,9	190	225
05/02/19	5,1	6,2	2100	2240	1050	1120	10,7	20,5	225	200
06/02/19	5,5	6,4	2260	2240	1130	1120	10,8	19,9	225	175
07/02/19	6,1	6,0	2320	2400	1160	1200	10,4	15,1	210	180
08/02/19	5,0	6,2	2340	1760	1170	880	8,9	15,5	200	200
09/02/19	6,3	5,5	2160	2380	1080	1190	10,1	18,1	225	210
11/02/19	6,2	6,1	2180	1620	1090	810	11,6	13,8	190	130
12/02/19	6,0	6,0	1730	2020	860	1010	10,0	17,1	170	250
13/02/19	5,1	6,0	1870	1880	940	950	10,3	13,9	225	175
14/02/19	5,4	6,2	1900	1830	960	930	11,8	17,3	225	200
15/02/19	5,3	6,1	1950	1750	980	900	11,9	18,6	220	150
16/02/19	5,5	6,4	1720	1590	870	810	11,7	14,4	200	175
18/02/19	5,3	5,9	1720	2020	860	1010	13,0	19,6	160	200
19/02/19	5,3	6,0	1890	1780	950	890	13,3	19,3	220	175
20/02/19	5,4	6,1	1730	2000	870	1000	11,6	14,3	200	160
21/02/19	5,5	6,2	1980	2020	990	1010	11,6	21,3	175	125
22/02/19	5,3	6,0	2120	1980	1060	990	13,4	24,3	150	125
23/02/19	5,4	6,3	1950	1640	990	820	13,5	26,0	140	120
25/02/19	5,9	6,1	1920	2040	970	1020	13,1	17,0	130	180
26/02/19	5,8	5,5	1710	1870	860	940	12,4	18,6	190	170
27/02/19	5,0	5,5	2040	1790	1020	900	12,3	15,2	175	125
28/02/19	5,3	6,3	1890	1840	950	930	11,0	19,8	160	115



INFORME DE ENSAYO DE AGUAS A180/15

Cliente:	EDDY QUISPE VILLAZARTE
Solicitante:	Univ. Eddy Quispe Villazarte
Dirección del cliente:	El Alto - Zona Valle Turani
Procedencia de la muestra:	La Paz
	Provincia: Murillo
	Departamento: La Paz
	El Alto
Punto de muestreo:	Univ. Eddy Quispe Villazarte
Responsable del muestreo:	23 de noviembre de 2015
Fecha de muestreo:	10:00
Hora de muestreo:	23 de noviembre de 2015
Fecha de recepción de la muestra:	Del 23 de noviembre al 10 de diciembre, 2015
Fecha de ejecución del ensayo:	Agua de grifo
Caracterización de la muestra:	Simple
Tipo de muestra:	Botella Plástica
Envase:	180-1
Código LCA:	R-1
Código original:	

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	R-1 180-1
Sulfatos	SM 4500-SO4-E	mg/l	1.0	75
Cloruros	SM-4500-Cl-B	mg Cl/l	0.020	0.66
Nitrógeno total	EPA 351.1	mg/l	0.30	0.27
Potasio	EPA 258.1	mg/l	0.21	0.58
Fósforo total	EPA 365.2	mgP-PO ₄ /l	0.010	< 0.010
Calcio	EPA 215.1	mg/l	0.32	42
Hierro	EPA 238.2	mg/l	0.050	0.22

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, Diciembre 18 de 2015


 Ing. Jaime Chocheros Paniagua
 Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental

