

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



**TESIS DE GRADO**

**EFFECTO DEL CAUDAL EN EL RENDIMIENTO DE CUATRO  
VARIETADES DE LECHUGA (*Lactuca sativa*, L.) EN EL SISTEMA  
HIDROPÓNICO NFT (NUTRIENT FILM TECHNIQUE) EN LA ESTACIÓN  
EXPERIMENTAL PATACAMAYA**

**JHENNY MICHEL MAMANI GONZALES**

**LA PAZ – BOLIVIA**

**2022**

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

**EFFECTO DEL CAUDAL EN EL RENDIMIENTO DE CUATRO VARIEDADES DE  
LECHUGA (*Lactuca sativa*, L.) EN EL SISTEMA HIDROPÓNICO NFT (NUTRIENT  
FILM TECHNIQUE) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL PATACAMAYA**

Tesis de grado presentado como requisito

Parcial para optar el título de

Ingeniero Agrónomo

**JHENNY MICHEL MAMANI GONZALES**

**Asesores:**

Ing. M.Sc. Marco Antonio Patiño Fernández. ....

Ing. M.Sc. Medardo Wilfredo Blanco Villacorta .....

**Revisores:**

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

Ing. M.Sc. Freddy Carlos Mena Herrera .....

Ing. Maria Eugenia Cari Mamani .....

**APROBADO**

Presidente tribunal examinador .....

**La Paz – Bolivia**

**2022**



## **DEDICATORIA**

A Dios por sobre todas las cosas, por estar de manera incondicional en todo momento, por darme sabiduría y fortaleza en momentos de dificultad en toda esta etapa académica, así mismo, por este logro obtenido.

A mis padres Ascencio Mamani y Marcela Gonzales que fueron una parte fundamental en este proceso de formación.

A mis abuelas por el apoyo, el ánimo y todo el amor que siempre me brindaron en todo tiempo.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, quien ha sido mi mayor motivación para nunca rendirme.

A mis padres, Ascencio Mamani y Marcela Gonzales que han sabido formarme con buenos sentimientos, valores y hábitos lo cual me ha ayudado a seguir adelante y nunca rendirme.

A mis herman@s Ximena, Edwin, Ivan e Israel quienes fueron mi inspiración en todo momento.

A mis asesores Ing. Wilfredo Blanco Villacorta y Ing. Marco Patiño Fernández por el apoyo, correcciones, sugerencias, concejos y conocimientos brindados, así mismo, por el apoyo desinteresado durante el proceso de este proyecto.

A los docentes Ing. Maria Cari Mamani, ing. Freddy Carlos Mena Herrera, Ing. Marcelo Tarqui Delgado, por los aportes realizados y demostrar el interés en la culminación en este proyecto.

A los docentes de la carrera de Ingeniería Agronómica por las enseñanzas que fueron parte de mi formación profesional.

Al centro experimental Patacamaya por recibirme y permitirme realizar una investigación en sus predios.

A todos mis tíos y tías que siempre me alentaron en todo momento, por brindarme concejos para no desistir en este proceso de formación

A mis amigos y amigas con los que cursé toda esta etapa de formación.

## RESUMEN

El trabajo de investigación se llevó a cabo en la Estación Experimental Patacamaya dependiente de la Facultad de Agronomía – Universidad Mayor de San Andrés, ubicada en el Municipio de Patacamaya de la provincia Aroma a 105 km desde la ciudad de La Paz.

La investigación se realizó dentro de un ambiente atemperado, manejando tres módulos piramidales con una capacidad de 1440 plantas, se aplicó un diseño de bloques completamente al azar en arreglo factorial de parcelas divididas. Donde el factor A fue caudales de: 1 litro/min, 1,5 litros/min y 2 litros/min y el factor B, las cuatro variedades de lechuga *Lactuca sativa* L.: Rubinela, Crocantela, Romanela y Regina. Teniendo una interacción entre factores, resultando un total de 12 tratamientos con tres repeticiones y como factor de variabilidad la temperatura.

La etapa desde la siembra hasta la cosecha fue de 65 días, tuvo un tiempo de permanencia en el almacigo por el lapso de 7 días; en bandejas flotantes de 3 semanas y en el sistema NFT por 37 días.

El porcentaje de emergencia se obtuvo a partir del día 3 después de la siembra. Las variedades Rubinela y Regina alcanzaron el 100%, seguido de la variedad Crocantela con un 83% y la variedad con menor porcentaje de emergencia fue la variedad Romanela con 69%. Sin embargo, en el día 4 todas las variedades llegaron al 100% de su emergencia.

Las variables agronómicas, señalaron: que la variedad Regina fue la que obtuvo mejor rendimiento con una media de 6,59 kg/m<sup>2</sup>. Esta combinación de caudal de 1 litro/min con la variedad Regina, generando rendimientos de 7,64kg/m<sup>2</sup>. Mientras que la variedad Rubinela fue la que obtuvo menores rendimientos de 3,52 kg/m<sup>2</sup> y así mismo, el tratamiento T5 (Rubinela y 1,5 litros/min) con rendimientos de 3,34 kg/m<sup>2</sup>.

Respecto a los análisis económicos se argumenta que el T4 representa índices óptimos con un caudal de 1litro/min, con resultados de 1.70 de beneficio costo, mientras que el tratamiento T1 y T5 son los que obtuvieron un menor beneficio costo de 0.90, pertenecientes ambos a la variedad Rubinela con caudal de 1 litro/min y 1,5

litros /min. Cabe destacar que los demás tratamientos obtuvieron valores superiores a 1, además, hay que tomar muy en cuenta la superficie empleada para realizar la inversión, los valores cambiarán según se empleen más módulos hidropónicos.

## ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
2.	OBJETIVOS .....	3
2.1	Objetivo general .....	3
2.2	Objetivos específicos .....	4
2.3	Hipótesis .....	4
3.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	4
3.1	Hidroponía .....	4
3.2	Cultivos hidropónicos .....	4
3.3	Sistema nft ( <i>nutrient film technique</i> ) .....	4
3.4	Ventajas y desventajas del sistema hidropónico nft .....	5
3.4.1	Ventajas .....	5
3.4.2	Desventajas .....	7
3.5	Componentes de un sistema nft .....	7
3.6	Requerimientos de riego de un sistema nft .....	8
3.6.1	Lámina de riego .....	8
3.6.2	Caudal de fertiirrigación .....	9
3.6.3	Pendiente .....	9
3.6.4	Oxigenación de la solución nutritiva .....	9
3.7	Nutrición vegetal .....	10
3.7.1	Fotosíntesis .....	10
3.7.2	Nutrición mineral .....	10
3.8	Solución nutritiva .....	11
3.8.1	Sales inorgánicas .....	11
3.8.2	Formulación de solución nutritiva .....	11
3.8.3	Calidad de Agua de riego en un sistema NFT .....	12
3.8.3.1	Fuentes de agua para el riego .....	13
3.8.3.2	Análisis químico de agua .....	13
3.8.3.3	Dureza .....	13
3.8.3.4	Salinidad .....	14
3.8.4	Gestión de la solución nutritiva .....	14

3.8.4.1	Temperatura .....	14
3.8.4.2	Potencial de hidrogeno pH.....	15
3.8.4.3	Conductividad eléctrica CE .....	15
3.8.4.4	Oxígeno disuelto .....	16
3.8.4.5	Vida útil de la solución nutritiva .....	16
3.9	Cultivo de lechuga.....	17
3.9.1	Taxonomía .....	17
3.9.2	Morfología .....	17
3.9.3	Variedades de lechuga .....	18
3.9.3.1	Romanela.....	18
3.9.3.2	Crocantela.....	18
3.9.3.3	Regina.....	19
3.9.3.4	Rubinela.....	19
3.9.4	Requerimientos climáticos del cultivo de lechuga .....	19
3.9.4.1	Temperatura .....	19
3.9.4.2	Luminosidad.....	20
3.9.4.3	Humedad relativa .....	20
3.9.5	Requerimiento nutricional .....	20
3.9.6	Manejo del cultivo .....	21
3.9.7	Plagas y enfermedades .....	22
4.	LOCALIZACIÓN.....	24
4.1	Localización .....	24
4.2	Ubicación geográfica.....	25
4.3	Características generales de la zona .....	25
5.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	26
5.1	Materiales .....	26
5.1.1	Material de gabinete.....	26
5.1.2	Material vegetal.....	27
5.1.3	Material de laboratorio .....	27
5.1.4	Instrumentos de meteorología .....	27
5.1.5	Material de reactivos químicos.....	28



5.1.6	Material de fertilización .....	28
5.1.7	Material de almacigo .....	28
5.1.8	Material para bandeja flotante.....	29
5.1.9	Material para el sistema de riego .....	29
5.2	Metodología .....	30
5.2.1	Trabajo de campo .....	31
5.2.1.1	Sistema de fertirrigación.....	31
a)	Instalación del sistema de riego.....	31
•	Instalación y medición del caudal y presión de la electrobomba.....	31
•	Distribución las líneas de riego .....	32
•	Distribución del caudal para cada canal de cultivo .....	34
b)	Automatización y programación del sistema de riego .....	34
5.2.1.2	Actividades relacionadas al cultivo .....	35
a)	Almacigo .....	35
b)	Bandejas flotantes.....	36
c)	Actividades dentro del sistema NFT.....	37
•	Limpieza y desinfección del sistema NFT .....	37
•	Transplante definitivo al sistema NFT .....	38
5.2.1.3	Preparación de la solución nutritiva para el sistema NFT .....	38
a)	Análisis químico de aguas. ....	38
b)	Tratamiento de agua .....	40
c)	Formulación de la solución nutritiva .....	40
d)	Monitoreo de la solución nutritiva.....	41
5.2.1.4	Medición de la humedad y temperatura del ambiente.....	42
5.2.1.5	Cosecha.....	42
5.3	Procedimiento experimental.....	42
5.3.1	Diseño experimental .....	42
5.3.1.1	Modelo aditivo lineal.....	43
5.3.1.2	Factores de estudio.....	43
5.3.1.3	Interacción de los factores de estudio.....	43
5.3.1.4	Superficie experimental.....	44

5.3.1.5	Croquis experimental .....	45
5.3.2	Variables de estudio.....	46
5.3.2.1	Variables agronómicas.....	46
a)	Porcentaje de emergencia .....	46
b)	Número de hojas por planta.....	46
c)	Longitud de hojas.....	46
d)	Diámetro del tallo acaule.....	47
e)	Volumen de raíz.....	47
f)	Peso fresco .....	47
5.3.2.2	Variables de rendimiento .....	47
a)	Rendimiento ajustado .....	48
b)	Número de cosecha anual .....	48
5.3.2.3	Variables económicas.....	48
a)	Beneficio bruto (BB).....	48
b)	Costos variables (CV) .....	49
c)	Costos fijos (CF) .....	49
d)	Costos totales (CT) .....	49
e)	Beneficio neto (BN).....	50
f)	Relación beneficio costo (B/C).....	50
6.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	51
6.1	Fluctuaciones de factores abióticos .....	51
6.1.1	Comportamiento de la temperatura en el ambiente atemperado .....	51
6.1.2	Comportamiento de la humedad relativa .....	53
6.1.3	Comportamiento de la conductividad eléctrica.....	54
6.1.4	Comportamiento de los sólidos totales (ppm).....	55
6.1.5	Comportamiento del pH .....	56
6.1.6	Temperatura de la solución nutritiva .....	57
6.2	Variables de respuesta para el sistema NFT .....	57
6.2.1	Porcentaje de emergencia .....	57
6.2.2	Diámetro del tallo .....	59
6.2.3	Volumen de raíz.....	61

6.2.4	Número de hojas.....	66
6.2.5	Longitud de hoja .....	68
6.2.6	Peso comercial .....	71
6.2.7	Rendimiento por metro cuadrado.....	74
6.2.8	Número de campañas por año.....	78
6.3	Análisis económico .....	79
6.3.1	Rendimiento ajustado .....	79
6.3.2	Beneficio bruto .....	79
6.3.3	Costos variables.....	80
6.3.4	Costos fijos .....	81
6.3.5	Costo total.....	81
6.3.6	Beneficio neto .....	81
6.3.7	Relación beneficio/costo .....	82
7.	CONCLUSIONES .....	83
8.	RECOMENDACIONES.....	85
9.	BIBLIOGRAFÍA .....	86
10.	ANEXOS .....	92
10.1	Características del ambiente atemperado.....	92
10.2	Antes de la etapa del cultivo .....	94
10.3	Etapa de almacigo .....	94
10.4	Etapa de raíz flotante .....	94
10.5	Etapa del Sistema NFT.....	95
10.6	Variedades manejadas en la investigación .....	95
10.7	Software hydrobuddy .....	95
10.8	Presentación del proyecto de investigación .....	96
10.9	Registros.....	96

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Clasificación taxonómica.</i> .....	17
Tabla 2. <i>Requerimiento nutricional de la lechuga.</i> .....	21
Tabla 3. <i>Etapas de crecimiento del cultivo de lechuga hidropónico.</i> .....	21
Tabla 4. <i>Varietades de semillas peletizadas y cantidad de uso.</i> .....	27
.Tabla 5. <i>Material de laboratorio.</i> .....	27
Tabla 6. <i>Instrumentos meteorológicos.</i> .....	27
Tabla 7. <i>Reactivos químicos.</i> .....	28
Tabla 8. <i>Fertilizantes químicos.</i> .....	28
Tabla 9. <i>Material de almacigo.</i> .....	28
Tabla 10. <i>Material para las bandejas flotantes.</i> .....	29
Tabla 11. <i>Material del sistema de riego.</i> .....	30
Tabla 12. <i>Frecuencia de automatización del timer digital.</i> .....	35
Tabla 13. <i>Análisis químico del agua de la Estación Experimental Patacamaya.</i> .....	39
Tabla 14. <i>Niveles permisibles de la calidad de agua.</i> .....	40
Tabla 15. <i>Formulación de solución nutritiva.</i> .....	41
Tabla 16. <i>Interacción de los factores de estudio.</i> .....	44
Tabla 17. <i>Detalles de la superficie experimental del ambiente atemperado.</i> .....	45
Tabla 18. <i>Análisis de varianza del diámetro del tallo (mm) con la aplicación de 3 caudales diferentes.</i> .....	60
Tabla 19. <i>Comparaciones de medias de diámetro del tallo (mm) de lechuga (Lactuca sativa L.) Por Duncan para el factor variedades.</i> .....	61
Tabla 20. <i>Análisis de varianza de volumen de raíz en (cm<sup>3</sup>) con la aplicación de 3 caudales diferentes.</i> .....	62
Tabla 21. <i>Comparaciones de medias de volumen de raíz en (cm<sup>3</sup>) de lechuga (Lactuca sativa L.) Por Duncan para el factor variedades.</i> .....	63
Tabla 22. <i>Comparaciones de medias de volumen de raíz de lechuga (Lactuca sativaL.) Por Duncan para la interacción de caudal y variedad.</i> .....	64
Tabla 23. <i>Análisis de varianza de número de hojas con la aplicación de 3 caudales diferentes.</i> .....	66

Tabla 24. Comparaciones de medias de número de hojas de lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> L.) Por Duncan al 5% para el factor B variedad. ....	67
Tabla 25. Análisis de varianza de longitud de hoja (cm <sup>3</sup> ) con la aplicación de 3 caudales diferentes. ....	68
Tabla 26. Comparaciones de medias de longitud de hojas (cm) de lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> L.) Por Duncan para el factor A Caudal. ....	69
Tabla 27. Comparaciones de medias de longitud de hojas de lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> L.) Por Duncan para el factor B variedad. ....	70
Tabla 28. Análisis de varianza del peso comercial de la lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> L.) con la aplicación de 3 caudales diferentes. ....	71
Tabla 29. Comparaciones de medias del peso comercial de la planta (gr) de lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> L.) Por Duncan para el factor B variedades. ....	72
Tabla 30. Comparaciones de medias del peso comercial de lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> L.) Por Duncan para la interacción de caudal y variedad. ....	73
Tabla 31. Análisis de varianza del rendimiento de la lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> L.) por m <sup>2</sup> con la aplicación de 3 caudales diferentes. ....	74
Tabla 32. Comparaciones de medias del rendimiento por m <sup>2</sup> (kg/m <sup>2</sup> ) de lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> L.) Por Duncan para el factor B variedades. ....	75
Tabla 33. Comparaciones de medias del rendimiento/m <sup>2</sup> (kg/m <sup>2</sup> ) de lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> L.) Por Duncan para la interacción de caudal y variedad. ....	76
Tabla 34. Cosecha escalonada, producción continua intensiva (360 plantas semanales por pirámide). ....	78
Tabla 35. Rendimiento promedio y rendimiento ajustado .....	79
Tabla 36. Beneficio bruto anual por tratamiento (Bs/año). ....	80
Tabla 37. Costo variable total por tratamiento (Bs/año). ....	80
Tabla 38. Costos fijos generales y costos fijos por tratamiento.....	81
Tabla 39. Costo total general y costo total por tratamiento .....	81
Tabla 40. Beneficio neto por tratamiento.....	82
Tabla 41. Relación beneficio costo por tratamiento.....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Imagen satelital de la Estación Experimental Patacamaya y del área de investigación</i> .....	24
Figura 2. <i>Ubicación del área experimental</i> .....	25
Figura 3. <i>Instalación de la electrobomba</i> .....	31
Figura 4. <i>Medición de la presión de la bomba</i> .....	32
Figura 5. <i>Medición del caudal por el método volumétrico</i> . ....	32
Figura 6. <i>Descripción y detalles de las tuberías de fertirrigación del sistema hidropónico NFT</i> .....	33
Figura 7. <i>Disposición de las tuberías de fertirrigación sobre los módulos hidropónicos piramidales</i> . ....	33
Figura 8. <i>Medición del caudal por canal de cultivo</i> .....	34
Figura 9. <i>Distribución del caudal a través de paso de llave de 16 mm</i> .....	34
Figura 10. <i>Almacigo en bandejas con grava</i> . ....	36
Figura 11. <i>Primer trasplante a las bandejas flotantes</i> . ....	37
Figura 12. <i>Trasplante de las bandejas flotantes al sistema NFT</i> .....	38
Figura 13. <i>Trasplante definitivo al sistema NFT</i> . ....	38
Figura 14. <i>Instrumentos de medición e insumos hidropónicos</i> .....	41
Figura 15. <i>Croquis experimental de las unidades experimentales, planta única (vista en planta tipo A)</i> . ....	45
Figura 16. <i>Distribución de las unidades experimentales ubicadas en los módulos hidropónicos tipo A</i> .....	46
Figura 17. <i>Variación de temperatura en el ambiente atemperado (media semanal)</i> . 52	
Figura 18. <i>Comportamiento de la humedad relativa máxima, mínima y media (%)</i> . . 53	
Figura 19. <i>Comportamiento de la conductividad eléctrica (mS/cm) en la solución nutritiva dentro del sistema NFT</i> .....	54
Figura 20. <i>Comportamiento de la cantidad de sólidos disueltos en la solución nutritiva dentro del sistema NFT</i> . ....	55
Figura 21. <i>Comportamiento del pH en la solución nutritiva dentro del sistema NFT</i> . 56	
Figura 22. <i>Comportamiento de la temperatura de la solución nutritiva dentro del sistema NFT</i> . ....	57

Figura 23. *Porcentaje de emergencia a los 4 días después de la siembra. .... 58*

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Modelación del ambiente atemperado .....	92
Anexo 2. Modelación del ambiente atemperado, vista frontal. ....	92
Anexo 3. Corte central del ambiente atemperado, Vista frontal. ....	93
Anexo 4. Vista trasera de los canales de cultivo. ....	93
Anexo 5. Perforación de los canales de cultivo a 20cm de distancia .....	94
Anexo 6. Disposición y construcción del 3er modulo piramidal .....	94
Anexo 7. Siembra de semillas .....	94
Anexo 8. Plántulas listas para el transplante.....	94
Anexo 9. Preparación y corte de esponjas.....	94
Anexo 10. Disposición de las plántulas en las bandejas flotantes.....	94
Anexo 11. Vista lateral de las raíces en las bandejas flotantes.....	95
Anexo 12. Plántulas envueltas con esponja.....	95
Anexo 13. Plántulas envueltas con esponja.....	95
Anexo 14. Transplante de raíz flotante a NFT.....	95
Anexo 15. Limpieza de plantas antes del ingreso a NFT .....	95
Anexo 16. Transplante definitivo al sistema NFT. ....	96
Anexo 17. Plantas a los 10 días en el sistema NFT. ....	96
Anexo 18. Variedad Rubinela.....	96
Anexo 19. Variedad Crocantela.....	96
Anexo 20. Variedad Regina.....	96
Anexo 21. Variedad Romanela.....	96
Anexo 22. Formulación de la solución nutritiva .....	97
Anexo 23. Costos de los fertilizantes utilizados (bs). ....	97
Anexo 24. Presentación del proyecto en el Dipgis .....	98
Anexo 25. Presentación del proyecto en la estación Experimental Patacamaya. ....	98
Anexo 26. Interacción social del proyecto de investigación en la estación experimental Patacamaya .....	98
Anexo 27. Registro de factores abióticos (Humedad, temperatura superior e inferior, máximas y mínimas) .....	99
Anexo 28. Consumo de energía eléctrica y costo total hasta la cosecha.....	99



## 1. INTRODUCCIÓN

Numerosas investigaciones hicieron notar la influencia limitativa del clima sobre la producción agrícola, donde se marca en periodos de sequía el déficit hídrico, heladas nocturnas y elevada radiación, estos factores hídricos y térmicos intervienen ante su intensidad como para su variabilidad en la producción agrícola.

Así mismos, factores intrínsecos como la erosión, degradación de suelos, crecimiento poblacional, migración, parcelación, provocados por el mismo clima y otros provocados por la acción antrópica son limitantes para una agricultura sostenible.

De acuerdo con Leahy (2018), afirma que el 75% de área terrestre se encuentra degradada, debido a la erosión del viento que provoca pérdidas en la capa superior del suelo de cultivo, se pronostica que para el 2050 exista una degradación del suelo del 95 % en la superficie terrestre.

Según Schwartzstein (2019), menciona que los agricultores de todo el mundo confían en la sabiduría milenaria para guiar sus cultivos agrícolas tradicionales, sin embargo, el cambio climático altera las estaciones y hacen que dificulten estas tradiciones por lo cual estos acontecimientos se ven reflejados en el rendimiento de los cultivos y donde los agricultores no saben cómo y cuándo expandirse por los tiempos irregulares, teniendo repercusiones adversas que han acarreado consecuencias económicas, por lo cual existe la migración rural.

Así mismo, el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA), argumenta que *“los pequeños agricultores de Bolivia producen el 85 % de los alimentos que necesita la población, pero la productividad agrícola no está logrando responder a las necesidades de la creciente población”* (FIDA, 2021).

En respuesta a estos acontecimientos, nace la necesidad de producir alimentos ricos en nutrientes necesarios para el desarrollo humano, con el uso de tecnologías adecuadas para una producción estratégica y sostenible de cualquier cultivo. Una de estas tecnologías atrayentes para el agricultor es la hidroponía, estrategia

tecnológica, altamente eficiente en el uso de agua principal insumo para la producción.

Ante esta situación el Banco de Bilbao y Banco de Vizcaya Argentina (BBVA), menciona que *“la hidroponía es una pata más de los cultivos del futuro y una propuesta más por la sostenibilidad de la agricultura, donde no se necesita suelo agrícola, solo agua, luz natural o artificial y nutrientes”* (BBVA s.f.).

Dentro de estas técnicas hidropónicas existe un sinnúmero de cultivos especialmente hortalizas que se adaptan potencialmente en su crecimiento y desarrollo, siendo así que, una de las mencionadas son las hortalizas de mayor consumo, como es la lechuga, cultivo que se adapta con mayor plenitud en un sistema hidropónico, debido al tiempo de permanencia, manejo y comercialización, por lo cual, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (2019), realizó un análisis de los nutrientes que provee la lechuga donde indica que contiene vitaminas, minerales, aminoácidos, isoflavonas, energía y contenido de agua del 94,7 gr/100gr en peso de lechuga (USDA, 2019)

Por lo tanto, al ser la lechuga un cultivo de gran importancia existe diferencias marcadas a medida que transcurren los años en cuanto al rendimiento en suelo y el rendimiento en hidroponía, por lo cual, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), menciona que el rendimiento de lechuga es de 30.000 a 40.000 kg/ha (FAO, 2019), en la ciudad de La Paz se registró 6.106,4 kg/ha muy por debajo de lo mencionado.

Urey (2007), en predios de la Universidad San Simón de Cochabamba en sistema NFT se obtuvo rendimientos de 30.000 a 40.000 ton/ha, haciendo un buen uso del recurso suelo (espacio) y agua.

Así mismo, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) sostiene que la superficie agrícola en Bolivia es de 3,8 millones de hectáreas (FAO, 2019). Donde según Sistema Integral de Información Productiva (SIIP), describe que en los últimos 2 años desde el 2020 y 2021 la superficie cultivable de lechuga se incrementa a 4 hectáreas a nivel nacional. Sin embargo, se evidencia el descenso de la producción de lechuga de 6.570 a 6.524 ton/ha, con una

diferencia de 46 ton/ha en los últimos 2 años. Se verifica mayor producción en los departamentos de Chuquisaca, Santa Cruz y La Paz, con una producción de 5 a 6 Ton/ha, mostrando al cultivo como una de las hortalizas de mayor consumo, pero con un descenso en su rendimiento (SIIP, 2021).

Por estas situaciones mediante esta alternativa se pretende desarrollar e incrementar la producción y calidad de cultivo, sea a pequeña o a gran escala. La producción de lechugas bajo un sistema hidropónico, ha tomado gran importancia, donde el Banco de Bilbao y Banco de Vizcaya Argentina (BBVA) asegura que 20.000 y 25.000 hectáreas son utilizados bajo un desarrollo hidropónico en el mundo, convirtiéndose poco a poco en la agricultura del futuro (BBVA s.f.).

Adicional a esta alternativa de producción lo que también se pretende es manejar el recurso agua de manera eficiente. Por lo cual, esta técnica permite disminuir la pérdida de agua por diversos factores. Así mismo, Cabezas (2019), considera que en cultivos de suelo el gasto de agua es mayor a la de un sistema hidropónico, un claro ejemplo es la de una planta de lechuga que consume de 4 a 5 litros de agua en hidroponía, comparado con el suelo donde se necesita regar con 50 a 60 litros de agua. Por lo cual, a través de la presente investigación se procede a analizar los efectos de los distintos volúmenes de agua en un tiempo determinado dentro de un sistema hidropónico NFT, permitiendo al productor disminuir los costos de producción y manejar de manera eficiente el uso del agua, minimizando las problemáticas mencionadas, siendo una propuesta para la sostenibilidad y seguridad alimentaria.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

- Evaluar el efecto del caudal en el rendimiento de cuatro variedades de lechuga (*Lactuca sativa*, L.) en el sistema hidropónico NFT (Nutrient film technique) en la Estación Experimental Patacamaya.

## **2.2 Objetivos específicos**

- Evaluar las variables agronómicas de cuatro variedades de Lechuga Romanela, Crocantela, Rubinela, Regina, bajo el efecto de caudal.
- Identificar el mejor caudal para la producción de lechuga en sistema NFT.
- Realizar un análisis económico en relación al beneficio costo por tratamiento.

## **2.3 Hipótesis**

- Ho: El caudal no tendrá efecto sobre las variables agronómicas en las cuatro variedades de lechuga.

## **3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 Hidroponía**

La hidroponía es una ciencia que estudia los cultivos sin la intervención del suelo agrícola, con el uso de un medio inerte, líquido o sólido, a los que se agrega una solución de micro y macro nutrientes esenciales solubles en agua, según el requerimiento de la planta para lograr el crecimiento y desarrollo óptimo de excelente calidad en espacios reducidos (Sanchez, 2013).

### **3.2 Cultivos hidropónicos**

En los cultivos hidropónicos el suelo vivo deja de ser determinante, debido a que cumple las 3 funciones principales del suelo: sostén, alimento y suministro de agua. Así mismo, los cultivos hidropónicos se adaptan en zonas con diferentes áreas climáticas, ya sean zonas áridas como desiertos, zonas con aguas duras, zonas con poca superficie cultivable y zonas que se encuentran en latitudes septentrionales (Resh, 2001).

### **3.3 Sistema nft (*nutrient film technique*)**

Según Cabezas (2019), sostiene que el 7% de los productores cultivan en un sistema recirculante y solo el 3% cultiva en un sistema de raíz flotante. El 90% ocupa el sistema hidropónico de riego por goteo en sustrato, sea en sustrato inerte u orgánico.

Además, indica que un sistema hidropónico apto para hortalizas de hojas es uno donde recircule la solución nutritiva, utilizado mayormente en Latinoamérica y el mundo un sistema NFT o MIXTO, este último siendo una combinación entre NFT y raíz flotante, donde la pendiente es cero.

El sistema hidropónico NFT “Nutrient film technique” (Técnica de la película nutritiva o flujo laminar de nutrientes), se originó en Inglaterra con el objetivo de aumentar la productividad en el sector hidropónico, creando un sistema cerrado donde recircula la solución nutritiva asimilado por las plantas mediante la absorción por los sistemas radiculares de las plantas, aprovechando al máximo el espacio total y el recurso hídrico, favoreciendo el crecimiento y desarrollo de las plantas (Brenes & Jimenez, 2016).

En un sistema NFT la solución nutritiva es administrada de forma continua mediante una delgada película nutritiva a cierta pendiente, proporcionando el contacto entre el agua y el aire permitiendo respirar a las raíces, ingresando de la parte superior retornando en la parte inferior directo hacia el tanque alimentador (Arano, 2016).

### **3.4 Ventajas y desventajas del sistema hidropónico nft**

Al cultivar diferentes tipos de hortalizas bajo condiciones hidropónicas, existe gran preeminencia con resultados positivos sobre cultivos del suelo a nivel mundial y también respecto al espacio del cultivo, sin embargo, cabe recalcar que también estos sistemas hidropónicos conllevan dificultades en su proceso productivo.

#### **3.4.1 Ventajas**

Texier (2017), destaca que las ventajas de un sistema hidropónico son:

- **Control absoluto de los nutrientes:** En todo momento se puede comprobar la calidad y cantidad de nutrientes disueltos en el agua.
- **Conservación del agua.** En hidroponía las plantas exudan mucho más que en el suelo por lo cual tienen un desarrollo sano, además, por la velocidad en la cual crecen y se densifican supone un gran consumo de agua, sin embargo, toda el agua utilizado será exudado por la planta, sin tener pérdidas por infiltración y por evaporación.

- **Todo el fertilizante es absorbido por la planta.** A comparación de un cultivo convencional elimina el peligro de contaminación de la capa freática y el riesgo de reducir la actividad microbiana del suelo ya que nada se transmite al suelo, ni del suelo a la planta.
- **Reducción del uso de pesticidas gracias a una óptima salud y a un crecimiento más rápido.** El ataque de las plagas es menos agresivo, permite superar o resistir los ataques y el control de plagas es más factible.
- **La inutilidad de recurrir a herbicidas.** La hidroponía es considerada una técnica limpia.
- **Mayor productividad, mejor calidad y cosechas más tempranas.** Las plantas gozan de mejores condiciones al expresar todo su potencial.

El mismo autor indica los beneficios relacionados con las cámaras de cultivos:

- **Aprovechamiento óptimo del espacio.** Las plantas reciben todos los nutrientes en un espacio reducido, sin que exista competencia entre ellas como lo que ocurre en la técnica de los cultivos biointensivos o mar de verduras.
- **Control de la nutrición.** Se puede controlar la nutrición respecto a cada etapa fenológica del cultivo con la facilidad de modificar la solución nutritiva.
- **Eliminación total del uso de tierra.** Por lo tanto, mejor control de los parámetros difíciles de controlar en los suelos.
- **Estandarización y automatización del sistema sea ambiental o de la simplificación del riego.**
- **Menor consumo de agua.** Sistema adecuado para lugares donde el agua de calidad es un bien escaso.
- **Aislación de las plantas del suelo.** Por ende, la eliminación de contaminaciones provenientes del suelo.
- **Eliminación de tareas consumidoras de tiempo.** Entre otras, la esterilización de tierra, la eliminación de malezas, etc.
- **Ecológicamente inerte.** Prácticamente no hay desechos en su uso.

### 3.4.2 Desventajas

El mismo autor hace referencia a las desventajas de un sistema hidropónico:

- **Alto costo de inversión inicial.** Mientras más equipado y a mayor escala sea el sistema hidropónico, mayor gasto de inversión
- **Un mal ajuste del pH y de la conductividad eléctrica.** Puede causar un desequilibrio nutricional, ya que la amortiguación de un sistema hidropónico es menor a la del suelo.
- **Exige un diseño bien diagramado.** Las pendientes y el flujo nutritivo deben ser cuidadosamente diseñados.
- **Enfermedades y virus pueden propagarse.** Dado que es un sistema absolutamente cerrado, es fácil la transmisión de problemas de este tipo en caso de existir.

### 3.5 Componentes de un sistema nft

Carrasco & Izquierdo (1996), describen que un sistema hidropónico está compuesto por cinco elementos principales:

- **Estanque colector.** Tiene como función almacenar la solución nutritiva. La elección del tanque según su material debe ser libre de material tóxico o corrosivo, lo recomendable es utilizar tanques de PVC o de fibra de vidrio tratado. La elección según a su capacidad está en función del tipo de planta, época del año, consumo de agua por planta y al número de plantas, adicionando un 25% de volumen remanente.
- **Canales de cultivo.** Tiene como función la sujeción de las plantas y permite el paso de la solución nutritiva en forma expedita a través de ellos. Los materiales a elegir pueden ser poliestireno, polietileno extrusado y pvc, ya sea de tipo rectangular o cilíndrico.

Según Cabezas (2019), indica que la longitud de un canal de cultivo está en función a la región a implementar, debido a que existen diferencias climáticas en cada zona o región, estas pueden ser zonas frías, templadas o cálidas. Además, argumenta que a

mayor longitud, mayor temperatura en los canales y menor disponibilidad de oxígeno disuelto para las plantas.

- **Bomba.** Tiene como función impulsar la solución nutritiva desde el tanque colector hasta la parte más alta de los canales de cultivo. La bomba debe ser de tipo eléctrico de operación accionada por un motor eléctrico monofásico o trifásico. Así mismo, es necesario que la tubería de succión cuente con una válvula de retención para mantener el sistema de succión cebado frente a detenciones voluntarias e involuntarias como la caída de energía.
- **Red de distribución.** Tiene como función transportar la solución nutritiva desde el tanque hasta los canales de cultivo. La red principal de distribución está formada por una matriz de tuberías de pvc no superior a 1 pulgada de diámetro para garantizar la entrada de 2 a 3 Litros por minuto de solución por canal de cultivo, así mismo, la red secundaria de distribución está formada por micro tubos de 6x4mm las cuales son unidas por un conector bilabial de 8mm.
- **Tubería colectora.** Tiene como función recolectar la solución nutritiva desde los canales de cultivo llevándolos al tanque colector, descendiendo por gravedad, así mismo, ayudando también con la oxigenación, se utilizan materiales libres de corrosión como los de pvc u otro material de plástico, estas pueden ser de 2 a 3 pulgadas de diámetro.

### **3.6 Requerimientos de riego de un sistema nft**

Carrasco & Izquierdo (1996), considera que un sistema hidropónico tiene diversos requerimientos para una producción exitosa, de buen manejo y con un buen funcionamiento:

#### **3.6.1 Lámina de riego**

La circulación de una lámina fina permite la aireación de las raíces, esta lámina deberá ser de 4 o 5 mm de altura, para ayudar con la aireación de las raíces, por ende la oxigenación en las raíces.



Sin embargo, Cabezas (2019), revela que también la altura de la lámina puede ser mayor y éste desplazarse por rebalse a  $\frac{3}{4}$  partes del diámetro del canal de cultivo, siempre y cuando se cuente con un buen sistema de oxigenación para solventar la solución estática en los canales de cultivo. Este sistema es una modificación del sistema hidropónico NFT propiamente dicho, llamado sistema hidropónico NFT MIX que básicamente no cuenta con ningún tipo de pendiente.

### **3.6.2 Caudal de fertirrigación**

El caudal necesario para proporcionar a la planta una buena cantidad de agua, oxígeno y nutrientes es de 2 litros/min por canal de cultivo, sin embargo este caudal puede aumentar a medida que las plantas aumenten de tamaño, pero esto puede generar un colchón de raíces en los canales de cultivo.

Así mismo, AgrowTronics (2021), recomienda el uso de la cantidad de agua según el tamaño de las plantas:

- **En plantas pequeñas.** Es necesario el uso de 0.5 Galón de agua. Por ejemplo, las hortalizas de hoja pequeña como lechuga, pak choi, etc.
- **En plantas medianas.** Se recomienda el uso de 1 a 1.5 Galón de agua. Ejemplo, albahaca, apio, acelga etc.
- **En plantas grandes.** Se recomienda el uso de agua de 2.5 Galón de agua. Ejemplo en tomates en la fase de fructificación.

### **3.6.3 Pendiente**

La pendiente longitudinal en los canales de cultivo debe ser de 2 o 3% para que la solución nutritiva fluya por gravedad, pendientes superiores al 5% dificultan la absorción del agua y nutrientes, así mismo, pendientes menores al 2% dificultan el flujo de retorno de la solución nutritiva al tanque colector.

### **3.6.4 Oxigenación de la solución nutritiva**

La solución nutritiva se oxigena por circulación y por la caída abrupta sobre el remanente de solución nutritiva en el estanque colector, además, por la caída del

retorno, donde se produce turbulencia y posterior aireación, por lo tanto, se debe considerar 50 cm de altura desde el canal de desagüe al tanque colector.

Otra fuente de oxígeno es mediante una tubería de retorno de la bomba, entonces, si una bomba de agua es potente, se coloca una tubería de retorno para bajar el caudal y la presión de la bomba, así tener otra fuente de oxígeno (AgrowTronics, 2021).

### **3.7 Nutrición vegetal**

La nutrición vegetal “Es el proceso de suministro y absorción de los compuestos químicos (nutrientes) requeridos por un organismo vivo (Plantas) para su normal crecimiento y desarrollo”, se realiza a través de 2 procesos: la fotosíntesis y la nutrición mineral (Chilon, 2013).

#### **3.7.1 Fotosíntesis**

De acuerdo con Chilon (2013), considera que la fotosíntesis es un proceso de transformación del dióxido de carbono del aire en presencia de agua y energía lumínica, generando sustancias orgánicas y oxígeno. Dado por dos procesos bioquímicos: fotofosforilación o fase lumínica y la de biosíntesis orgánica o fase oscura.

#### **3.7.2 Nutrición mineral**

Es la capacidad de absorción de sustancias químicas de naturaleza inorgánica. Existen 16 elementos químicos considerados como esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, los cuales indican que no pueden ser reemplazados por otros. Arbitrariamente divididos en macroelementos (requeridos relativamente en gran cantidad) y microelementos (Requeridos relativamente en menor cantidad). Los cuales se suministran directamente a las plantas mediante la disolución de sales en una solución nutritiva (Resh M., 2013).

### **3.8 Solución nutritiva**

Favela et al. (2006), sostiene que la solución nutritiva es una solución acuosa formada por la incorporación y adición de nutrientes al agua, tales como microelementos y macroelementos en forma iónica, teniendo en cuenta un balance adecuado para que las plantas puedan desarrollarse.

#### **3.8.1 Sales inorgánicas**

Para elegir una adecuada fertilización se toman aspectos muy importantes como: el costo, sin embargo, el aspecto más importante a tomar en cuenta es: la alta solubilidad de las sales, y la pureza, existen sales con una solubilidad baja, estas pueden estar disponibles en pequeñas cantidades para la planta, siendo así que existirá demanda de nutrientes, entonces, cuando el fertilizante no es muy soluble, del 100% de aplicación solo el 50% o 25% se encuentra disponible para la planta, el resto no se disuelve en el agua (Resh M., 2013).

Así mismo Cabezas (2019), recomienda que para elegir un fertilizante y formular adecuadamente es necesario saber el grado de pureza y riqueza de dicho fertilizante. La riqueza indica la cantidad de nutrientes que aporta un fertilizante, mientras que la pureza indica la cantidad de materiales inertes existentes en el fertilizante que no aportan ningún beneficio. La mayoría de los fertilizantes tienen un 95% de pureza.

Se deben elegir fertilizantes compatibles entre sí, para evitar precipitaciones de aniones y cationes, generando la no disponibilidad del elemento provocando deficiencias nutricionales en el cultivo (Arano, 2016).

#### **3.8.2 Formulación de solución nutritiva**

Como expresa Beltrano & Gimenez (2015), “La planta no puede absorber los elementos en su forma simple por lo que se les deben proveer en forma de iones, para que los pueda asimilar”.

A su vez Soria C., (2012), indica que la formulación óptima de una solución nutritiva depende de: la especie y la variedad de la planta, etapa fenológica, órgano de la planta que será cosechado (raíz, tallo, hoja fruto), época del año, temperatura e iluminación y pueden ser formuladas a través de concentraciones en soluciones madres.

Las soluciones concentradas pueden formularse a través de 2 soluciones madres A y B. La solución concentrada A esta compuesta por elementos que las plantas consumen en gran cantidad (nitrato de calcio) y la solución concentrada B están compuestas por elementos que la planta consume en menor cantidad (Sulfato de Magnesio, Sulfato de Cobre, Sulfato de Manganeso, Sulfato de Zinc, Ácido Bórico, Molibdato de Amonio, Quelato de Hierro). Ambos esenciales para que la planta pueda desarrollar normalmente los procesos fisiológicos. La relación de estas soluciones es de 5:2 (Marulanda, 2003).

Sin embargo, Cabezas (2019), recomienda formular la solución nutritiva en 3 soluciones madres A, B, C. Puesto que no se debe mezclar el Nitrato de calcio con el anión sulfato o anión fosfato, ya que puede ocurrir precipitaciones en la solución nutritiva formándose fosfato de calcio o sulfato de calcio, Así mismo, no se deben mezclar elementos fosfatados y sulfatados en una misma solución madre. La relación de aplicación es proporcional 5:5:5.

### **3.8.3 Calidad de Agua de riego en un sistema NFT**

Para Beltrano & Gimenez (2015), el agua representa el 60 a 90 % del peso fresco de planta, siendo como un vehículo de nutrientes por el xilema y fotoasimilado por el floema y facilita el enfriamiento de las hojas y permite el crecimiento de las células, sin embargo, aparte de los nutrientes que se agrega, existen diferentes parámetros que se deben tomar en cuenta en la calidad del agua.

### 3.8.3.1 Fuentes de agua para el riego

En cuanto a Cabezas (2019), sostiene que el agua es la materia prima en un sistema hidropónico. Existen diferentes fuentes de agua para el fertirriego en hidroponía como:

**Aguas superficiales.** Son aguas que se encuentran en ríos, lagunas, cuando el agua es más superficial es más variable a lo largo del año, donde mayor es la influencia del clima y del hombre.

**Aguas subterráneas.** Son aguas cuya composición mineralógica son más estables a lo largo del tiempo, más recomendable para el uso en Hidroponía.

**Aguas tratadas.** Son aguas con pH tratado y con minerales eliminados y con cloro eliminado, por ejemplo las aguas que son embotelladas.

**Agua recolectada de lluvia.** Lluvia ácida (Ácido sulfúrico, Acido carbónico) una opción para el futuro.

### 3.8.3.2 Análisis químico de agua

Carrasco & Izquierdo (1996), indican que es necesario realizar un análisis de agua para saber su aporte de elementos minerales y para tener en cuenta si el agua es apta para realizar hidroponía.

Así mismo, Cabezas (2019), argumenta que es necesario el análisis de agua para la formulación de la solución nutritiva, los parámetros mínimos de un análisis en laboratorio son: pH, CE, TDS, cationes como: Ca, Mg, Na, K, aniones como: Carbonatos, Bicarbonatos, Cloruros, Sulfatos, Boro y hierro. Sin embargo, para tener un análisis completo se deben incluir al Cu, Mn, Zn, Mo, P, Nitrógeno en forma de nitratos y en forma amoniacal.

### 3.8.3.3 Dureza

En cuanto a Texier (2017), refiere que cuando el agua presenta dureza tiene niveles altos de Calcio y Magnesio, junto con bicarbonatos. Por lo general las aguas duras

tienen pH elevados, sin embargo, no tienen relación directa entre el pH y la dureza del agua. Así que un pH elevado no necesariamente significa que un agua sea dura. El rango debe encontrarse entre 160 a 180mg/L.

Por otra parte Arano (2016), argumenta que al existir elevadas cantidades de Ca y Mg pueden precipitar como carbonatos de Calcio o Magnesio y provocar taponamientos en los tubos y picos de irrigación

Por lo tanto, Resh (2001), afirma que la dureza del agua también está dado por el contenido de ion carbonato ( $\text{HCO}_3$ ), a medida que los carbonatos aumenten, ciertos iones como el hierro son bloqueados. En bajas concentraciones no daña a planta, por lo cual los niveles permisibles son de 30 – 50 ppm.

#### **3.8.3.4 Salinidad**

Las aguas salinas son aquellas que contienen cloruro sódico, por lo tanto, existen cultivos tolerantes como la lechuga, sin embargo, niveles excedentes pueden causar la inhibición del crecimiento y reducción de absorción de agua y nutrientes como el Ca y K en el consumo de la planta y causar una toxicidad por Sodio y dando tolerancia a elevadas cantidades de Zinc y Cobre, pero estas no causan ningún daño. A 3000 ppm de salinidad puede existir reducción en la cosecha de 10 a 25%. Entonces a mayor concentración de sales menor absorción de agua en las plantas (Resh M., 2013).

#### **3.8.4 Gestión de la solución nutritiva**

La solución nutritiva debe mantener ciertos parámetros óptimos para que la planta pueda crecer, desarrollarse y cumplir todo su ciclo fenológico, estos parámetros son los siguientes:

##### **3.8.4.1 Temperatura**

La temperatura en la zona radicular es de vital importancia. A mayor temperatura de la solución nutritiva menor es cantidad de oxígeno disuelto disponible en las raíces,

temperaturas superiores a 30°C ocasionan riesgo de muerte de las raíces, infección patógena y el crecimiento se verá afectado (Texier, 2017).

De manera general, Arano (2016), menciona que la temperatura de la solución no debe exceder los 30°C debido a que algunos elementos no podrían estar disponibles para las plantas. Por lo tanto, recomienda que sea conveniente mantener la temperatura entre 18°C y 27°C. Así mismo, afirma que la temperatura de la solución regula las temperaturas de la zona radicular.

#### **3.8.4.2 Potencial de hidrogeno pH**

Carrasco & Izquierdo (1996), afirman que el pH mantiene disponible los elementos nutritivos en la solución nutritiva para que las plantas puedan absorber, sea el grado de acidez o el grado de alcalinidad, los elementos nutritivos asimilables por las plantas se encuentran de 5,5 a 7. En aguas alcalinas para disminuir el nivel de pH se incorpora soluciones di ácidas como: Ácido nítrico y ácido fosfórico a una relación de 3:1. En aguas ácidas se puede aumentar el nivel del pH con Hidróxido de potasio al 10%. El rango óptimo de pH para el cultivo de lechuga es 5.5 a 6.5

Los niveles de pH no son constantes, el pH tiende a subir cuando las plantas se encuentran en pleno desarrollo, debido a que absorben más aniones y menos cationes, por lo tanto, absorben más nitratos NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y menos potasio K y calcio Ca. Así mismo las plantas en plena producción el pH tiende a disminuir debido a que las plantas absorben más cationes que aniones, es decir, más potasio, calcio, magnesio y en menos cantidad los nitratos (Cabezas, 2019).

#### **3.8.4.3 Conductividad eléctrica CE**

Para Cabezas (2019), la Conductividad Eléctrica (CE) es una medida de la capacidad del agua para pasar flujo eléctrico, la concentración de sales también puede medirse en unidades de “ppm” (partes por millón), más conocido como TDS que mide los sólidos totales disueltos en el agua o solución nutritiva. Para ver si el agua es apta para hidroponía recomienda el uso de aguas <a 0.8 mS/cm.

A su vez “Las soluciones nutritivas contienen partículas iónicas que llevan cargas, por lo tanto, cuanto mayor es la cantidad de estos iones disueltos en el agua, la conductividad de la solución resultante es mayor. Entonces, la medición de la conductividad eléctrica de una solución nutritiva tiene una relación directa con la cantidad de materiales sólidos disueltos en ella” (Arano, 2016).

Además, Cabezas (2019), indica que para el cultivo de lechugas se debe manejar una conductividad entre 1,5 mS/cm a 2.4 mS/cm. Así mismo, (Sanchez, 2013), argumenta que los niveles de conductividad eléctrica en el cultivo de lechuga debe disminuirse hasta 1 mS/cm<sup>2</sup> cuando la temperatura alcance 80°F.

#### **3.8.4.4 Oxígeno disuelto**

Texier (2017), resalta que a temperaturas de 30°C en la solución nutritiva, el agua pierde hasta la mitad de oxígeno, llegando a niveles de 7,6 mg/L. así mismo, según Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), el oxígeno debe encontrarse a niveles de 8 a 9 mg/Lt de O<sub>2</sub> como mínimo para el cultivo de lechuga (INIA, 2013)

Arano (2016), menciona que la ausencia de oxígeno en las raíces, las plantas no absorben los elementos nutritivos por sí mismas, ya sean suministrados por el suelo o por una solución nutritiva. Esto ocasionará reacciones anaeróbicas liberando compuestos nocivos para la planta provocando muerte o descomposición radicular consecuentemente las plantas también sufrirán estas situaciones.

#### **3.8.4.5 Vida útil de la solución nutritiva**

Resh M. (2013), sostiene que el uso extendido de la misma solución nutritiva, puede resultar que produzca una cantidad tóxica de elementos menores como el zinc y el cobre a través de metales provenientes de los sistemas de fontanería, impureza de los fertilizantes o de las mismas aguas, entonces, la vida útil depende del porcentaje de acumulación de iones extraños que no son utilizados por la planta de forma inmediata, por lo tanto, la vida útil de la solución nutritiva nunca deberá ser mayor a 2 o 3 semanas, donde se debe realizar un cambio completo cuando la solución nutritiva se encuentre relativamente sin elementos disponibles para la planta.



### 3.9 Cultivo de lechuga

Carrasco & Izquierdo (1996), sostienen que la lechuga es considerada la hortaliza de hoja por excelencia debido a su alta calidad culinaria. La lechuga se cultiva en todo el mundo en distintos sistemas de cultivo, al aire libre, bajo invernaderos, en suelo y también en hidroponía. Es la principal especie de hoja cultivada en un sistema NFT debido a las varias cosechas de calidad al año.

#### 3.9.1 Taxonomía

La lechuga es una planta anual, autógama. La tabla 1 muestra la clasificación taxonómica de la lechuga.

**Tabla 1. Clasificación taxonómica.**

	<b>Clasificación</b>
Reino	Plantae - Plantas
subreino	Traqueobionta - Plantas vasculares
Superdivisión	Espermatofita - Plantas con semillas
División	Magnoliophyta - Plantas con flores
Clase	Magnoliopsida - Dicotiledóneas
subclase	Astéridos
Orden	Asterales
Familia	Asteraceae
Género	<i>Lactuca</i> L. - lechuga
Especies	<i>Lactuca sativa</i> L.

Fuente: Adaptado de (USDA, 2014).

#### 3.9.2 Morfología

Jaramillo, et al. (2014), sostienen que la lechuga es una planta herbácea anual, dicotiledónea autógama, llamado *Lactuca* debido al látex blanco lechoso que secreta. El sistema radicular es pivotante con una longitud de 5 a 30cm. El tallo es pequeño, corto y cilíndrico en estado de cosecha, pero cuando termina la etapa comercial el tallo se alarga hasta 1,20 m de longitud con presencia de ramificaciones de tallos secundarios. Las hojas dependen de la variedad, pueden ser lanceoladas, oblongas o redondas, el borde del limbo es liso, lobulado, ondulado, aserrado o dentado, el color es verde amarillento, claro u oscuro, en algunos casos rojizo,

púrpura o casi morado. Las flores se encuentran agrupadas en capítulos dispuestos en racimos, compuestos entre 10 a 25 floretes, cada florete tiene pétalos periféricos ligulados, amarillos o blancos. El interior presenta corola tubular. El androceo está formado por 5 estambres adheridos a la corola y presenta 5 anteras que forman un tubo polínico que rodea el estilo. El gineceo es unicarpelar con ovario ínfero y estigma bifido. Las flores son perfectas y la corola es simpétala. El ovario es bilobulado. Es considerado flor perfecta que se autofecunda y solo el 10% es fecundación cruzada. El fruto es un aquenio y la semilla es exalbuminosa picuda y plana, tiene forma ovalada, achatada de 2 a 5 mm

### **3.9.3 Variedades de lechuga**

Ayala A. (2019), menciona que existen más de 100 variedades de lechuga, las cuales presentan características únicas en cuanto a su forma de hojas, color de hojas, tamaño y sabor, etc.

#### **3.9.3.1 Romanela**

FELTRIN (2021), describe a esta variedad de textura crocante, con hojas de color verde claro, de tipo romana crespita crocante de sabor dulce de cosecha entre 30 a 40 días después del trasplante, ideal para envasar.

#### **3.9.3.2 Crocantela**

KORIN (2020), describe a esta variedad como una planta de hojas verde claro, de carácter crujiente, con una durabilidad en post cosecha, resistente a la floración temprana, esta variedad es tolerante al mildiu. En su presentación la semilla puede estar desnuda o puede tener algún tipo de tratamiento cubierto por arcillas, los cuales deben ser almacenados en un lugar fresco sin exposición al sol, la cosecha se realiza desde los 55 a 70 días después de la siembra, es necesario dar luz directa por lo menos 4 horas al día. La lechuga Crocantela fue desarrollada y registrada por la UFSCar en el Ministerio de Agricultura de Brasil.

Así mismo (Ayala A., 2019), argumenta que esta variedad tiene un 98,3% de emergencia a los 9 días de la siembra, con una altura comercial de 24,88 cm, con un peso de 248.50 gr por planta.

### **3.9.3.3 Regina**

Según FELTRIN (2021), esta variedad destaca por ser resistente al calor, es un cultivo de media temporada, de hoja suave, grueso, de color verde claro, es una planta de excelente uniformidad, es resistente al virus del mosaico de la lechuga, presenta un ciclo de 70 – 80 días desde la siembra a la cosecha.

### **3.9.3.4 Rubinela**

Así mismo, FELTRIN (2021), indica que esta variedad es muy atractiva y de crecimiento uniforme, tiene una textura crocante, presenta hojas onduladas, de color rojizo brillante con centros verdes, dando un efecto bicolor, es un cultivo de todo el año, en todas las regiones se cosecha después de los 30 a 45 días después del trasplante a campo abierto, es resistente a *bremia lactucae* – mildiu vellosa.

## **3.9.4 Requerimientos climáticos del cultivo de lechuga**

### **3.9.4.1 Temperatura**

Sanchez (2013), sostiene que el cultivo de lechuga no es resistente a la helada, sin embargo, prefieren climas fríos arriba de los 0°C. A temperaturas de 26,7°C a 29,4°C (80°F a 85°F) las plantas se vuelven amargas debido a que a ésta temperatura las plantas pasan rápidamente a su fase de floración. La temperatura ideal para el cultivo está entre los 15,6°C a 23,9°C (60°F a 75°F).

Jaramillo et al. (2014), argumentan que a temperaturas inferiores igual o menores a 7°C por 10 días, puede presentar emisión prematura de tallos foliares, también las hojas pueden cambiar a un color rojizo y confundirlos con alguna deficiencia nutricional, mientras temperaturas igual o mayores a 25°C puede acelerar el desarrollo del tallo floral.

### **3.9.4.2 Luminosidad**

Para Jaramillo et al. (2014), la lechuga en condiciones de fotoperiodo largo (más de 12 horas luz) sumado a altas temperaturas (mayores a 28°C) emite el tallo floral y son más sensibles las lechugas de hojas sueltas, en cuanto a la intensidad de luz el cultivo es exigente para tener mejor desarrollo del follaje. La falta de iluminación ocasiona que las plantas se desarrollen con hojas delgadas, no son compactos, así mismo, no es conveniente sembrar en épocas de invierno debido a las nubosidades y poca radiación. El requerimiento de luz en el cultivo de lechuga es de 12.000 a 30.000 lux.

### **3.9.4.3 Humedad relativa**

Oasis (s.f.), afirma que “la humedad relativa es la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene el aire y la que tendría si estuviera completamente saturada. La humedad ambiental afecta el metabolismo de la planta, ya que, si la humedad es demasiado alta, el intercambio gaseoso queda limitado y se reduce la transpiración y por consiguiente la absorción de nutrientes y si es demasiado baja se cierran los estomas de la planta y se reduce la tasa de fotosíntesis. Una humedad relativa alta también tiene influencia sobre la presencia de enfermedades principalmente fungosas”.

Jaramillo et al. (2014), afirman que la humedad relativa óptima para el cultivo de lechuga debe encontrarse entre 60% a 80%. Valores superiores a 85% puede ocasionar problemas que favorecen el ataque de enfermedades como el moho blanco causado por un hongo llamado *Sclerotinia sclerotiorum*, el moho gris llamado *Botrytis cinerea* y el mildiu vellosa causado por el hongo *bremia lactucae*. Así mismo Sanchez (2013), argumenta que la humedad relativa ambiental mínima aceptable debe ser superior al 45 %.

### **3.9.5 Requerimiento nutricional**

Según Cabezas (2019), para una buena nutrición en los cultivos al momento de hacer las formulaciones de soluciones nutritivas se debe tomar en cuenta la cantidad

de demanda de elementos del cultivo o el requerimiento nutricional del cultivo. En la siguiente tabla se muestra el requerimiento nutricional expresado en ppm (mg/Lt).

**Tabla 2.** *Requerimiento nutricional de la lechuga.*

<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>B</b>	<b>Mo</b>
240	40	240	180	45	70	1	0,5	0,15	0,15	0,5	0,05

Fuente: cabezas (2017)

### 3.9.6 Manejo del cultivo

Según, el Intituto Nacional de Aprendizaje (INA), la cantidad de días que necesitan los cultivos en cada fase de crecimiento pueden variar según las características climáticas de cada región así también por la variedad de cada cultivo (INA, 2016). Por lo tanto, la tabla 3 muestra los días acaparados en cada fase o etapa desde la germinación hasta la cosecha del cultivo de lechuga en un sistema hidropónico.

**Tabla 3.** *Etapas de crecimiento del cultivo de lechuga hidropónico.*

<b>Cultivo</b>	<b>Duración (días)</b>			<b>Distancia (cm)</b>		<b>Producción m2</b>
	<b>Germinación</b>	<b>Almácigo</b>	<b>Cosecha</b>	<b>Entre surcos</b>	<b>Entre plantas</b>	
Lechuga	2 - 4	22 - 25	30 - 40	25	20 - 25	20 unidades

Fuente: (Intituto Nacional de Aprendizaje INA, 2016)

Por tanto, PRO GAIA (2019), indica que el tiempo de cosecha está en función de la variedad del cultivo, las variedades precoces tardan de 45 a 60 días como la variedad simpson y kagraner y las variedades tardías de 90 a 120 días, como la variedad orejona y romana.

El mismo autor, menciona que las lechugas deben quedarse en la almaciguera hasta tener 2 cotiledones bien desarrollados. Por lo tanto, en las bandejas flotantes por un lapso de tiempo de 3 o 4 semanas hasta tener 5 hojas verdaderas y en las tuberías hasta completar las 5 semanas.

Sin embargo, el Instituto Nacional de Aprendizaje (INA), recomienda hacer el transplante al sistema NFT cuando las plantas tengan un tamaño entre 10 a 12 cm de longitud con tres o cuatro hojas verdaderas (INA, 2016).

### 3.9.7 Plagas y enfermedades

Según Jaramillo et al. (2016), mencionan que una planta está sana cuando cumple todas sus funciones fisiológicas y expresa todo su potencial genético. Cuando una o algunas de esas funciones fisiológicas son interferidas por patógenos o por ciertos insectos, la planta reduce su potencial productivo.

**Mildeo veloso** causado por el hongo (*Bremia lactucae*) produce lesiones necróticas sobre el follaje más viejo y luego sobre el follaje joven, estas manchas se presentan de color amarillo o verde claro en la cara inferior de la hoja, sobre las manchas crecen unas estructuras de aspecto veloso blanquecino.

**Septoriosis**, causada por el hongo (*Septoria lactucae*) mancha de la hoja de la lechuga, se presenta en condiciones de humedad prolongada y mucha lluvia, este hongo primero provoca pequeñas manchas irregulares y cloróticas sobre hojas viejas, estas manchas crecen progresivamente y adquieren un tono oliváceo a marrón claro, al centro estructuras negras llamadas picnidios, una vez muerto el tejido se observa un gran número de perforaciones.

**Cercosporiosis**, causada por el hongo (*Cercospora longissima*) es causante de manchas húmedas de color pardo, rodeados por un halo verde, se disemina por efecto del salpicado y del arrastre de agua de lluvia o por la semilla, se favorece con temperatura y humedad abundante

**Esclerotinia**, causado por un moho blanco, (*Sclerotinia sclerotiorum*) causa *damping-off* en semilleros y pudrición de plántulas adultas, presenta un marchitamiento de la capa más externa de las hojas con una apariencia de estrés de la planta, la infección avanza hacia el interior de las capas de hojas, las hojas caen al suelo y adquieren un color amarillo al final un marchitamiento total de la planta.

**Botrytis**, causado por un moho gris, (*Botrytis cinerea* Pers.:Fr.) causa podredumbre basal en las hojas y de la corona, eventualmente se extiende a la planta con marchitamiento de las hojas y una esporulación grisácea en los tejidos parasitados. Generalmente incide más en lechugas de hojas lisas.

Entre los principales insectos plaga, el mismo autor señala:

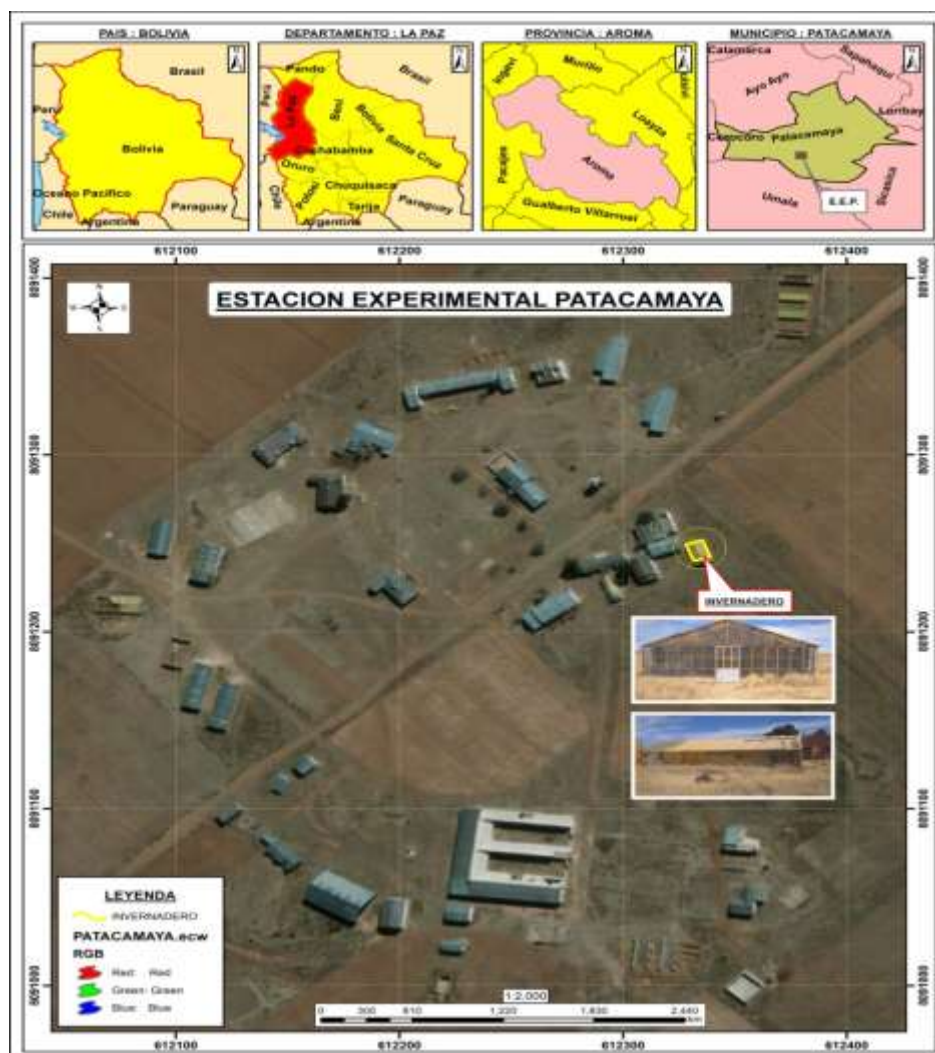
**Áfidos**, causados por (*Myzus persicae*, y otros) Causan daño directo a la planta mediante la succión de la savia y secretan sustancias azucaradas, también pueden ser portadores de virus, su población aumenta rápido con el paso de los días. Presenta un aspecto desagradable en plantas listas para cosechar, disminuyendo su calidad.

## 4. LOCALIZACIÓN

### 4.1 Localización

El presente trabajo de investigación se realizó en la Estación Experimental Patacamaya perteneciente a la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, a una altitud de 3784 msnm ubicada en el Municipio de Patacamaya de la Provincia Aroma.

**Figura 1.** Imagen satelital de la Estación Experimental Patacamaya y del área de investigación.



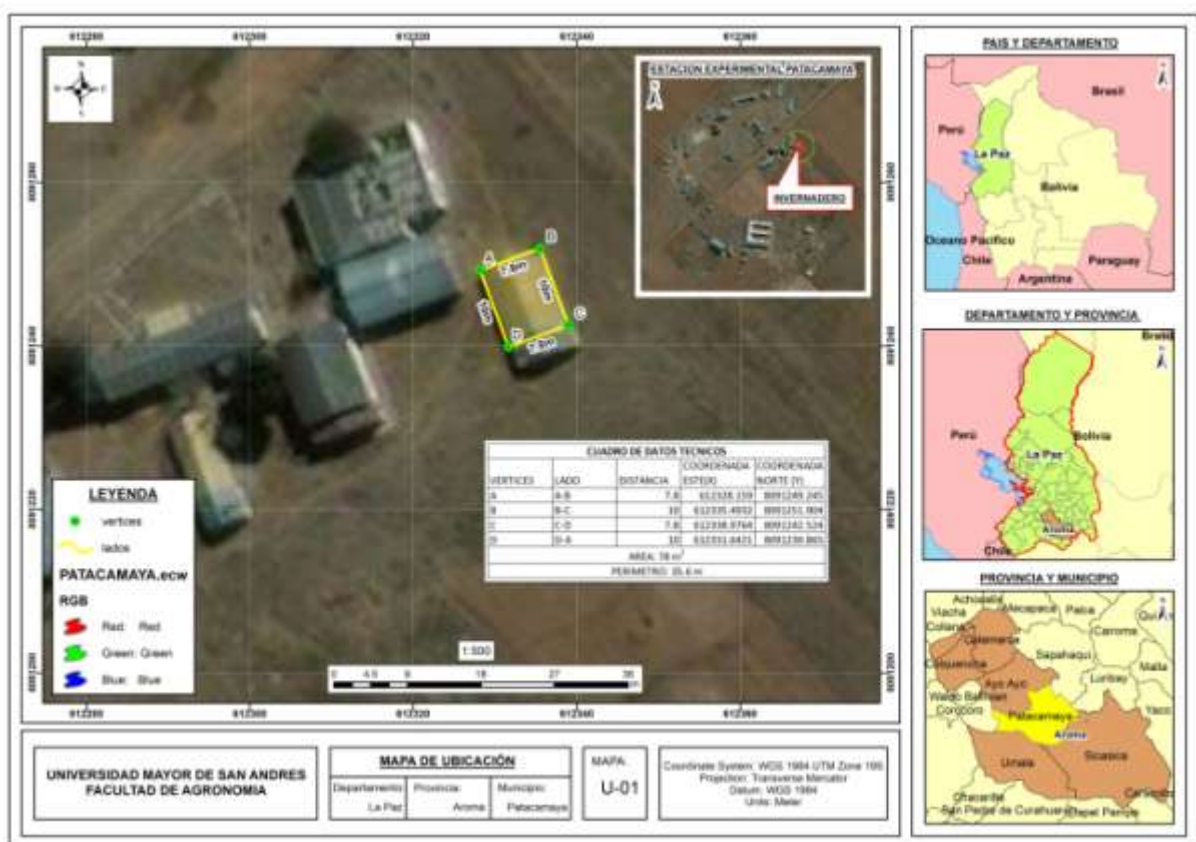
Fuente: Elaboración propia (2021).



## 4.2 Ubicación geográfica

El área de investigación geográficamente se ubica a 17°15'40" Latitud Sur y 67°56'35" Longitud Oeste a una altitud de 3784 m.s.n.m. como se observa en la figura 2.

Figura 2. Ubicación del área experimental



Fuente: Elaboración propia (2021).

## 4.3 Características generales de la zona

**Temperatura.** Las fluctuaciones de temperaturas altas son en los meses de octubre a diciembre hasta alcanzar 20,3°C y en los meses de mayo junio y julio llegando a disminuir hasta temperaturas inferiores a 0°C. (Plan de Desarrollo Municipal Patacamaya PDM, 2006 - 2010)

**Clima.** El clima es semiárido, se caracteriza por tener una estación seca que comprende desde el mes de Abril a Septiembre y húmeda de Octubre a Marzo. La

precipitación pluvial varía entre 350 mm a 450 mm. Presenta de 180 a 200 días de heladas, con sequías desde mayo hasta septiembre. (Plan de Desarrollo Municipal Patacamaya PDM, 2006 - 2010)

**Agricultura.** En el Municipio de Patacamaya las especies más cultivadas son: papa, cebada forrajera, alfa alfa, quinua, cebada en grano, haba verde, zanahoria, cebolla y trigo. (INE, 2013).

## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1 Materiales**

Los materiales que se utilizaron durante el desarrollo de la investigación tanto en campo como en gabinete son los siguientes:

#### **5.1.1 Material de gabinete**

Los materiales utilizados en la toma de datos y la sistematización de datos fueron:

- Calculadora
- Libreta de registros y planillas
- Calculadora
- Laptop
- Cámara fotográfica
- Lápices y bolígrafo
- Software Hydrobuddy
- Excel
- Software SPSS
- Libro
- Hojas Excel

### 5.1.2 Material vegetal

El material biológico que se utilizó en la investigación fue semillas peletizadas de lechuga (*Lactuca sativa* L.)

**Tabla 4.** *Variedades de semillas peletizadas y cantidad de uso.*

<b>Semillas peletizadas</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad (gr)</b>
Var. Romanela	gr	14
Var. Crocantela	gr	14
Var. Rubinela	gr	14
Var. Regina	gr	14

Fuente: Elaboración propia (2021).

### 5.1.3 Material de laboratorio

Los instrumentos de laboratorio utilizados fueron:

**Tabla 5.** *Material de laboratorio.*

<b>Item</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Balanza analítica.	Pza.	1
pH-metro	Pza.	1
Conductímetro	Pza.	1
Jeringa de 15, 10 y 5 ml	Pza.	1
Probeta graduada	Pza.	1

Fuente: Elaboración propia (2021).

### 5.1.4 Instrumentos de meteorología

Los materiales utilizados para la medición de los factores climáticos fueron:

**Tabla 6.** *Instrumentos meteorológicos.*

<b>Item</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Termómetro de máx. min.	Pza.	2
Higrómetro	Pza.	1

Fuente: Elaboración propia (2021).

### 5.1.5 Material de reactivos químicos

Los reactivos para corregir y ajustar el pH y la conductividad eléctrica fueron:

**Tabla 7.** *Reactivos químicos.*

Item	Formula química
Ácido fosfórico	H3PO4
Ácido Nítrico	HNO3
Peróxido de hidrógeno	H2O2

Fuente: Elaboración propia (2021).

### 5.1.6 Material de fertilización

Los fertilizantes a utilizar para la formulación de la solución nutritiva fueron:

**Tabla 8.** *Fertilizantes químicos.*

Item	Fórmula química
Nitrato de calcio	Ca(NO3)2
Nitrato de potasio	KNO3
Nitro-S	SNH4(NO3)
Fosfato mono amónico	(NH4) H2PO4
Sulfato de magnesio	MgSO4
Quelato de hierro EDTA	EDTA- Fe.
Cosmoquel micro	S, B, Co, Cu, Mn, Mo, Zn.

Fuente: Elaboración propia (2021).

### 5.1.7 Material de almacigo

Los materiales a emplear para los almácigos son:

**Tabla 9.** *Material de almacigo.*

Item	Unidad	cantidad
Bandeja plástica de 30x22x8 cm	pza	2
Grava de 4 mm	Kg	3
Hipoclorito de sodio al 1%	Lt	1/2
Mesa de trabajo	pza	1
Nylon negro	m	1

Fuente: Elaboración propia (2021).

### 5.1.8 Material para bandeja flotante

El material utilizado en el área de las bandejas flotantes para 1440 plantines se detalla a continuación.

**Tabla 10.** *Material para las bandejas flotantes.*

<b>Item</b>	<b>Unidad</b>	<b>cantidad</b>
Nylon negro	m	8
Plastoformo de 2 cm de espesor	pza	8
Contenedor de 4mx1.2mx0.8m	pza	1
Oxigenadores	pza	4
Cautín	pza	1
Cinta adhesiva	pza	1
Escuadra	pza	1

**Fuente:** Elaboración propia (2021).

### 5.1.9 Material para el sistema de riego

Los materiales empleados para el sistema de riego en el sistema NFT son:

**Tabla 11.** *Material del sistema de riego.*

<b>Ítem</b>	<b>Unidad</b>	<b>cantidad</b>
Tubo de desagüe de 2 plg de 4m de largo	Barra	5
Tubo de desagüe de 3plg de 4m de largo	Barra	72
Reductor de desagüe de 3 a 2 plg	Pieza	36
Tapas de desagüe de 3 plg	Pieza	36
T de desagüe de 2 plg	Pieza	30
Codos de desagüe de 2 plg	Pieza	6
Llave de paso de pvc de 1 plg	Pieza	5
Micro tubo de 6 mm	Metro	12
Conector de 6 mm	Pieza	36
Grumets de 16 mm	Pieza	36
Llaves de paso de goteo de 16 mm	Pieza	36
T de 1 plg de pvc	Pieza	5
Codo de 1 plg pvc	Pieza	12
Tapón macho de 1 plg pvc	Pieza	6
Tapón hembra de 1 plg pvc	Pieza	6
Unión universal de 1 plg	Pieza	3
Niple 1 plg pvc	Pieza	2
Válvula de retención	Pieza	1
Cinta aislante	Pieza	10
Teflón de 12 u.	Caja	1
Broca en copa de 45 milímetros	Pieza	1
Poli tubo de 1 plg	Metro	44
Tanque de 1.200 l	pieza	1
Cable N°12	Metro	12
Timer	Pieza	1
Electrobomba de 1,5 HP	Pieza	1
Pegamento de pvc	Litro	1
Canastillos hidropónicos	Unidad	1440

**Fuente:** Elaboración propia (2021).

## **5.2 Metodología**

El método que se empleó en el presente trabajo de investigación es el método analítico, estadístico, comparativo, que permite recoger, organizar, presentar y analizar los resultados de la observación hecha. Las actividades realizadas son:

## 5.2.1 Trabajo de campo

Los predios de la Estación Experimental Patacamaya ya contaban con la implementación de los módulos piramidales, por lo cual, las actividades realizadas en el presente trabajo de investigación fueron los siguientes:

### 5.2.1.1 Sistema de fertiirrigación

Según las características y requerimientos de la investigación se realizaron el cambio y la modificación de las tuberías del sistema de fertiirrigación, donde se manejó en función al diseño experimental, las actividades que se realizaron en función al fertirriego dentro del ambiente atemperado son los siguientes:

#### a) Instalación del sistema de riego

Este procedimiento en referencia al sistema de riego se observa a continuación en 3 diferentes etapas

- **Instalación y medición del caudal y presión de la electrobomba**

Como primer paso se procedió a instalar la electrobomba de 1,5 HP como se observa en la figura 3.

**Figura 3.** *Instalación de la electrobomba*



Posterior a ello se procedió a medir la presión de la electrobomba, para lo cual se hizo uso de un manómetro de glicerina donde se aprecia en la figura 4. Así mismo,

se procedió a medir el caudal, para lo cual se empleó el método volumétrico como se observa en la figura 5.

**Figura 4.** *Medición de la presión de la bomba*



**Figura 5.** *Medición del caudal por el método volumétrico.*



Bello U. & Pino Q., (2000), sostienen que este método volumétrico permite medir pequeños caudales de agua, para ello es necesario contar con un balde de volumen conocido donde se recolectará agua, registrando el tiempo que demora en llenarse, realizando 2 o 3 repeticiones con el fin de asegurar mayor exactitud.

$$Q = V * T$$

Donde:

Q= Caudal

V= Volumen

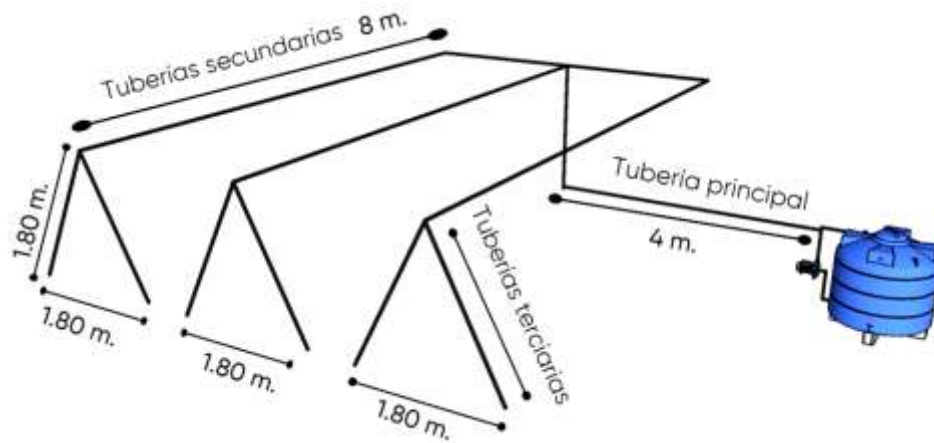
T= Tiempo

- **Distribución las líneas de riego**

En esta etapa se realizó la modificación del sistema de riego, se utilizó 44 metros de politubo de 1 pulgada, desde la salida de la electrobomba hasta el inicio de los canales de cultivos, se tuvo 1 línea principal de riego, 3 líneas secundarias de riego y 6 líneas terciarias de riego (Figura 6).



**Figura 6.** Descripción y detalles de las tuberías de fertiirrigación del sistema hidropónico NFT.



**Fuente.** Elaboración propia (2022).

La línea principal de la fertiirrigación se dispuso en sentido horizontal y con una subida vertical, las 3 líneas secundarias dispuestas sobre cada pirámide hidropónica en sentido horizontal seguido de las líneas terciarias alimentando al inicio de cada lateral de cada pirámide (Figura 7).

**Figura 7.** Disposición de las tuberías de fertiirrigación sobre los módulos hidropónicos piramidales.



**Fuente.** Elaboración propia (2022).

- **Distribución del caudal para cada canal de cultivo**

En el presente trabajo de investigación se empleó 3 caudales por módulo piramidal, para ello se utilizó llaves de paso de 16 milímetros, con sus respectivos conectores y micro tubos de 6 milímetros para manejar el caudal requerido para cada canal de cultivo como se observa en la figura 8 y 9, por lo tanto, con el uso de una probeta graduada y un cronómetro se fue regulando la cantidad de agua necesaria por pirámide y por canal de cultivo debido al énfasis del trabajo de investigación.

**Figura 8.** *Medición del caudal por canal de cultivo.*



**Figura 9.** *Distribución del caudal a través de paso de llave de 16 mm.*



**b) .Automatización y programación del sistema de riego**

La automatización y programación para el sistema NFT se complementó con un equipo *timer* digital, que está compuesto por: un disyuntor térmico, contactor y un programador o *timer*, conectados entre sí por cables unipolares, funcionando de manera sincronizada.

La programación del riego fue de 16 tiempos, para el encendido y apagado del programador se tomó en cuenta los periodos de mayor incidencia de luz diario que se presenta dentro del invernadero el cuál se muestra en la tabla 12.

**Tabla 12.** Frecuencia de automatización del timer digital.

<b>Nº</b>	<b>Hora de encendido</b>	<b>Hora de apagado</b>	<b>Nº</b>	<b>Hora de encendido</b>	<b>Hora de apagado</b>
<b>1</b>	08:00	08:12	<b>9</b>	14:00	14:12
<b>2</b>	09:00	09:12	<b>10</b>	14:30	14:42
<b>3</b>	10:00	10:12	<b>11</b>	15:00	15:12
<b>4</b>	11:00	11:12	<b>12</b>	15:30	15:42
<b>5</b>	12:00	12:12	<b>13</b>	16:00	16:12
<b>6</b>	12:30	12:42	<b>14</b>	17:00	17:12
<b>7</b>	13:00	13:12	<b>15</b>	18:00	18:12
<b>8</b>	13:30	13:42	<b>16</b>	20:00	20:12
<b>frecuencia de riego acumulada</b>				<b>3.2 horas</b>	

Fuente: Elaboración propia (2021).

### 5.2.1.2 Actividades relacionadas al cultivo

#### a) Almacigo

Para los almácigos se emplearon 2 bandejas plásticas de 30x22x8 centímetros en la base perforados con pequeños hoyos realizados con cautín para evitar estancamiento del agua, por cada bandeja se utilizó 3kg de grava de 4 milímetros como base y soporte de las plántulas. La desinfección de la grava se realizó con el uso de hipoclorito de sodio al 10%.

La siembra se realizó con 4 variedades de semillas peletizadas (forradas con arcilla higroscópica) de industria brasileña, cada bandeja tuvo 6 surcos a una profundidad del doble de la semilla, 3 surcos por variedad, así mismo con la humedad necesaria para su germinación y se las cubrió con *nylon* negro de 70 micrones durante 3 días, terminando el tercer día entraron en fase lumínica para evitar etiolación hasta el momento del transplante en las bandejas (Figura 10).

**Figura 10.** *Almacigo en bandejas con grava.*



**b) Bandejas flotantes**

**Preparación del poliuretano (esponja)** Para la base y soporte de las plántulas se empleó cubos de esponja de 2x2x2 cm de espesor, con un corte longitudinal desde el centro a la esquina del cubo para la sujeción de las plántulas.

**Preparación del poliestireno (plastroforno).** Se utilizó 8 placas de tecnopor o poliestireno, 2 placas por variedad con medidas de 1m x 50cm x 2cm, los cuales fueron perforados con un diámetro de 2cm en un marco de plantación de 3 bolillos con capacidad para 190 plántulas por placa.

**Preparación de las bandejas flotantes.** En el predio ya se contaba con la construcción de una estructura de 4x1.20x20 metros, el cual se utilizó para el sistema raíz flotante así mismo fue forrado con un nylon de 70 micrones de espesor, para el buen crecimiento radicular y evitar el crecimiento de las algas. Adicional a eso se instaló 4 oxigenadores de manera sincronizada.

**Preparación de la solución nutritiva para las bandejas.** La solución nutritiva inicial para las bandejas flotantes fue a una concentración del 50% para evitar el estrés de las plántulas, pasando los días se incrementó hasta llegar a una concentración del 80% de solución nutritiva. Se utilizó 400 litros de agua para las bandejas, con una altura de 7cm, se tituló el pH del agua con una solución di ácida compuesta por ácido nítrico y ácido fosfórico hasta un tener un pH de 5,5. Así

mismo, se preparó 3 soluciones madres: solución A, solución B, solución C, según la compatibilidad de cada fertilizante para evitar precipitaciones.

**Primer transplante.** El primer transplante se realizó a los 13 días después de la siembra, cuando las primeras hojas verdaderas se apreciaban y los cotiledones se empezaron a abrir. Se puso cada plántula en cubos de esponja seguidamente en los orificios del tecnopor o plastofomo, para luego introducirlos en las bandejas de crecimiento por 18 días (Figura 11).

**Figura 11.** *Primer transplante a las bandejas flotantes.*



### c) **Actividades dentro del sistema NFT**

#### • **Limpieza y desinfección del sistema NFT**

La limpieza de los canales de cultivo y del tanque se hizo días antes de realizar el transplante definitivo, se utilizó trapos limpios y cloro granular, para quitar todo residuo sólido por dentro y fuera de los canales y tanque para evitar enfermedades, bacterias o virus en la planta después del trasplante definitivo.

Arano (2016), indica que si bien las aguas subterráneas son relativamente estables en su composición química, para realizar hidroponía deben realizarse desinfección para todo tipo de bacterias para que no sean perjudiciales para la planta. Por lo tanto, para que las bacterias puedan ser inhibidas se utilizó de 10 – 20 gr de cloro activo por cada 1000 Litros de agua.

- **Transplante definitivo al sistema NFT**

El transplante definitivo se llevó a cabo hacia el sistema NFT, a los 18 días después del crecimiento en las bandejas flotantes, para realizar este transplante se tomó en cuenta el porte de las raíces y la altura de la planta que alcanzó aproximadamente 12 cm., así mismo, se utilizó canastillos hidropónicos de 5 cm de altura; 3,5cm de diámetro en la base y 1,5cm de diámetro de hoyo en la base, para la sujeción de las plántulas. Posteriormente se colocaron en los hoyos de los canales de cultivo, tomando en cuenta que la raíz está en contacto con la solución recirculante como se observa en las figuras 12 y 13.

**Figura 12.** *Transplante de las bandejas flotantes al sistema NFT.*



**Figura 13.** *Transplante definitivo al sistema NFT.*



### 5.2.1.3 Preparación de la solución nutritiva para el sistema NFT

#### a) Análisis químico de aguas.

Según Texier (2017), la mayoría de las aguas son válidas para realizar hidroponía, siempre y cuando cumpla estándares requeridos de Sodio y Boro en el agua. Para cultivos cerrados no debe excederse de los 30mg/l de Sodio ya que puede ser mortal para la planta y el Boro no debe excederse de los 0,3mg/l, ya que puede ser tóxico y puede complicar la absorción de otros elementos. Para tal fin se realizó el análisis químico del agua.

Los datos del análisis químico del agua fueron obtenidos del Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN) de la ciudad de La Paz, mencionado por Jaimes (2019). Donde los resultados fueron los siguientes:

**Tabla 13.** *Análisis químico del agua de la Estación Experimental Patacamaya.*

<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidades</b>
pH	6.79	-
Conductividad Eléctrica	550.00	uS/l
Sodio	31.74	mg/l
Potasio	7.23	mg/l
Calcio	13.31	mg/l
Magnesio	3.24	mg/l
Cloruros	76.18	mg/l
Carbonatos	0.00	mg/l
Bicarbonatos	131.43	mg/l
Sulfatos	26.29	mg/l
Sólidos suspendidos	0.20	mg/l
Sólidos totales	389.33	mg/l
Sólidos disueltos	387.86	mg/l
Boro	0.47	mg/l
Nitratos	3.52	mg/l
Fosfatos	0.37	mg/l
Amonio	0.37	mg/l
Hierro	0.05	mg/l
Manganeso	0.01	mg/l
Cobre	0.005	mg/l
Zinc	0.76	mg/l
Nitrógeno total	2.00	mg/l
Molibdeno	0.20	mg/l

**Fuente:** IBTEN (2018) citado por Jaimes, (2019).

En función a los requerimientos del cultivo reportados por Agrocejo (2021), los parámetros reportados, posterior al análisis físico - químico señalan que en la Estación Experimental Patacamaya este recurso hídrico se encuentra dentro los requerimientos permisibles que requiere el cultivo de lechuga. La tabla 14 muestra la interpretación del análisis de agua para la preparación de soluciones nutritivas y los requisitos adecuados.

**Tabla 14. Niveles permisibles de la calidad de agua.**

Determinación	Unidades	Resultados	Muy bajo	Bajo	Mod. Bajo	Mediano	Mod alto	
Conductividad eléctrica	dS/m	0,44	Muy bajo					
pH	.-	7,76	Mediano					
Dureza	.-	20,72	Bajo					
Cationes - Aniones								
Determinación	meq/l	ppm	Muy bajo	Bajo	Mod. Bajo	Mediano	Mod alto	
Calcio	3,56	71,2	Mediano					
Magnesio	0,59	7,08	Muy bajo					
Sodio	0,3	6,9	Muy bajo					
Potasio	0,09	3,51	Muy bajo					
Sulfatos	0,29	13,9	Muy bajo					
Bicarbonatos	3,48	212	Bajo					
Cloruros	0,54	18,9	Muy bajo					
Floruros	NA	0						
Carbonatos		0						
Nitratos	0,09	1,26	Muy bajo					

Fuente: Obtenido de Agrocejo (2021).

## b) Tratamiento de agua

Para el tratamiento del agua se realizó la titulación en función a dos soluciones diácidas, formados por ácido nítrico y ácido fosfórico a una relación de 3:1 mencionado por (Carrasco & Izquierdo, 1996).

## c) Formulación de la solución nutritiva

Para la formulación de la solución nutritiva se trabajó con el requerimiento nutricional de Cabezas (2017), a través del software hydrobuddy, para el cultivo de lechuga. En el anexo 22, se observa los fertilizantes utilizados y su cantidad en gramos para 1000 Litros de agua. Así mismo, en la tabla 15 se aprecia los fertilizantes disueltos en las soluciones madre a una concentración de 5 litros.



**Tabla 15.** *Formulación de solución nutritiva.*

<b>Solución stock</b>	<b>Fertilizante</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Peso (g)</b>
Solución A	Nitro-s	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> - S	6.97
	Nitrato de potasio	KNO <sub>3</sub>	650.01
	Fosfato mono-amónico	(NH <sub>4</sub> )H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	160.07
Solución B	Sulfato de magnesio	Mg SO <sub>4</sub>	457.89
	Quelato de Hierro EDTA	Fe	7.72
	Cosmoquel micro	B, Cu, Zn, Mo, Mn, Fe, Mo	21,71
Solución C	Nitrato de calcio	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	927.1

**Fuente:** Elaboración propia a través del software hydrobuddy.

Una vez pesados los fertilizantes, se procedió a disolver por separado cada compuesto debido a que para su disolución cada compuesto requiere ciertas características respecto al pH y temperatura, después se prosiguió a mezclar en una solución madre de 5 litros según su compatibilidad para evitar precipitaciones.

En la siguiente figura se puede apreciar los materiales e insumos utilizados como la solución madre, solución di ácida e instrumentos de medición.

**Figura 14.** *Instrumentos de medición e insumos hidropónicos.*



#### **d) Monitoreo de la solución nutritiva**

Los parámetros que se controlaron fueron el pH, la conductividad eléctrica, temperatura de la solución, sólidos totales y el volumen de la solución, con el fin de controlar y estabilizar cada parámetro dentro de los requeridos según la planta.

El pH se mantuvo en niveles de 5,5 a 6,5 como menciona Carrasco & Izquierdo (1996). Cuando los niveles de pH comenzaron a subir, se añadió solución di ácida, y cuando el pH disminuyó se añadió agua. La conductividad eléctrica se manejó

según, Cabezas (2019), donde recomienda niveles entre 1,5 a 2,6 mS/cm. Así mismo, la temperatura de la solución nutritiva se manejó de 18°C a 26°C con el fin de mantener equilibrio en la solución nutritiva.

#### **5.2.1.4 Medición de la humedad y temperatura del ambiente**

El diseño estadístico utilizado en función de la temperatura como un gradiente de control, se procedió al registro de la temperatura en 2 posiciones en sentido vertical, uno superior ubicado en la parte más alta de los módulos piramidales y el otro al inferior de los módulos piramidales a la altura del canal de cultivo más bajo, para realizar los registros de máximas y mínimas. Donde se obtuvo una temperatura media superior de 19,5 °C y una media inferior de 18,5 °C.

La humedad relativa se registró en toda la fase del sistema NFT dentro del ambiente atemperado con el registro de máximas y mínimas, donde la media máxima fue de 62,7% y la media mínima fue de 24,5%. Siendo la media general de 43,6%. Por lo tanto, Jaramillo et al. (2014) recomienda los niveles de humedad relativa entre 60% a 80% para el cultivo de lechuga en un sistema hidropónico.

#### **5.2.1.5 Cosecha**

La cosecha se realizó a los 66 días desde la siembra hasta la finalización del crecimiento comercial del producto, con las siguientes características, porte, tamaño y peso adecuado para su comercialización. Se procedió con retirarlo de los canales de cultivo, así mismo, se quitó las esponjas de la parte radicular, posteriormente fue pesada, embolsada y transportada para su comercialización.

### **5.3 Procedimiento experimental**

#### **5.3.1 Diseño experimental**

Para evaluar el efecto del caudal en las variedades de lechugas se realizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con un arreglo factorial en parcelas divididas, con el fin de evaluar todas aquellas variables cuantitativas utilizando el software estadístico SPSS.

### 5.3.1.1 Modelo aditivo lineal

El modelo lineal aditivo empleado obedece a la siguiente ecuación:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + \alpha_i + \epsilon_{ik} + \gamma_j + \alpha\gamma_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Dónde:

$Y_{ijk}$ : Una observación cualquiera.

$\mu$ : Media general

$\beta_k$ : Efecto del k-ésimo bloque.

$\alpha_i$ : Efecto del i-ésimo nivel del factor a. (Caudal)

$\epsilon_{ik}$ : Error experimental de la parcela mayor (Ea)

$\gamma_j$ : Efecto del j-ésimo factor b (Variedad)

$\alpha\gamma_{ij}$ : Efecto del i-ésimo nivel factor a y la j-ésimo nivel factor b (interacción Fa y Fb)

$\epsilon_{ijk}$ : Error experimental de la parcela menor (Eb)

### 5.3.1.2 Factores de estudio

Los factores de estudio que se manejaron fueron:

**Bloque:** I, II, III.

**Factor a:** Caudal de irrigación "Q" parcela mayor.

- Q1= Caudal de 1 l/min "a1"
- Q2= Caudal de 1,5 l/min "a2"
- Q3= Caudal de 2 l/min "a3"

**Factor b:** Variedades de lechuga "V" parcela menor.

- V1 = Variedad Rubinela "b1"
- V2 = Variedad Crocantela "b2"
- V3 = Variedad Romanela "b3"
- V4 = Variedad Regina "b4"

### 5.3.1.3 Interacción de los factores de estudio

En la tabla 16, se muestra la interacción de los factores de estudio a\*b entre los niveles del caudal de irrigación y las variedades de lechuga.

**Tabla 16.** *Interacción de los factores de estudio.*

<b>Factor a</b>	<b>Factor b</b>	<b>Combinación</b>	<b>Tratamiento</b>
Caudal de 1 l/min	Variedad Rubinela "V1"	Caudal de 1 l/min y variedad Rubinela	T1
	Variedad Crocantela "V2"	Caudal de 1 l/min y variedad Crocantela	T2
	Variedad Romanela "V3"	Caudal de 1 l/min y variedad Romanela.	T3
	Variedad Regina "V4"	Caudal de 1 l/min y variedad Regina	T4
Caudal de 1.5 l/min	Variedad Rubinela "V1"	Caudal de 1.5 l/min y variedad Rubinela.	T5
	Variedad Crocantela "V2"	Caudal de 1.5 l/min y variedad Crocantela	T6
	Variedad Romanela "V3"	Caudal de 1.5 l/min y variedad Romanela	T7
	Variedad Regina "V4"	Caudal de 1.5 l/min y variedad Regina.	T8
Caudal de 2 l/min	Variedad Rubinela "V1"	Caudal de 2 l/min y variedad Rubinela	T9
	Variedad Crocantela "V2"	Caudal de 2 l/min y variedad Crocantela	T10
	Variedad Romanela "V3"	Caudal de 2 l/min y variedad Romanela	T11
	Variedad Regina "V4"	Caudal de 2 l/min y variedad Regina	T12

**Fuente:** Elaboración propia (2020).

#### **5.3.1.4 Superficie experimental**

En la tabla 17 se describe la superficie del área de trabajo donde se llevó a cabo la investigación, así mismo, se detalla la superficie del área de investigación. Adicional ver en el anexo 1, 2, 3.

**Tabla 17.** *Detalles de la superficie experimental del ambiente atemperado.*

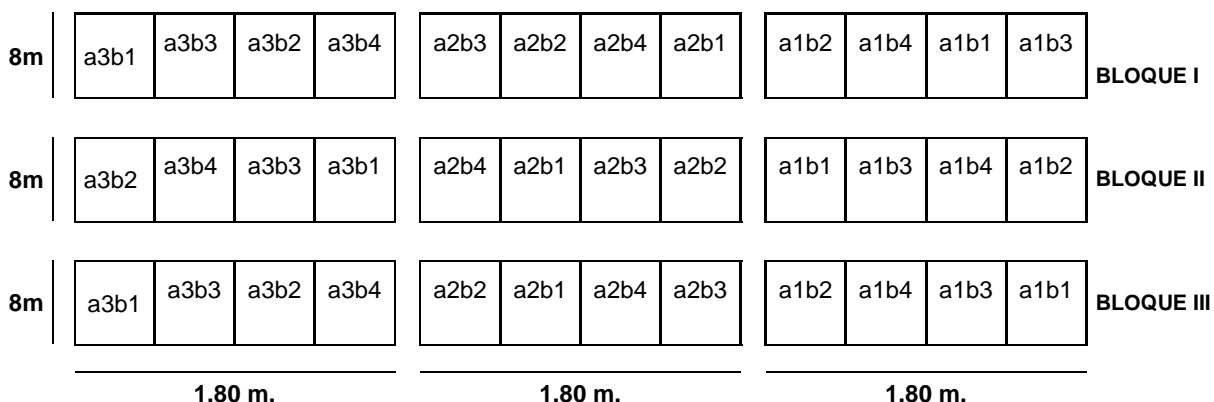
<b>Superficie</b>	
Área del ambiente atemperado	70 m <sup>2</sup>
Largo de los módulos piramidales	8 m
Alto de los módulo piramidales	2.18 m
Ancho de los módulos piramidales	1.80 m
Largo de los canales de cultivo	8 m
Área de investigación de los 3 módulos piramidales	43.2 m <sup>2</sup>
Ancho por tratamiento	0.45 m
Área por tratamiento	3.6 m <sup>2</sup>

**Fuente:** Elaboración propia (2021).

### 5.3.1.5 Croquis experimental

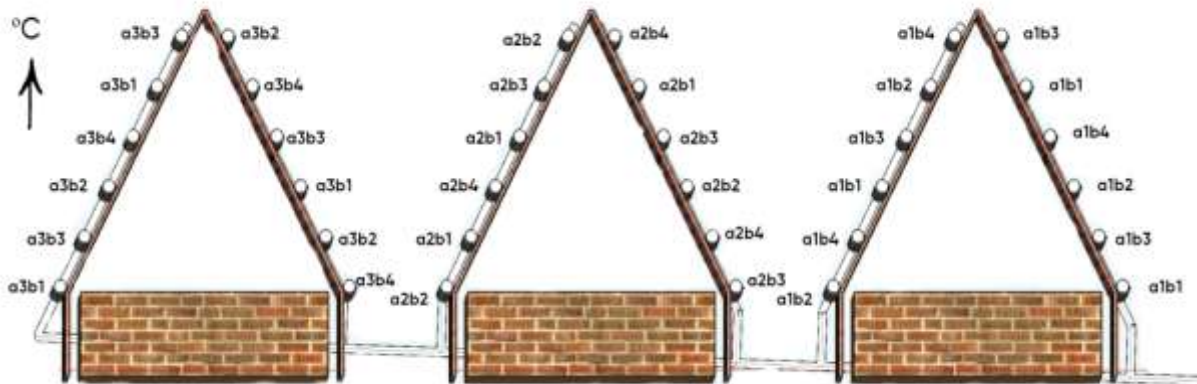
La figura 15 muestra el croquis de la investigación desde una perspectiva en plano donde se observa 3 bloques (BI, BII, BIII) en sentido vertical, teniendo en cuenta como factor de variabilidad la temperatura, el diseño cuenta con 12 tratamientos/bloque, 3 repeticiones, dando como resultado 36 unidades experimentales.

**Figura 15.** *Croquis experimental de las unidades experimentales, planta única (vista en planta tipo A).*



Para una mejor observación en la figura 16 se aprecia la distribución de las unidades experimentales y los bloques, ubicados en los tres módulos hidropónicos dentro del ambiente atemperado.

**Figura 16.** *Distribución de las unidades experimentales ubicadas en los módulos hidropónicos tipo A.*



### 5.3.2 Variables de estudio

Se tomaron 180 muestras en la investigación. Dentro de cada unidad experimental se tomaron los siguientes datos:

#### 5.3.2.1 Variables agronómicas

##### a) Porcentaje de emergencia

Este dato se obtuvo a los 4 días en plena fase lumínica, donde se contabilizó las plántulas existentes respecto a la cantidad sembrada.

##### b) Número de hojas por planta

Se procedió al conteo de forma manual el número de hojas por planta, las muestras de cada unidad experimental fueron al azar. Se tomaron 5 muestras por unidad experimental y 180 muestras en total. Los datos se tomaron con una frecuencia de 15 días hasta finalizar la investigación.

##### c) Longitud de hojas

Esta variable se evaluó a las plantas de hojas muestreadas al azar con buen porte, con una frecuencia de 15 días, se midió con una regla metálica y se expresó en

centímetros, se tuvo 5 muestras por unidad experimental y 180 muestras en total se registró hasta los 37 finalizando la investigación.

**d) Diámetro del tallo acaule**

Se procedió a medir esta variable del nudo vital o cuello de las plantas muestreadas con una frecuencia de 15 días con la ayuda de un calibrador vernier metálico de precisión según los tratamientos del diseño experimental. Se procedió a medir 5 muestras por unidad experimental, 180 muestras en total.

**e) Volumen de raíz**

Esta variable se midió con una probeta graduada y un vaso precipitado, haciendo sumergir las raíces en la probeta con agua, para determinar el volumen desplazado del agua, Donde:

$$\text{Volumen total} = \text{Volumen de Agua conocido} + \text{Volumen radicular.}$$

$$\text{Volumen Radicular} = \text{Volumen total} - \text{Volumen de Agua conocido.}$$

Este procedimiento se realizó para cada muestra de cada unidad experimental.

**f) Peso fresco**

Para esta variable se procedió a tomar datos del peso comestible de la planta completa, quitando la raíz y dejando solo la parte aérea de la planta considerados para la comercialización. Este dato fue tomado con el uso de una balanza analítica pesando las 180 muestras de la investigación.

**5.3.2.2 Variables de rendimiento**

Para esta variable de estudio se tomó como muestra un metro lineal del canal de cultivo donde se midió un metro cuadrado en el suelo y se calculó la cantidad de canales de cultivo que caben en ese metro cuadrado y la cantidad de lechugas que caben en ese metro cuadrado dentro de los canales de cultivo.

#### **a) Rendimiento ajustado**

Para la evaluación de esta variable se tomó en cuenta la recomendación del centro internacional de mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, 1988), donde menciona:

El rendimiento ajustado indica reducir un 10% del rendimiento, con el fin de reflejar la diferencia entre las condiciones experimentales a menor escala ante la producción comercial a mayor escala. Esta reducción del porcentaje se justifica debido a que en las condiciones representativas en la investigación son tomadas con mayor atención, uniformidad y cuidado, lo que no ocurre normalmente en una producción a gran escala.

#### **b) Número de cosecha anual**

El ciclo de producción de lechugas en ambientes atemperados en un sistema hidropónico puede reportar mayor número de cosechas al año, por lo tanto, una mayor producción.

En la presente investigación el desarrollo y crecimiento de lechugas en el sistema NFT fue de 37 Días, y teniendo en cuenta de 9 a 10 cosechas productivas anualmente.

### **5.3.2.3 Variables económicas**

La evaluación económica permite proporcionar parámetros claros, para determinar la rentabilidad del cultivo de lechuga en un sistema NFT.

La evaluación Económica se realizó según la metodología propuesta por CIMMYT (1988), que indica y recomienda el análisis de beneficios netos y el cálculo de la tasa de retorno marginal de los tratamientos alternativos, para obtener los beneficios y costos marginales.

#### **a) Beneficio bruto (BB)**

El beneficio bruto o ingreso bruto, se calcula multiplicando el rendimiento ajustado, por el precio del producto de la lechuga hidropónica (CIMMYT, 1988). Para el cálculo



del beneficio bruto anual se multiplicó el beneficio bruto de una cosecha, por el número de cosechas al año.

$$BB = R \times PP$$

Dónde:

BB = Beneficio Bruto (Bs)

R = Rendimiento Ajustado (Bs)

PP = Precio del producto (Bs)

### **b) Costos variables (CV)**

El costo variable es una parte del costo total, son los costos relacionados con los insumos, como la mano de obra, maquinaria, fertilizantes, insecticidas, jornales y transporte (CIMMYT, 1988)

### **c) Costos fijos (CF)**

Los costos fijos son los costos que se mantienen a lo largo de cada campaña de producción final. Los costos fijos no aumentan o disminuyen la producción, por lo tanto, no están relacionados con la producción. Como costos fijos se tomaron en cuenta la infraestructura del ambiente atemperado, la estructura del sistema hidropónico, la electrobomba, herramientas, calculando la depreciación por año, considerando los años de vida útil de cada uno de los componentes del costo fijo.

### **d) Costos totales (CT)**

Es la sumatoria del costo total variable y los costos fijos, sirven para determinar el monto o dinero total que se utilizó en esa producción.

$$CP = CV + CF$$

Donde:

CP = Costos totales de producción

CV = Costos variables

CF = costos fijos

**e) Beneficio neto (BN)**

El beneficio neto refleja el ingreso obtenido, que se calcula restando el beneficio bruto del total de los costos de producción.

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

Dónde:

BN = Beneficios Netos (Bs)

BB = Beneficios Brutos (Bs)

CP = Costos de producción (Bs)

**f) Relación beneficio costo (B/C)**

Es la relación que existe entre los beneficios brutos sobre los costos de producción.

$$\mathbf{B/C = BB/CP}$$

Dónde:

B/C = Beneficio Costo (Bs)

BB = Beneficios Brutos (Bs)

CP = Costos de Producción (Bs)

Cuando:

(B/C) > 1 Aceptable

(B/C) = 1 Dudoso

(B/C) < 1 Rechazado

## **6. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación de acuerdo con la metodología empleada reflejan el efecto de los factores estudiados que se muestran a continuación.

### **6.1 Fluctuaciones de factores abióticos**

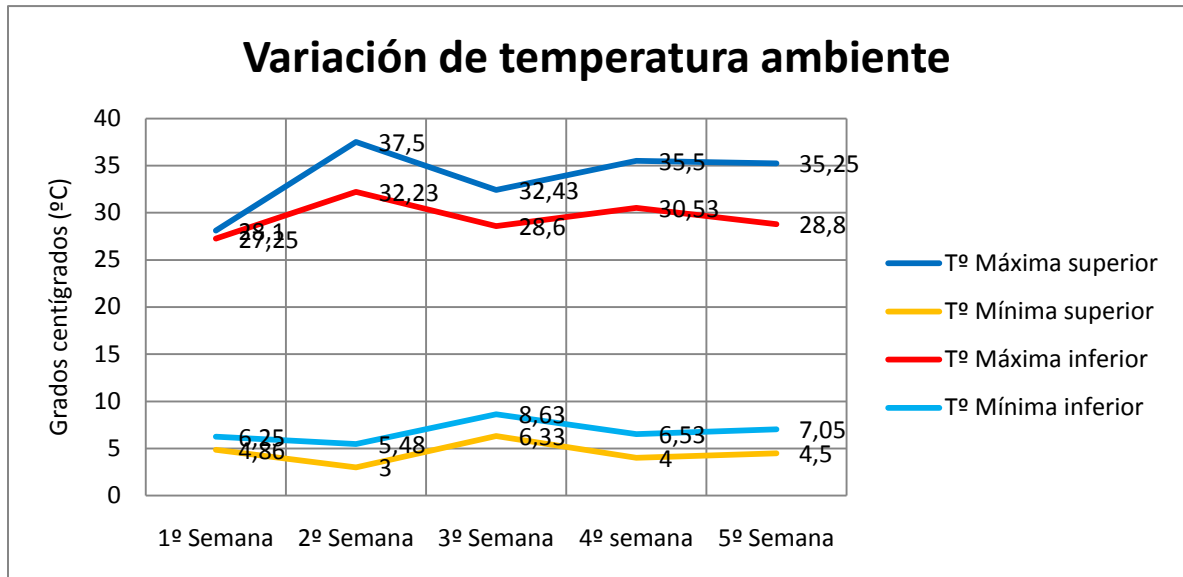
En el ambiente atemperado se tomaron en cuenta parámetros de la humedad relativa, temperaturas máximas y mínimas con ubicación superior e inferior. Así mismo, parámetros en la solución nutritiva como el pH, conductividad eléctrica y temperatura de la solución, siendo estos responsables del comportamiento y desarrollo fisiológico del cultivo.

#### **6.1.1 Comportamiento de la temperatura en el ambiente atemperado**

La temperatura es un factor importante en el crecimiento de las plantas, por lo cual, se registró la temperatura superior e inferior de máximas y mínimas dentro del ambiente atemperado para ver la variación existente dentro del mismo. Los registros se llevaron a cabo desde el 28 de septiembre hasta el 4 de noviembre (anexo 27).

En la figura 17, se puede observar el promedio de la variación de temperatura en el sistema NFT dentro del ambiente atemperado tanto superior e inferior con registros de máximas y mínimas por semana.

**Figura 17.** Variación de temperatura en el ambiente atemperado (media semanal).



**Fuente:** Elaboración propia (2021).

La temperatura media superior máxima fue de 34,2 °C y la temperatura media superior mínima fue de 4,8 °C mientras que la temperatura media inferior máxima fue de 30 °C y la media inferior mínima fue de 7 °C. Dando como resultado una variación de 4,2 °C entre las temperaturas máximas superior e inferior, mientras que la variación de temperatura mínima entre la superior e inferior fue de 2,2 °C.

La media general de temperatura superior es de 19,5°C y la temperatura media inferior es de 18,5 °C indicando que por cada metro en sentido vertical existe 1°C en ascenso.

En la etapa de la investigación en el sistema NFT se observó efectos negativos de las temperaturas mínimas y máximas, indicando que el factor climático no se mantuvo dentro de los rangos que el cultivo de lechuga exige.

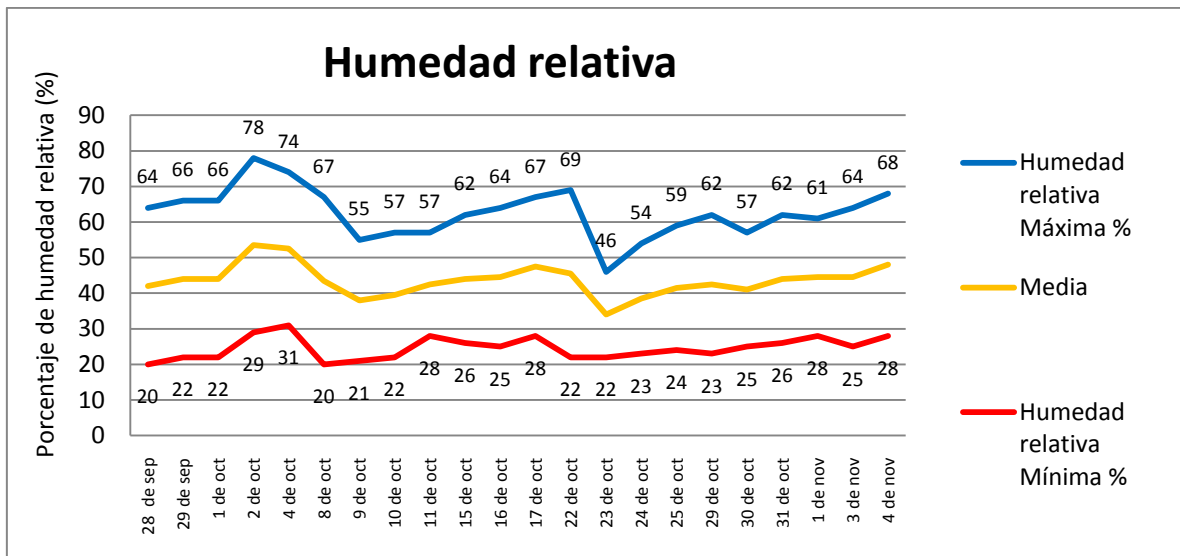
Con los datos obtenidos, se concuerda con Sanchez (2013), quien recomienda que para el cultivo de lechuga la temperatura ambiental óptima es de 16°C a 24°C, sin embargo, añade que la lechuga prefiere temperaturas frías superiores a 0°C pero no debe exceder temperaturas superiores a 30°C por un tiempo prolongado debido a que inducen a la floración.

Por otra parte, cuando la lechuga tiende a inducir a flor, ocurre cuando los días son largos y las temperaturas altas. Es más frecuente ver este proceso en verano y en otoño que en invierno y primavera, aunque se dispone de variedades que son resistentes a la inducción de la floración.

### 6.1.2 Comportamiento de la humedad relativa

La variación de la temperatura se encuentra estrechamente relacionada con la humedad; cuando la temperatura sube, el aire es capaz de absorber una mayor cantidad de humedad. Es por ello que un control sobre la temperatura tanto en exceso como en defecto, implica un control de la humedad. La figura 18 muestra el comportamiento de la humedad relativa dentro del ambiente atemperado.

**Figura 18.** Comportamiento de la humedad relativa máxima, mínima y media (%).



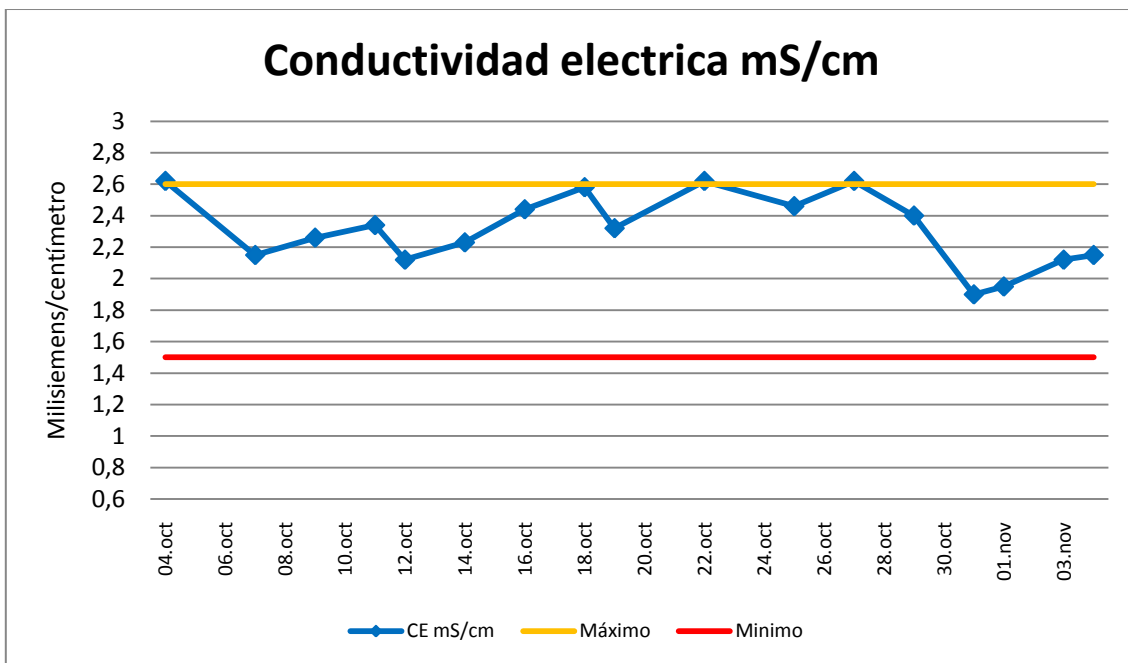
**Fuente:** Elaboración propia (2021).

La humedad relativa máxima en promedio se registró a 62,7 %; la humedad relativa mínima en promedio en 24,5 % y una humedad relativa media en 43,6 %. Para Jaramillo et al. (2014), indican que la humedad relativa no debe exceder valores superiores al 85% debido a que pueden ocasionar enfermedades por hongos, deben encontrarse entre 60% a 80%. Por lo tanto, niveles bajos de humedad causarían estrés en la planta, entonces los datos obtenidos son similares a lo que indican los autores.

### 6.1.3 Comportamiento de la conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica indica que cuanto mayor es la cantidad de estos iones disueltos en el agua la conductividad de la solución resultante es mayor. La figura 19 muestra el comportamiento y la variación de la conductividad eléctrica en el sistema NFT

**Figura 19.** Comportamiento de la conductividad eléctrica (mS/cm) en la solución nutritiva dentro del sistema NFT.



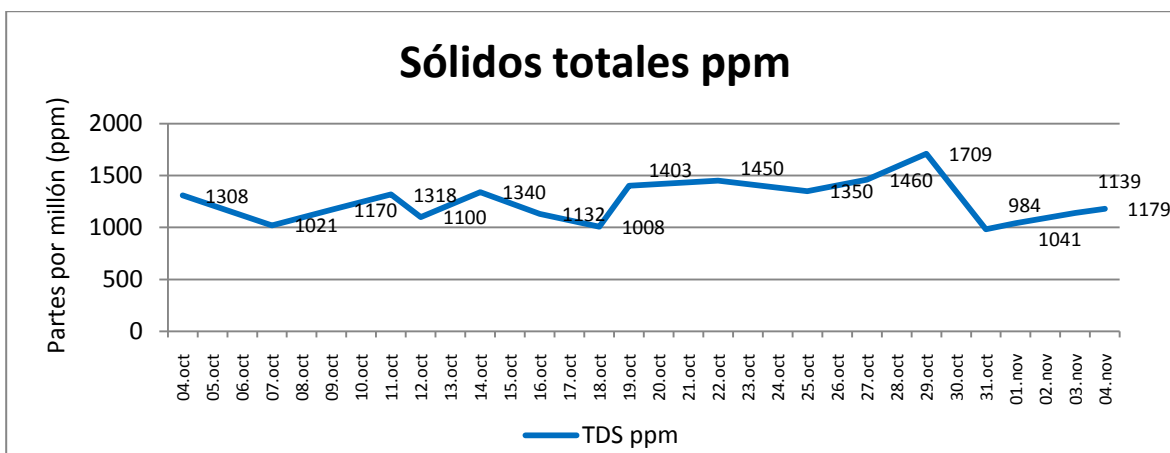
**Fuente:** Elaboración propia (2021).

En el proceso de la investigación se manejó la conductividad eléctrica dentro de los parámetros requeridos para el cultivo de lechuga, se manejó una conductividad promedio de 2,2 mS/cm. Estos datos manejados se comparan con Jaimes (2019), que indica que los niveles permisibles de conductividad oscilan de 1,5 a 2,6 mS/cm. Por lo tanto, a mayor concentración ocurre el crecimiento lento de lechugas, es necesario mantener los valores dentro de los parámetros establecidos para evitar fitotoxicidad en las plantas o evitar síntomas de deficiencia nutricional.

### 6.1.4 Comportamiento de los sólidos totales (ppm)

Los sólidos totales muestran la cantidad de partículas de sales existentes disueltas en el agua. La medición de la conductividad eléctrica de una solución nutritiva tiene una relación directa con la cantidad de materiales sólidos disueltos en ella. La figura 20, muestra la variación de los sólidos totales en el agua.

**Figura 20.** Comportamiento de la cantidad de sólidos disueltos en la solución nutritiva dentro del sistema NFT.



**Fuente:** Elaboración propia (2021).

Para la investigación se utilizó el factor de conversión de 0,70 (Australia), donde se manejó un promedio de 1188 ppm, donde se registró una mínima de 984 ppm como mínimo y como máxima una concentración de 1709 ppm.

Según flow hydro store, (s.f.), menciona que, en hidroponía, el valor de la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos en la solución nutritiva, entonces, cuanto mayor sea dicha concentración, mayor será su conductividad. Por lo tanto, en el presente trabajo se encontró una buena proporción de sólidos totales.

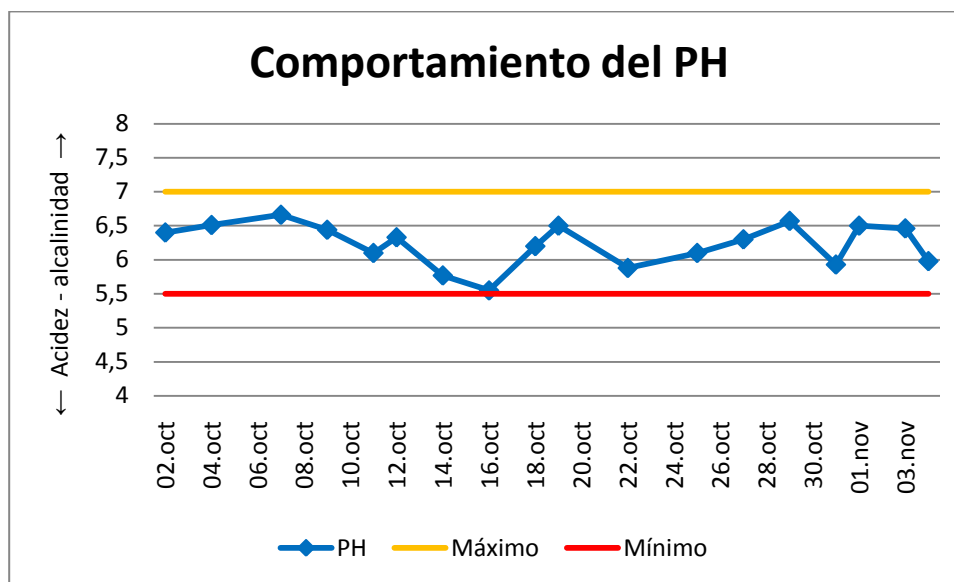
Si bien la conductividad eléctrica es un estándar universal, desafortunadamente a los ppm (partes por millón) se aplican diferentes tasas de conversión de conductividad. Existen 3 factores de conversión estándar según el fabricante, lugar de procedencia y el tipo de medidor del sensor que son el Fc 0,5 EEUU; Fc 0,64 Europeo y el Fc 0,70 Australia. Lo que indica que se podría probar la misma solución con dos medidores diferentes y obtener dos lecturas totalmente diferentes, pero la

conductividad eléctrica se lee igual en todos los medidores, la única diferencia es el factor de conversión.

### 6.1.5 Comportamiento del pH

El pH es responsable de la disponibilidad de nutrientes para la planta dentro de la solución nutritiva. En la figura 21, se observa la fluctuación del pH en el sistema NFT.

**Figura 21.** Comportamiento del pH en la solución nutritiva dentro del sistema NFT.



**Fuente:** Elaboración propia (2021).

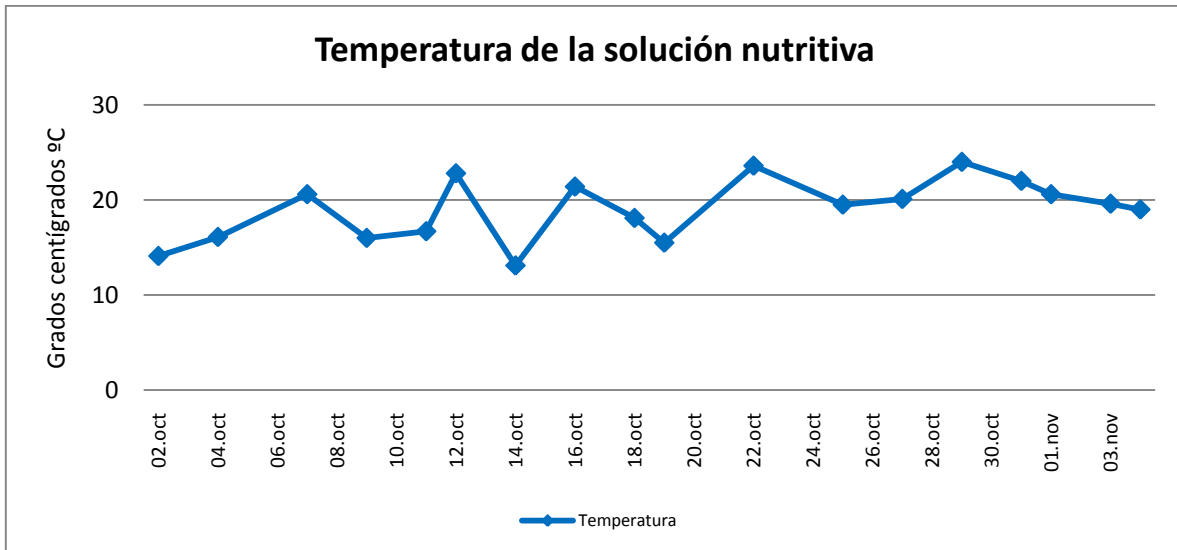
Respecto al pH se manejó en un rango de mínimo de 5,55 y máximo de 6,66 donde Carrasco & Izquierdo (1996), indican que el pH recomendado para el cultivo de lechuga es de 5,5 a 7. Así mismo al ser el pH variable, Cabezas (2019), menciona que el pH tiende a subir cuando las plantas se encuentran en pleno desarrollo, debido a que absorben más aniones y menos cationes, por lo tanto, absorben más Nitratos  $\text{NO}_3^-$  y menos potasio K y calcio Ca. Así mismo las plantas en plena producción el pH tiende a disminuir debido a que las plantas absorben más cationes que aniones, es decir, más potasio, calcio, magnesio y en menos cantidad los nitratos.



### 6.1.6 Temperatura de la solución nutritiva

La temperatura de la solución es muy importante ya que regula la temperatura en la zona radicular. La temperatura que se manejó como promedio es de 19°C. En la figura 22, se observa la fluctuación de la temperatura de la solución nutritiva.

**Figura 22.** Comportamiento de la temperatura de la solución nutritiva dentro del sistema NFT.



**Fuente:** Elaboración propia (2021).

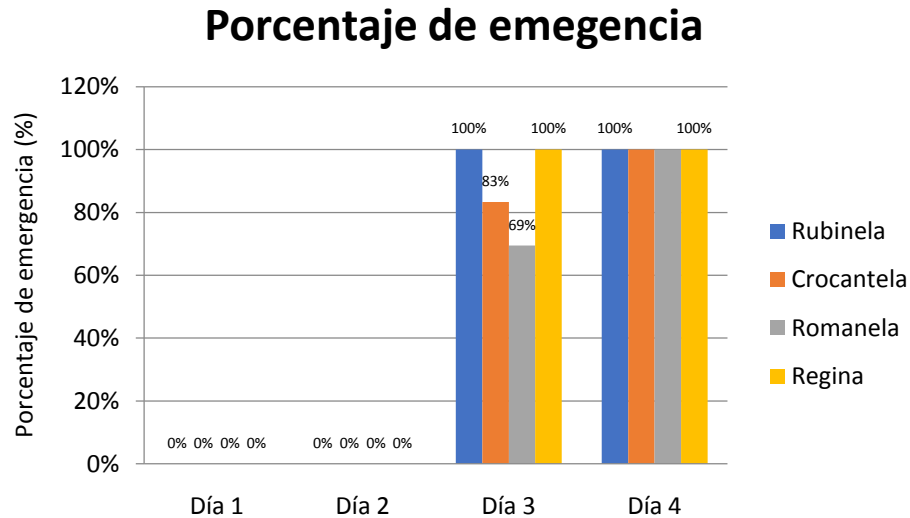
La temperatura en la solución se mantuvo en los parámetros recomendados para el cultivo. Arano (2016), menciona que la temperatura no debe superar los 37°C debido a que algunos elementos no podrían estar disponibles, además existirían quemaduras en las raíces y demasiada absorción de agua pero sin los nutrimentos necesarios para la planta, recomienda mantener temperaturas entre 18°C a 27°C. En este caso la temperatura media fue de 19°C la cual se encuentra dentro de los parámetros que indica el autor.

## 6.2 Variables de respuesta para el sistema NFT

### 6.2.1 Porcentaje de emergencia

La siguiente figura muestra la cantidad de plantas emergidas en el lapso de 4 días.

**Figura 23.** Porcentaje de emergencia a los 4 días después de la siembra.



**Fuente:** Elaboración propia (2021).

Se puede apreciar que en el día 3, la mayoría de las variedades tuvieron un buen desarrollo en la emergencia, específicamente la variedad Rubinela tuvo mayor reacción en la etapa de fase oscura con alto poder germinativo al 100% en el día 3, mientras que la variedad Romanela tuvo menor poder germinativo, pero a los 3 días tuvo un porcentaje del 69% de emergencia. A los 4 días todas las variedades tuvieron un porcentaje de emergencia del 100%.

Según Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), menciona que la etapa de germinación en lechuga dura 3 días posterior a estos días sigue con la etapa de emergencia, siempre y cuando se mantenga el semillero de 15° a 20°C y si la temperatura trasciende a los 5°C la germinación se mantiene 15 días en la germinación, si la temperatura incrementa o supera los 25°C o 30°C su porcentaje de emergencia solo incrementa el 12% (FAO., s.f.).

Por lo tanto, cuando el tiempo es caluroso y soleado, debe aumentar el índice de sombra, así mismo, las semillas de lechuga tienen una prolongada latencia, que pueden romperse a bajas temperaturas, basta con humedecer las semillas y almacenar a 2°C por 48 horas.

Según Quispe. L. (2015), En un sistema NFT obtuvo un porcentaje de emergencia a los 7 días y las variedades con más porcentaje de germinación fueron: Maravilla Cuatro Estaciones con un 99%, como también la variedad Waldmann Green var. Caps con un 98%; seguido por la variedad Crespa Morada con un 85%; como también la variedad Red Salad Bow con un 80%, seguido por la variedad Crespa Punta Morada var. Prizehead con un 78%, finalmente la variedad Romana Blanca Hortalena con un 75%.

Por lo tanto, las condiciones para el desarrollo de la semilla se deben tanto a las condiciones de la semilla como al ambiente que lo rodea. Debido a que, cuando existe la inhibición de un gran número de procesos metabólicos como la actividad respiratoria y la propia semilla en estado basal metabólico, las semillas pueden no encontrarse latentes de acuerdo a su fenotipo, debido a que no se dan las condiciones adecuadas y óptimas de uno o más factores ambientales, extendiéndose el periodo de dormancia, donde existirá un periodo de germinación mayor al deseado, lo que causará un desarrollo lento de la semilla hasta la elongación del hipocótilo y el desarrollo de los cotiledones para la etapa de emergencia. Por lo tanto, en los resultados obtenidos se evitó fisiológicamente semillas quiescentes para evitar extender el proceso de germinación dando las condiciones adecuadas en función a los requerimientos ambientales.

### **6.2.2 Diámetro del tallo**

Para una evaluación estadística se realizó el análisis de varianza para la variable de diámetro del tallo del cultivo de lechuga. En la tabla 18 se observa el nivel de significancia de la variable diámetro del tallo, respecto a cada factor estudiado.

**Tabla 18.** Análisis de varianza del diámetro del tallo (mm) con la aplicación de 3 caudales diferentes.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Nivel de Significancia
Bloque	9,47	2	4,74	1,95	0,257	NS
Caudal	3,83	2	1,91	0,79	0,5155	NS
Bloque*Caudal	9,74	4	2,43	3,38	0,0312	*
Variedad	57,15	3	19,05	26,49	0,0001	**
Caudal*Variedad	9,07	6	1,51	2,1	0,1039	NS
Error	12,95	18	0,72			
Total	102,2	35				

**Nota.** Variable diámetro del tallo; tamaño muestral N 36; Coeficiente de determinación  $R^2$  0,87; Coeficiente de determinación ajustado  $R^2_{Aj}$  0,75; coeficiente de variación 6,52%

Arteaga (2018), indica que para el manejo en ambientes atemperados el coeficiente de variación no debe superar los 15%. Por lo tanto, la variable diámetro del tallo con un coeficiente de variación de 6,52 %, indica que los datos del análisis estadístico son confiables por encontrarse en los rangos permisibles de variabilidad.

La temperatura como factor de variabilidad es no significativo, por tanto, no determina el crecimiento en grosor de la planta, esta variable está en función al desarrollo de los meristemos apicales de la planta y también a las diferentes variedades.

El factor caudal no influye en el diámetro del tallo, por lo tanto, esta variable no depende de las cantidades de flujo de agua que se proporciona a la planta.

La interacción entre caudal y variedades dio como resultado no significativo, por lo cual, el efecto del caudal no influye en las variedades en función a esta variable.

Por lo tanto, se puede apreciar una alta significancia entre variedades mostrando que el factor variedad influye en el diámetro del tallo acaule, independientemente al factor caudal. Por lo cual se procedió a realizar prueba de medias.

- **Comparaciones de medias por Duncan para la variable diámetro del tallo**

Al existir significancia entre variedades, se procedió a realizar la prueba de medias Duncan (tabla 19).

**Tabla 19.** Comparaciones de medias de diámetro del tallo (mm) de lechuga (*Lactuca sativa* L.) Por Duncan para el factor variedades.

Test: Duncan Alfa=0,05

Variedad	Medias	n	E.E.	
V2	14,44	9	0,28	A
V4	13,79	9	0,28	A
V3	12,65	9	0,28	B
V1	11,12	9	0,28	C

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)*  
*Error: 0,72; grados de libertad gl: 18*

Realizando la prueba de medias Duncan al 5% apreciamos tres grupos bien diferenciados en los cuales la mejor variedad en función al desarrollo del diámetro del tallo es la variedad Crocantela con un promedio de 14,44 mm seguido de la variedad Regina con una media de 13,79 mm y con un desarrollo más bajo se encuentra la variedad Rubinela con un diámetro de tallo en promedio de 11,12 mm.

Según Rodríguez Churata (2018) la relación entre el número de hojas y el diámetro del tallo son directamente proporcional, por lo tanto, a mayor diámetro de tallo existirá mayor cantidad de hojas según el tipo de variedad con la que se trabaja, haciéndonos entender que el diámetro acaule también influirá en la cantidad de hojas.

Si bien esta variable es atribuible al tipo de variedad manejada en hidroponía. Los genes que presenta la variedad Crocantela al igual que la variedad Regina son resistentes a altas temperaturas y climas adversos, debido a que se encuentran tropicalizados, por lo cual, a altas temperaturas en el día, el tallo se desarrolla con mayor facilidad debido a los meristemos apicales y en temperaturas frías y nocturnas mejoran el equilibrio del agua en la planta, que es el principal motivo de aumento en el crecimiento del tallo. Por lo tanto, la termomorfogénesis es utilizada para describir los efectos termoperiódicos en la morfología de la planta.

### 6.2.3 Volumen de raíz

Para una evaluación estadística se realizó el análisis de varianza de volumen de raíz del cultivo de lechuga. Donde se puede observar en la tabla 20

**Tabla 20.** Análisis de varianza de volumen de raíz en (cm<sup>3</sup>) con la aplicación de 3 caudales diferentes.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Nivel de Significancia
Bloque	285,37	2	142,69	48,5	0,0016	**
Caudal	30,42	2	15,21	5,17	0,0778	NS
Bloque*Caudal	11,77	4	2,94	0,25	0,9054	NS
Variedad	2620,82	3	873,61	74,49	0,0001	**
Caudal*Variedad	417,11	6	69,52	5,93	0,0015	**
Error	211,11	18	11,73			
Total	3576,6	35				

**Nota.** Variable: Volumen de raíz; tamaño muestral N 36; coeficiente de determinación R<sup>2</sup> 0,94; coeficiente de determinación ajustado R<sup>2</sup> Aj 0,89; coeficiente de variabilidad CV 12,71%.

Según Arteaga (2018), para el manejo en ambientes atemperados el coeficiente de variación no debe superar el 15% y no debe exceder este valor puesto de que indicaría un mal manejo de unidades experimentales. Por lo tanto, en la variable volumen de raíz con un coeficiente de variación de 12,71 %, indicando que los datos del análisis estadístico son confiables por encontrarse en los rangos permisibles de variabilidad.

Así mismo, para la variable de volumen de raíz se puede apreciar que los bloques tienen un efecto significativo en el experimento, dando a entender que la temperatura influyó independientemente entre los tratamientos.

En cuanto la interacción bloque con caudal observamos que no existe significancia, esto indica que la temperatura no influye en el factor del caudal.

Existe una alta significancia entre la interacción del factor A respecto al factor B, donde indica que la interacción del factor caudal influye en las variedades.

Entre variedades se observa su significancia mostrando que el factor variedad influye en el volumen de la raíz independientemente al factor caudal.

- **Comparaciones de medias por Duncan para la variable volumen de raíz**

Como se observa en el análisis de varianza las diferencias significativas para el factor variedad y la interacción entre variedades y caudal se procedió a la prueba de medias de Duncan (Tabla 21).

**Tabla 21.** Comparaciones de medias de volumen de raíz en (cm<sup>3</sup>) de lechuga (*Lactuca sativa L.*) Por Duncan para el factor variedades.

Test: Duncan Alfa=0,05

Variedades	Medias	n	E.E.	
V4	35,81	9	1,14	A
V3	31,02	9	1,14	B
V2	27,95	9	1,14	B
V1	12,98	9	1,14	C

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)  
Error: 11,73 ; grados de libertad gl: 18*

Realizando la prueba Duncan apreciamos 3 grupos bien diferenciados donde la mejor variedad es la variedad Regina “V4” obteniendo en promedio un volumen de 35,81 cm<sup>3</sup>. Y la variedad con resultados no tan satisfactorios es la variedad Rubinela “V1” con una media de 12,98 cm<sup>3</sup>.

Si bien existió condiciones ambientales y nutricionales similares entre las variedades, de acuerdo con Rivera (2015), mencionado por Cussi (2018), se argumenta que la variación entre variedades en cuanto al volumen de raíces se debe al factor genético de cada variedad, lo cual se sustenta con las leyes de Mendel, donde señala que el genotipo es heredado de los 2 progenitores, y que el individuo mostrará caracteres similares al de sus progenitores por que lleva en su ADN la información heredada de ambos progenitores.

Sin embargo, existen factores intrínsecos y extrínsecos que afectan el desarrollo de la raíz los cuales están dados por las precipitaciones de los elementos nutritivos, la temperatura de la solución nutritiva, el desarrollo de los pelos absorbentes, el paso de nutrientes entre células a través del plasmalema debido a una invaginación de la estructura, por lo tanto, el crecimiento y desarrollo se ve afectado por la combinación del entorno biológico, físico y químico, lo que significa que la tasa de flujo y el desarrollo de la raíz no puede ser la misma en otros entornos con distintas variedades.

- **Comparaciones de medias por Duncan para la interacción entre el factor caudal y variedad.**

En la tabla 22 observamos las comparaciones de medias entre la interacción del factor A y el factor B.

**Tabla 22.** Comparaciones de medias de volumen de raíz de lechuga (*Lactuca sativa*L.) Por Duncan para la interacción de caudal y variedad.

Test: Duncan Alfa=0,05

Caudal	Variedad	Medias	n	E.E.	
Q3	V4	41,43	3	1,98	A
Q2	V4	39,11	3	1,98	A B
Q1	V3	33,68	3	1,98	B C
Q3	V3	30,93	3	1,98	C D
Q2	V2	29,67	3	1,98	C D
Q1	V2	29,21	3	1,98	C D
Q2	V3	28,45	3	1,98	C D
Q1	V4	26,90	3	1,98	D
Q3	V2	24,97	3	1,98	D
Q2	V1	13,33	3	1,98	E
Q3	V1	12,85	3	1,98	E
Q1	V1	12,77	3	1,98	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )  
 Error: 11,73 ; grados de libertad gl: 18

Realizando la prueba Duncan al 5% apreciamos 5 grupos bien diferenciados donde se observa que la mejor combinación es el caudal de 2 Lt/min con la variedad Regina pertenecientes al tratamiento 12, teniendo como promedio en volumen de raíz de 41,43 cm<sup>3</sup> y la peor combinación siendo el caudal 1 Lt/min con la variedad Rubinela pertenecientes al tratamiento T1, con un promedio en volumen de raíz de 12,77 así mismo se puede observar que la variedad Rubinela tiene menor desarrollo de raíz con los caudales de 1 Lt/min, 1,5 Lt/min y 2 Lt/min.

Rivera (2015), en un estudio de 3 variedades de lechuga (waldman grean, white Boston y gran rapids) con un caudal de 2 litros/min, indica que a mayor volumen radicular se dificulta la libre circulación de la solución nutritiva por el sistema hidropónico NFT, atribuyendo esto al rebalse; debido al mayor grado de volumen de la raíz ocasionando la caída de lechugas o volteos de lado. Sin embargo al existir



rebalse, también se relaciona directamente con la pendiente de los canales de cultivos.

Según Castilblanco & Hidalgo (2009), el volumen de raíz se encuentra relacionado con la importancia y el mantenimiento del sistema de riego, donde relaciona al taponamiento de los microtubos con la presencia de materia orgánica (algas), teniendo un efecto negativo en el crecimiento y desarrollo de las raíces. Donde se deduce mayor taponamiento, menor circulación de oxígeno, menor velocidad de la solución nutritiva, por lo tanto, mayor crecimiento de algas, y menor desarrollo radicular.

En un estudio realizado por Cussi (2018), registra que la variedad Crocantela con un caudal en promedio de 0,6 l/min, obtuvo mayores resultados en el volumen de raíz con una media de 37,2 ml. mientras la variedad brunela con un caudal de 1,1 l/min obtuvo resultados de 16,11 ml. Por lo cual atribuye a la presión que existe por cada caudal de entrada donde existe mayor velocidad de recorrido dentro de los canales de cultivo.

Por lo tanto, las raíces son los principales órganos de las plantas responsables de la absorción de nutrientes, por lo tanto, ésta absorción depende de la longitud y del volumen de la raíz. En la investigación al existir una interacción del caudal en función a la variedad en el desarrollo del volumen de raíz, esto se atribuye a las variedades y a su grado de resistencia frente a los factores abióticos y a su grado de genética. Además a partir de la visualización del campo de flujo en este estudio, se evidencia que no era evidente un efecto de promoción del caudal bajo la circulación de la solución nutritiva.

Cuando la velocidad de flujo es mayor, el crecimiento disminuye debido a que los nutrientes no se mueven con facilidad en la planta debido a la menor absorción de nutrientes a través de los filamentos de los pelos radiculares, sobretodo del nitrógeno que se considera como un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas que es el componente principal de los aminoácidos, que son los componentes básicos de las proteínas donde participa en la catalización de las respuestas químicas y el transporte de electrones. Las tasas de flujo excesivo actúan

de tal manera que las raíces se vuelven compactas e inhiben el área de superficie y el crecimiento de raíz, por lo tanto, menor absorción de iones de nutrientes, así mismo, el caudal regulado puede regular la tigmomorfogénesis de la planta, mejorando la calidad del cultivo hidropónico.

#### 6.2.4 Número de hojas

Para una evaluación estadística se realizó el análisis de varianza para la variable número de hojas del cultivo de lechuga. Donde se puede observar en la tabla 23.

**Tabla 23.** Análisis de varianza de número de hojas con la aplicación de 3 caudales diferentes.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Nivel de Significancia
Bloque	0,37	2	0,19	8,61	0,0356	*
Caudal	0,13	2	0,06	2,97	0,1617	NS
Bloque*Caudal	0,09	4	0,02	0,79	0,5496	NS
Variedad	27,08	3	9,03	326,68	0,0001	**
Caudal*Variedad	0,41	6	0,07	2,5	0,0618	NS
Error	0,5	18	0,03			
Total	28,58	35				

**Nota.** Variable: número de hojas; coeficiente de variabilidad CV 3,46%

Arteaga (2018), Indica que para el manejo en ambientes atemperados el coeficiente de variación no debe sobrepasar el 15% puesto que si excede este valor indicaría un mal manejo de unidades experimentales. Por lo tanto, en la variable número de hojas con un coeficiente de variación de 3,46 %, indicando que los datos del análisis estadístico son confiables por encontrarse en los rangos permisibles de variabilidad.

Para la variable número de hojas podemos apreciar que los bloques tienen un efecto significativo en el experimento, dando a entender que la temperatura influyó independientemente entre los tratamientos.

En cuanto la interacción bloque con caudal observamos que no existe significancia, esto nos indica que la temperatura no influye en el factor del caudal.

Entre variedades observamos la alta significancia dándonos a entender que el factor variedad influye el número de hojas independientemente al factor caudal.

- **Comparaciones de medias por Duncan, para la variable número de hojas**

Al existir significancia entre variedades la tabla 24 muestra las comparaciones de medias del factor B variedades.

**Tabla 24.** Comparaciones de medias de número de hojas de lechuga (*Lactuca sativa*L.) Por Duncan al 5% para el factor B variedad.

Variedad	Test: Duncan Alfa=0,05			
	Medias	n	E.E.	
V4	6,28	9	0,06	A
V3	4,57	9	0,06	B
V1	4,28	9	0,06	C
V2	4,10	9	0,06	D

**Nota.** Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Se observa 4 grupos bien diferenciados donde la variedad Regina obtuvo mayor número de hojas, con una media de 6,28; y la variedad Crocantela obtuvo menor número de hojas con una media de 4,10.

Al respecto Aruquipa (2008), obtuvo resultados de 18 hojas para el cultivar Grand Rapids y 19 hojas para el cultivar Waldmann Green, esto en la ciudad de El Alto.

Ávila (1998), sostiene al respecto que todos los caracteres con importancia económica en plantas son controladas por la acción de muchos genes, por efecto del ambiente y la interacción de ambos factores; de este modo el valor fenotípico de una población o un individuo dependerá de un valor genotípico y del efecto ambiental, en el cual se ha desarrollado la variedad, además de la interacción de ambos factores.

Por lo tanto, el número de hojas esta directamente en función al diámetro del tallo, por ende, a mayor diámetro de tallo, mayor cantidad de número de hojas en la planta, así mismo, esta variable se encuentra influenciada a la misma vez por la temperatura afectando la tasa de desarrollo de la planta y la producción de hojas, tallos y demás órganos, ya que, a medida que la temperatura desciende es más lento el desarrollo produciendo daños severos en los tejidos de las plantas jóvenes. A medida que la temperatura aumenta, el desarrollo se acelera más que el

crecimiento, aun bajo condiciones optimas de manejo, donde el rendimiento se puede reducir hasta 4% por cada 1°C que aumente la temperatura media.

### 6.2.5 Longitud de hoja

Para una evaluación estadística se realizó el análisis de varianza de longitud de hoja del cultivo de lechuga. Donde se puede observar en la tabla 25.

**Tabla 25.** *Análisis de varianza de longitud de hoja (cm<sup>3</sup>) con la aplicación de 3 caudales diferentes.*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Nivel de Significancia
Bloque	1,74	2	0,87	22,26	0,0068	**
Caudal	1,38	2	0,69	17,66	0,0103	*
Bloque*Caudal	0,16	4	0,04	0,06	0,9916	NS
Variedad	110,27	3	36,76	61,09	0,0001	**
Caudal*Variedad	4,53	6	0,76	1,26	0,3254	NS
Error	10,83	18	0,6			
Total	128,9	35				

**Nota.** Variable: Longitud de hoja; tamaño muestral N 36; Coeficiente de determinación  $R^2$  0,92; coeficiente de determinación ajustado  $R^2$  Aj 0,84; coeficiente de variabilidad CV 4,17%

Arteaga (2018) Indica que para el manejo en ambientes atemperados el coeficiente de variación es  $\leq 15\%$ . Por lo tanto, en la variable longitud de hoja con un coeficiente de variación de 4,17 %, indica que los datos del análisis estadístico son confiables por encontrarse en los rangos permisibles de variabilidad.

Así mismo, para la variable de longitud de hoja se puede apreciar que los bloques tienen un efecto significativo en el experimento, dando a entender que la temperatura influyó independientemente entre los tratamientos.

Se puede apreciar la significancia del factor A “Caudal” donde se observa que tiene un efecto significativo en el experimento, además, indica que el caudal influye en el desarrollo de la longitud de hojas independientemente al factor B variedad.

En cuanto la interacción bloque con caudal observamos que no existe significancia, esto nos indica que la temperatura no influye en el factor del caudal.

Entre variedades observamos su significancia dándonos a entender que el factor variedad influye en la longitud de hojas independientemente al factor caudal.

En cuanto la interacción de los factores caudal\*variedad no existe significancia haciendo entender que la combinación de estos dos factores no influye en el crecimiento y desarrollo de la longitud de hojas.

- **Comparaciones de medias por Duncan para la variable longitud de hojas del factor caudal.**

Como se observa en el análisis de varianza las diferencias significativas para el factor A y B de caudal y variedades de manera independiente se procedió a la prueba de medias de Duncan al 5%.

**Tabla 26.** Comparaciones de medias de longitud de hojas (cm) de lechuga (*Lactuca sativa*L.) Por Duncan para el factor A Caudal.

Test: Duncan Alfa=0,05

Caudal	Medias	n	E.E.	
Q3	18,77	12	0,06	A
Q2	18,68	12	0,06	A
Q1	18,32	12	0,06	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)*  
 Error: 0,04; grados de libertad gl: 4

Realizando la prueba Duncan apreciamos 2 grupos bien diferenciados donde se aprecia que el mejor caudal es el de 2 Lt/min para la variable longitud de hojas con un promedio de 18,77cm, seguido del caudal 1,5 Lt/min con un promedio de 18,68 cm. Mientras que el menor desarrollo y crecimiento de longitud de hojas en función al caudal fue el de 1 Lt/min con una media de 18,32 cm.

Por lo tanto la hoja es el órgano más importante para producir energía mediante la fotosíntesis. La planta inhibe el crecimiento cuando existe una velocidad de flujo menor, dando como resultado plantas relativamente cortas. Estos hallazgos muestran en el presente trabajo de investigación, en un cierto rango el aumento de la velocidad de flujo promueve el crecimiento de las plantas y las tasas de flujo mínima inhibirán el crecimiento de la planta.

- **Comparación de medias por Duncan de la variable longitud de hojas para el factor variedad.**

En la tabla 27 observamos las comparaciones de medias del factor B variedades

**Tabla 27.** Comparaciones de medias de longitud de hojas de lechuga (*Lactuca sativa*L.) Por Duncan para el factor B variedad.

Test:Duncan Alfa=0,05

<u>Variedades</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>	
V4	19,84	9	0,26	A
V2	19,50	9	0,26	A
V3	19,44	9	0,26	A
V1	15,57	9	0,26	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )  
Error: 0,62 ; grados de libertad gl: 18*

Realizando la prueba Duncan al 5% apreciamos 2 grupos bien diferenciados donde se observa que la mayor longitud de hojas son las variedades: Regina con una media de 19,84 cm, Crocantela con una media de 19,50 cm. Romanela con una media de 19,44 cm. Así mismo reportando la longitud de hojas más bajo es la variedad Rubinela con una media de 15,57 cm.

Ayala A. (2019), al realizar el estudio entre las variedades Rubinela con una media de 20,13 cm y la variedad Crocantela con una media de 24,88 cm, indica que las variaciones son debidas a los factores genéticos, deduciendo que los factores ambientales se relacionan con el desarrollo y crecimiento de las plantas, que influyen de distintas maneras en la expresión de esta variable.

Por lo tanto, los valores obtenidos en la investigación se deducen que es debido a las diferencias encontradas en la morfología de las variedades en función a la forma de la hoja. Por lo tanto, las variedades estudiadas son muy distintas entre sí, debido a que cada una de ellas presenta características y formas únicas en su fenotipo.

Así mismo se presentó una diferencia significativa entre bloques, lo que indica que si bien las plantas necesitan la absorción de luz, estas pueden ser inhibidas a través del factor de variabilidad como es la temperatura, donde causan cambios anatómicos, morfológicos y funcionales, algunos causados por estrés térmico reduciendo el tamaño de las células, menor conductancia estomática, cierre de

estomas, cambios en la permeabilidad de las membranas celulares, sin embargo, especies genéticamente adaptadas a ambientes adversos como son las variedades estudiadas, no se consideran de baja concentración de clorofila, puesto que estas variedades son tropicalizadas además, la eficiencia fotosintética y el rendimiento son relativamente estables es esta variable.

### 6.2.6 Peso comercial

Para una evaluación estadística se realizó el análisis de varianza para el peso comercial del cultivo de lechuga. Donde se puede observar en la tabla 28.

**Tabla 28.** Análisis de varianza del peso comercial de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) con la aplicación de 3 caudales diferentes.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Nivel de Significancia
Bloque	4659,31	2	2329,65	23,21	0,0063	**
Caudal	188,85	2	94,42	0,94	0,4626	NS
Bloque*Caudal	401,55	4	100,39	0,22	0,9212	NS
Variedad	38591,45	3	12863,82	28,77	0,0001	**
Caudal*Variedad	10407,84	6	1734,64	3,88	0,0116	*
Error	8048,64	18	447,15			
Total	62297,63	35				

**Nota.** Variable peso de la planta; tamaño muestral N 36; coeficiente de determinación R<sup>2</sup> 0,87; coeficiente de determinación ajustado R<sup>2</sup> Aj 0,75; coeficiente de variabilidad CV 13,65%.

Arteaga (2018), indica que para el manejo en ambientes atemperados el coeficiente de variación es  $\leq 15\%$ . Por lo tanto, en la variable peso comercial con un coeficiente de variación de 13,65 %, indica que los datos del análisis estadístico son confiables por encontrarse en los rangos permisibles de variabilidad.

Para la variable del peso comercial de la planta se puede apreciar que los bloques tienen un efecto significativo en el experimento, dando a entender que la temperatura influyó independientemente entre los tratamientos.

En cuanto la interacción bloque con caudal observamos que no existe significancia, esto nos indica que la temperatura no influye en el factor del caudal.

Entre variedades observamos su significancia dándonos a entender que el factor variedad influye en el peso comercial de la planta independientemente al factor caudal.

En cuanto la interacción de los factores caudal\*variedad existe significancia haciendo entender que la combinación de estos dos factores influyen en el crecimiento y desarrollo del peso comercial de la planta.

- **Comparaciones de medias por Duncan para la variable peso comercial**

Como se observa en el análisis de varianza las diferencias significativas para el factor B variedades independientemente se procedió a la prueba de medias de Duncan al 5%.

**Tabla 29.** *Comparaciones de medias del peso comercial de la planta (gr) de lechuga (Lactuca sativa L.) Por Duncan para el factor B variedades.*

Test: Duncan Alfa=0,05

Variedades	Medias	n	E.E.	
V4	188,22	9	7,05	A
V2	167,04	9	7,05	B
V3	163,93	9	7,05	B
V1	100,60	9	7,05	C

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )  
Error: 447,15 grados de libertad gl: 18*

Realizando la prueba Duncan apreciamos 3 grupos bien diferenciados donde se aprecia que el mejor peso comercial de la planta es la variedad Regina con una media de 188,22 gr. Mientras que el menor peso comercial de la planta es la variedad Rubinela con una media de 100,60 gr.

Esto se atribuye a la temperatura existente en el ambiente atemperado y a la resistencia de la variedad frente a este factor abiótico, la variedad Regina es de carácter cálido, el cual para desarrollarse con total éxito necesita temperaturas de 20°C mientras que la variedad Rubinela no se encuentra tropicalizado por lo cual no tiene resistencia a temperaturas elevadas lo cual dificulta su desarrollo con total éxito.



- **Comparación de medias por Duncan entre la interacción caudal y variedad.**

En la tabla 30 observamos las comparaciones de medias de la interacción caudal\*variedad.

**Tabla 30.** Comparaciones de medias del peso comercial de lechuga (*Lactuca sativa* L.) Por Duncan para la interacción de caudal y variedad.

Test: Duncan Alfa=0,05					
Caudal	Variedad	Medias	n	E.E.	
Q3	V4	218,40	3	12,21	A
Q2	V4	200,20	3	12,21	A B
Q1	V2	183,13	3	12,21	A B C
Q1	V3	173,67	3	12,21	B C
Q2	V2	166,07	3	12,21	B C
Q3	V3	161,33	3	12,21	B C
Q2	V3	156,80	3	12,21	C
Q3	V2	151,93	3	12,21	C
Q1	V4	146,07	3	12,21	C
Q1	V1	106,40	3	12,21	D
Q3	V1	99,93	3	12,21	D
Q2	V1	95,47	3	12,21	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Error: 447,15 grados de libertad gl: 18

Realizando la prueba Duncan al 5% apreciamos 4 grupos bien diferenciados donde se observa que la mejor combinación es el caudal de 2 l/min con la variedad Regina pertenecientes al tratamiento T12, teniendo como promedio en el peso comercial de 218,40 gr, seguido del caudal 1,5 l/min con la variedad Regina T8 con una media de 200,20 gr, además del caudal 1l/min con la variedad Crocantela T2 con una media de 183,13 gr y la combinación más baja en función al peso comercial es el caudal 1,5 l/min con la variedad Rubinela pertenecientes al tratamiento T5, con un promedio en peso comercial de 95,47gr, seguido del caudal 2 l/min con la variedad Rubinela T9, con una media de 99,93 gr, además el caudal 1 l/min con la variedad Rubinela T1 con una media de 106,40 gr.

Sin embargo, Quispe L. 2015 obtuvo en el análisis de varianza los bloques, mostraron que no hubo diferencia significativa entre los bloques ( $Pr=0,5298$ ), por otra parte el análisis de varianza para el peso de planta; mostró que hubo diferencia

significativa entre las variedades de la lechuga ( $Pr=0,0201$ ), lo que significa que hubo diferencia entre variedades de lechuga con respecto al peso de planta.

Por otro lado Urey (2007), afirma que la mayor acumulación de materia verde total y que mejor respondieron al sistema hidropónico recirculante NFT, fueron la variedad Crespa y Romana, de tal forma que tuvieron los promedios más altos en peso 169,5 g y 162,34 g, respectivamente, y por último la variedad Blanca con peso de 132,25 g, observándose diferencia significativas entre ellas, en todos los casos pero incluye el peso de las raíces.

Por lo tanto, con los resultados obtenidos en la investigación, indica que la temperatura tiene un efecto en los tratamientos, afectando directamente a las funciones importantes de la planta como la fotosíntesis, respiración, permeabilidad de la membrana celular, la absorción del agua y de los nutrimentos, la transpiración, la actividad enzimática y la coagulación de las proteínas, las cuales ayudan al crecimiento y desarrollo de las plantas.

### 6.2.7 Rendimiento por metro cuadrado

Para una evaluación estadística se realizó el análisis de varianza para el rendimiento del cultivo de lechuga, donde se puede observar en la tabla 31

**Tabla 31.** *Análisis de varianza del rendimiento de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) por m<sup>2</sup> con la aplicación de 3 caudales diferentes.*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Nivel de Significancia
Bloque	5,74	2	2,87	23,35	0,0062	**
Caudal	0,23	2	0,12	0,94	0,4632	NS
Bloque*Caudal	0,49	4	0,12	0,22	0,9214	NS
Variedad	47,19	3	15,73	28,68	0,0001	**
Caudal*Variedad	12,77	6	2,13	3,88	0,0116	*
Error	9,87	18	0,55			
Total	76,30	35				

**Nota.** Variable Rendimiento Kg/m<sup>2</sup>; tamaño muestral N 36; coeficiente de determinación R<sup>2</sup> 0,87; coeficiente de determinación ajustado R<sup>2</sup> Aj 0,75; coeficiente de variabilidad CV 13,66%.

Arteaga (2018) Indica que para el manejo en ambientes atemperados el coeficiente de variación es  $\leq 15\%$ . Por lo tanto, en la variable rendimiento con un coeficiente de

variación de 13,65 %, indica que los datos del análisis estadístico son confiables por encontrarse en los rangos permisibles de variabilidad.

Para la variable rendimiento de la planta se puede apreciar que los bloques tienen un efecto significativo en el experimento, dando a entender que la temperatura influyó independientemente entre los tratamientos.

En cuanto la interacción bloque con caudal observamos que no existe significancia, esto nos indica que la temperatura no influye en el factor del caudal.

Entre variedades observamos altamente significativo dándonos a entender que el factor variedad influye en el peso comercial de la planta independientemente al factor caudal.

En cuanto la interacción de los factores caudal\*variedad existe significancia haciendo entender que las combinaciones de estos dos factores influyen en el rendimiento de la planta.

- **Comparación de medias por Duncan para la variable Rendimiento**

Como se observa en el análisis de varianza las diferencias significativas para el factor B variedades independientemente se procedió a la prueba de medias de Duncan al 5%.

**Tabla 32.** Comparaciones de medias del rendimiento por m<sup>2</sup> (kg/m<sup>2</sup>) de lechuga (Lactuca sativaL.) Por Duncan para el factor B variedades.

Test: Duncan Alfa=0,05				
<u>Variedad</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E</u>	
V4	6,59	9	0,25	A
V2	5,85	9	0,25	B
V3	5,74	9	0,25	B
V1	3,52	9	0,25	C

Realizando la prueba Duncan apreciamos 3 grupos bien diferenciados donde se aprecia que la variedad con mejor rendimiento es la variedad Regina con una media de 6,59 kg/m<sup>2</sup>. Mientras que la variedad con rendimiento más bajo es la variedad Rubinela con una media de 3,52 kg/m<sup>2</sup>.

En el estudio realizado por Ayala A., (2019) Sustenta que los rendimientos obtenidos en las variedades Crocantela tienen una media de 3,93 kg/m<sup>2</sup> mientras que la variedad Rubinela con una media de 2,84 kg/m<sup>2</sup> en su rendimiento. Así mismo (Huanca, 2017) obtuvo resultados en la variedad Crocantela con una media de 3,89 kg/m<sup>2</sup>, mientras que la variedad Romanela con una media de 2,94 kg/m<sup>2</sup>. En ambos estudios atribuyen la adaptabilidad del cultivo en el sistema hidropónico y las características genéticas de las variedades, donde indican también que la variedad Crocantela es de porte alto mientras que la variedad Rubinela es de porte bajo.

En la tabla 33 observamos las comparaciones de medias de la interacción caudal\*variedad

**Tabla 33.** Comparaciones de medias del rendimiento/m<sup>2</sup> (kg/m<sup>2</sup>) de lechuga (*Lactuca sativa* L.) Por Duncan para la interacción de caudal y variedad.

Test: Duncan Alfa=0,05				
Caudal	Variedad	Medias	n	E.E.
Q1	V4	7,64	3	0,43 A
Q2	V4	7,00	3	0,43 A B
Q3	V2	6,41	3	0,43 A B C
Q3	V3	6,08	3	0,43 B C
Q2	V2	5,81	3	0,43 B C
Q1	V3	5,65	3	0,43 B C
Q2	V3	5,49	3	0,43 C
Q1	V2	5,32	3	0,43 C
Q3	V4	5,11	3	0,43 C
Q3	V1	3,73	3	0,43 D
Q1	V1	3,50	3	0,43 D
Q2	V1	3,34	3	0,43 D

**Nota.** Test: Duncan Afa =0,05 Error: 0,55 grados de libertad gl: 18

Realizando la prueba Duncan al 5% apreciamos 4 grupos bien diferenciados donde se observa que la mejor combinación es el caudal de 1Lt/min con la variedad Regina con una media de 7,64 kg/m<sup>2</sup>, así mismo las combinaciones del caudal 1,5Lt/min con la variedad Regina con una media de 7 Kg/m<sup>2</sup> y 2Lt/min con la variedad Crocantela con una media de 6,41 kg/m<sup>2</sup>. Así mismo se tuvo la combinación más baja en

función al rendimiento que fue con la variedad Rubinela con la interacción de los caudales 2Lt/min con una media de 3,73kg/m<sup>2</sup>, seguido del caudal 1Lt/min con una media de 3,50kg/m<sup>2</sup> y finalmente el caudal de 1,5Lt/min con una media de 3,34Kg/m<sup>2</sup>.

Al respecto Urey (2007), afirma que de tal manera que la producción en el sistema recirculante (hidroponía), estas variedades evaluadas se comportaron cada una de diferente manera desde al almacigo, hasta la cosecha, las diferencias de las variedades evaluadas, en cuanto a la altura de planta, peso, la que sobresalió desde el inicio fue la variedad Crespa y Romana y por último la Blanca (42375 kg/ha; 40585 kg/ha; 33062 kg/ha).

Por otra parte Aruquipa (2008), evidencia que las variedades responden de mejor forma en sustrato sólido, puesto que presentan mayores rendimientos que en sustrato líquido; principalmente las variedades Grand Rapid y White Boston con 53700 y 53300 kg/ha respectivamente; mientras que tuvieron menor rendimiento las variedades Grand Rapid y Waldmann Green cultivados en sustrato líquido con 30000 y 30800 kg/ha respectivamente.

Sin más referencias expuestas se aprecia que en la evaluación realizada, el rendimiento fue distinto en cada variedad como también fue de similares rendimientos con estudios realizados anteriormente.

Por lo tanto, los resultados obtenidos en la investigación frente a los estudios realizados por los autores mencionados, se deduce que los valores obtenidos se encuentran dentro de los niveles correspondientes, así mismo, la variedad Regina superando los resultados obtenidos respecto a los otros estudios. La influencia del caudal de la solución nutritiva en el rendimiento de las plantas está relacionada con la morfología y las características propias de cada variedad, por lo tanto, la regulación del caudal en la producción hidropónica afecta el crecimiento de las plantas, lo que a su vez afecta el rendimiento y la calidad de los cultivos.

### 6.2.8 Número de campañas por año

Para situar el sistema hidropónico en una producción intensiva se debe tener en cuenta el tiempo de permanencia del cultivo en el sistema NFT, debido a que puede aportar mayor número de cosechas al año en un ambiente atemperado, por lo tanto mayor producción.

Otro factor de producción es también es el desarrollo del cultivo hasta la cosecha según el tipo de variedad, el presente estudió tardó 37 días en el sistema NFT lo cual nos indica que al año se puede realizar de 9 a 10 campañas por año. Sin embargo para el análisis económico se tomó en cuenta 9 campañas debido a las fuentes de variabilidad difíciles de predecir o controlar como heladas, sequias, etc. La tabla 34 muestra las cosechas realizadas cada semana por pirámide, así mismo se observa la cantidad de días que las plantas se encuentran en cada etapa desde la siembra hasta la cosecha.

**Tabla 34.** Cosecha escalonada, producción continua intensiva (360 plantas semanales por pirámide).

	Sem 1	Sem 2	sem 3	sem 4	sem 5	sem 6	sem 7	sem 8	sem 9	sem 10	sem 11	sem 12
almacigo 1	lote 1			lote 4			lote 7			lote 10		
almacigo 2		Lote 2			lote 5			lote 8			lote 11	
almacigo 3			lote 3			lote 6			lote 9			lote 12
piscina 1		lote 1			lote 4			lote 7			lote 10	
piscina 2			lote 2			lote 5			lote 8			lote 11
piscina 3				lote 3			lote 6			lote 9		
pirámide 1					Lote 1			lote 4	lote 1		lote 7	
pirámide 2						lote 2			lote 5			lote 8
pirámide 3							lote 3			lote 6		
cosecha 1									lote 1			lote 4
cosecha 2										lote 2		
cosecha 3											lote 3	

**Fuente:** Elaboración propia (2021).

Esta tabla muestra una producción continua intensiva. La primera semana comienza con la siembra del primer lote de 360 plantas, seguido por cada semana la misma

cantidad de plantas para la almaciguera. El transplante a las bandejas flotantes cada semana por el lapso de estadio de 3 semanas con el uso de 3 piscinas, el transplante definitivo al sistema NFT cada semana por pirámide, por el lapso de estadio de 5 semanas. La cosecha cada semana a partir de la novena semana después de la siembra.

Por lo tanto se tiene un estadio de 5 semanas de las plantas en el sistema NFT, dando como resultado de 9 a 10 cosechas generales dentro de la capacidad del ambiente atemperado.

### 6.3 Análisis económico

Realizando un análisis de costos de los experimentos por tratamiento para la toma de decisiones, se obtuvieron los siguientes resultados:

Para identificar, a veces no son positivos, pero la ventaja que tiene en el aspecto social a veces es alta.

#### 6.3.1 Rendimiento ajustado

El rendimiento ajustado refleja el 10% de pérdida por diversos factores en el desarrollo del cultivo desde la siembra hasta la post cosecha.

**Tabla 35.** Rendimiento promedio y rendimiento ajustado

Tratamiento	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
Rnd. Promedio Kg/m <sup>2</sup>	3,50	5,32	5,65	7,64	3,34	5,81	5,49	7,01	3,72	6,41	6,08	5,11
Rnd. Ajustado (- 10%)	3,15	4,79	5,08	6,88	3,01	5,23	4,94	6,31	3,35	5,77	5,47	4,60

Fuente: Elaboración propia (2021).

#### 6.3.2 Beneficio bruto

El siguiente cuadro muestra el beneficio bruto que valora el rendimiento ajustado para cada tratamiento (-10%), conociendo el precio real del producto en Kg. Y conociendo los beneficios brutos anuales relacionados con cada tratamiento.

**Tabla 36. Beneficio bruto anual por tratamiento (Bs/año).**

ÍTEMS	TRATAMIENTOS											
	Rub.	Cro.	Rom.	Reg.	Rub.	Cro.	Rom.	Reg.	Rub.	Cro.	Rom.	Reg.
Trat.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
Rnd. Promedio Kg/m2	3,5	5,3	5,7	7,6	3,3	5,8	5,5	7,0	3,7	6,4	6,1	5,1
Rnd. Ajustado (-10%)	3,2	4,8	5,1	6,9	3,0	5,2	4,9	6,3	3,4	5,8	5,5	4,6
Precio (Bs/Kg)	15,0	12,5	12,5	12,5	15,0	12,5	12,5	12,5	15,0	12,5	12,5	12,5
Beneficio bruto (Bs)	188,9	239,3	254,1	343,9	180,3	261,6	246,9	315,3	201,1	288,4	273,5	230,1
Beneficio ajustado (bs)	169,9	215,4	228,7	309,6	162,4	235,4	222,3	283,8	180,9	259,6	246,2	207,1
Nº de campañas año	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Beneficio bruto año (Bs/año)	1699,9	2153,7	2286,9	3095,9	1623,9	2354,0	2222,6	2837,8	1809,9	2595,9	2461,7	2070,5
Beneficio bruto ajustado (Bs/año)	1529,9	1938,3	2058,2	2786,24	1461,5	2118,6	2000,4	2554,1	1628,9	2336,3	2215,6	1863,5

Fuente: Elaboración propia (2021).

### 6.3.3 Costos variables

Para el siguiente cuadro se tomaron en cuenta todos los costos que varían acorde al nivel de producción, por lo cual a mayor producción, mayor será el costo variable total.

**Tabla 37. Costo variable total por tratamiento (Bs/año).**

Ítem	Costos generales	Costo por tratamiento
Semilla	57,60	4,80
Insumos	28,00	2,33
Fertilizantes	118,00	9,83
Energía eléctrica	73,92	6,16
Costo del transporte	80,00	6,67
Mano de obra	2450,00	204,17
Costos variables / ciclo	2807,52	233,96
Número de campañas año	9	9
<b>Costos variable total/año</b>	<b>25267,68</b>	<b>2105,64</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

Si bien estos costos no varían por tratamiento, estos necesariamente aumentarán o disminuirán según la producción.



### 6.3.4 Costos fijos

Para el siguiente cuadro se tomaron en cuenta los costos independientemente del nivel de producción, debido a que estos no dependen del volumen de producción.

**Tabla 38.** *Costos fijos generales y costos fijos por tratamiento*

Item	Costos generales	Costo por tratamiento
Alquiler del ambiente atemperado (Bs/año)	1620,00	135,00
Sistema hidropónico NFT	4000,00	333,33
<b>Costo fijo total Bs/año</b>	<b>5620,00</b>	<b>468,33</b>

**Nota.** Para el alquiler se tomó en cuenta la depreciación de los materiales por 3 y 5 años según la construcción del ambiente atemperado

### 6.3.5 Costo total

Para el siguiente cuadro se tomaron en cuenta la sumatoria total de los costos fijos más los costos variables por año.

**Tabla 39.** *Costo total general y costo total por tratamiento*

Item	Costo general	costo por tratamiento
Costos variable total/año	25267,68	2105,64
Costo fijo total Bs/año	5620,00	468,33
Imprevistos (5%)	1544,38	167,39
<b>Costo total anual (43m2)</b>	<b>20107,88</b>	<b>1675,66</b>

**Fuente:** Elaboración propia (2021).

### 6.3.6 Beneficio neto

Para el beneficio neto se calculó restando el total de los costos que varían del beneficio bruto por tratamiento.

**Tabla 40. Beneficio neto por tratamiento**

ITEM	Rub	Cro	Rom	Reg	Rub	Cro	Rom	Reg	Rub	Cro	Rom	Reg
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
Beneficio bruto ajustado (Bs/año)	1529,9	1938,3	2058,2	2786,2	1461,5	2118,6	2000,4	2554,1	1628,9	2336,3	2215,6	1863,4
Costo total Bs/año	1675,7	1675,7	1675,7	1675,7	1675,7	1675,7	1675,7	1675,7	1675,7	1675,7	1675,7	1675,7
Beneficio neto total Bs/año	-145,8	262,6	382,6	1110,6	-214,2	442,9	324,7	878,4	-46,8	660,7	539,9	187,8

Fuente: Elaboración propia (2021).

### 6.3.7 Relación beneficio/costo

**Tabla 41. Relación beneficio costo por tratamiento.**

ITEM	Rub	Cro	Rom	Reg	Rub	Cro	Rom	Reg	Rub	Cro	Rom	Reg
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
Beneficio bruto anual	1529,9	1938,3	2058,2	2786,2	1461,5	2118,6	2000,4	2554,1	1628,9	2336,3	2215,6	1863,4
Costo total anual (70m2)	1675,7	1675,7	1675,7	1675,7	1675,7	1675,7	1675,7	1675,7	1675,7	1675,7	1675,7	1675,7
Beneficio costo	0,9	1,2	1,2	1,7	0,9	1,3	1,2	1,5	1,0	1,4	1,3	1,1

De los 12 tratamientos estudiados se observa que la variedad con mayor beneficio costo es la variedad Regina, debido a que por cada boliviano invertido se tiene 70 centavos de ganancia, y la variedad con menor beneficio costo es el T5 y T1 pertenecientes a la variedad Rubinela donde se observa que no se tendría ganancias más sin embargo pérdidas,

Según Quispe (2015), en sus resultados se puede señalar que la variedad más conveniente para la producción de lechuga en el sistema hidropónico recirculante “NFT”, es la variedad Maravilla 4 Estaciones (T3), cuyos rendimientos fueron superiores con respecto a las otras cinco variedades de lechugas estudiadas, de manera que está relacionada directamente con las utilidades netas, por el poco tiempo que representa cultivar la lechuga, y por su garantía sanitaria hacia la salud humana cultivar en el sistema hidropónico recirculante “NFT”.

## 7. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados en la investigación las conclusiones son las siguientes:

Para el efecto del caudal sobre las variables agronómicas.

- Para la variable número de hojas, el caudal no tuvo efecto en las variedades estudiadas, sin embargo, entre variedades si existe una alta significancia, por lo cual, la variedad V4 Regina tiene un mejor desarrollo en cuanto a esta variable, con una media de 6,28.
- Para la variable longitud de hojas, el efecto del caudal si tuvo significancia, presentando una media de 18,77 cm de longitud del caudal más influyente de 2 litros /minuto. La variedad con un mejor desarrollo fue la variedad V4 Regina con una media de 19,84 cm.
- Para la variable diámetro del tallo, el efecto del caudal no fue significativo, por lo cual usar 1, 1,5 o 2 Litros no influye sobre esta variable, sin embargo entre variedades si existe una alta significancia, por lo cual la variedad con mejor desarrollo respecto a esta variable es la V2 Crocantela con una media de 14,44 mm.
- Para la variable volumen de raíz, el efecto del caudal no tuvo significancia, por lo cual, al usar cualquier caudal estudiado no tendrá efecto en las variedades estudiadas. Sin embargo entre variedades existe una alta significancia con una media de 35,81 ml perteneciente a la variedad V4 Regina, así mismo, la mejor combinación es el tratamiento T12 ( $a_3*b_4$ ) con una media de 41,43 ml.
- Para la variable peso comercial, el efecto del caudal no tuvo significancia, sin embargo entre variedades si existe una alta significancia, donde la variedad V4 Regina con una media de 188,22 gr fue la mejor en desarrollarse, así mismo, la mejor combinación fue el tratamiento 12 ( $a_3*b_4$ ) con una media de 218,40 gr
- En cuanto al rendimiento  $m^2$  por tratamiento, el efecto del caudal no tuvo significancia, sin embargo entre variedades también existió una alta significancia de 6,59  $kg/m^2$  pertenecientes a la variedad V4 Regina, así mismo tuvo una alta significancia entre la combinación del tratamiento T4 ( $a_1*b_4$ ) con una media de

7,64 kg/m<sup>2</sup> pertenecientes a la variedad Regina con 1litro/min de solución nutritiva.

- En cuanto al rendimiento ajustado por tratamiento, la variedad V4 Regina con una media de 6,88 kg/m<sup>2</sup> tuvo un mejor rendimiento al -10%.

En cuanto a la identificación del mejor caudal para la producción

- Se identifica al caudal de 1 litro/min como el mejor debido a las medias, donde se obtuvieron mejores resultados en función al rendimiento con 6.10 kg/m<sup>2</sup>, esto se debe a la velocidad de entrada de la solución nutritiva a los canales de cultivo manejado con este caudal, donde se genera mayor rapidez en la absorción de nutrientes cuando la temperatura es relativamente elevada.

En cuanto al análisis económico en relación al beneficio costo por tratamiento

- El análisis de costos indica que la recuperación de la inversión es menor a 70 ctv.; no obstante para trabajar con este sistema, este análisis recomienda trabajar con un caudal de 1 litro/min.

El efecto del caudal en el cultivo de lechuga variedad Regina fue diferenciado debido al caudal, el cual, es menor y la absorción de nutrientes será mayor, puesto que la velocidad con la que pasa la solución es más uniforme, sin embargo, la cantidad de oxígeno disuelto será también menor, por lo tanto se debe emplear una relación adecuada en ambos sentidos.

## 8. RECOMENDACIONES

Finalizado el trabajo de investigación y en base a los resultados obtenidos se recomienda lo siguiente:

- Realizar un análisis bromatológico de este cultivo en este sistema para verificar los nutrientes que realmente aporta, en condiciones apropiadas y estandarizadas de la solución nutritiva.
- Probar distintos caudales menores a los estudiados, a fin de ver el efecto del recurso agua en menor cantidad e incrementando su eficiencia.
- Realizar estudios en un sistema hidropónico en bancadas a fin de evitar el efecto de las gradientes de control en sentido vertical, siendo más uniforme el estudio.
- Probar distintos tipos de pendiente en los canales de cultivo, mientras más pendiente más velocidad de la solución nutritiva, a fin de ver los efectos de la absorción de nutrientes y la cantidad de oxígeno disponible.
- Estudiar los diferentes requerimientos de las soluciones nutritivas propuestos por distintos autores, para encontrar el más adecuado en función al rendimiento.
- Estudiar diferentes frecuencias de fertirrigación con la finalidad de ver los efectos que conllevarían al uso del agua.
- Estudiar el rendimiento en diferentes estaciones del año, para ver si esta variable es cambiante.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

AGROCEJO. (2021). Interpretación de análisis de agua para preparación de soluciones nutritivas. Colombia.

AgrowTronics. (2021). *A cerca de nosotros: AgrowTronics iMatrix Systems, inc.* Recuperado el 8 de Junio de 2022, de sitio web AgrowTronics: <https://www.agrowtronics.com/sizing-hydroponic-pumps-what-you-need-to-know/>

Arano, C. R. (2016). *El abc de la hidroponía, Técnicas para el cultivo de plantas sin tierra* (segunda ed., Vol. X). Buenos Aires, Argentina: Edición del autor.

Arteaga, Y. (2018). apuntes de clases de diseño experimental. La Paz, Bolivia.

Ayala A., V. (2019). Evaluación del cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa*) en sistema hidropónico bajo dos niveles de cloruro de potasio. (V. ayala A., Ed.) *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales* , VI (2), 66-71.

Banco de Bilbao y Banco de vizcaya Argentina BBVA. (s.f.). *Banco de Bilbao y Banco de Vizcaya Argentina*. Recuperado el 22 de Junio de 2022, de [www.bbva.com](http://www.bbva.com): <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/cultivos-sin-tierra-la-hidroponia-revoluciona-la-gastronomia/>

Bello U., M., & Pino Q., M. T. (2000). Medición de presión y caudal. (N. Covacevich C., & O. Strauch B., Edits.) *Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA* (28), 1-20.

Beltrano, j., & Gimenez, D. (2015). *Cultivo en hidroponia* (primera edición ed.). Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de La Plata.

Brenes, L., & Jimenez, M. (2016). *Manual de producción hidropónica para hortalizas de hojas en sistema NFT (Nutrient film technique)* (1ra ed.). Cartago, Cartago, Costa Rica: Tecnológica de Costa Rica 2016.

Cabezas, R. (2019). HIDROPONIA manual práctico, una guía para aprender de forma rápida. Cochabamba, Bolivia: 1ra.

Carrasco, G., & Izquierdo, J. (1996). *La empresa hidropónica de mediana escala: La técnica de la solución nutritiva recirculante "NFT"*. Talca, Chile: Universidad de Talca.

Castilblanco Flores, E. J., & Hidalgo Rivas, J. A. (Diciembre de 2009). Recuperado el 19 de Agosto de 2022, de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/55550cb1-bf8f-4f13-ad15-f8eea1c01824/content>

Chilon, E. (2013). Principios de nutrición vegetal. En C. Eduardo, & E. Chilon (Ed.), *Fertilidad de suelos y Nutrición vegetal* (págs. 25-30). La Paz, Murillo, Bolivia: Edición del autor.

CIMMYT. (1988). *La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica* (Edición completamente revisada ed.). (CIMMYT, Ed.) Mexico D.F., Mexico.

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*. Recuperado el 17 de Julio de 2022, de Repositorio.umsa.bo: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/5992/T-2118.pdf?sequence=1&isAllowed>

Favela, E., Preciado, P., & Benavides, A. (2006). Manual para la preparación de Soluciones nutritivas. En E. Favela, P. Preciado, & A. Benavides, *Manual para la preparación de soluciones nutritivas* (págs. 9-30). Torreon, Mexico: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

FELTRIN. (2021). *A cerca de nosotros: FELTRIN SEMENTES GENÉTICA TROPICAL DESENVOLVIDA NO BRASIL*. Recuperado el 24 de Junio de 2022, de Sitio web Feltrin sementes: <https://www.sementesfeltrin.com.br/produtos/alface-regina/38>

flow hydro store. (s.f.). *flowhydrostore*. Recuperado el 28 de Junio de 2022, de [www.flowhydrostore.com.ar](http://www.flowhydrostore.com.ar): <https://www.flowhydrostore.com.ar/conductividad/>

Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola FIDA. (2021 ). *IFAD.org*. Recuperado el 21 de Agosto de 2022, de [www.ifad.org](http://www.ifad.org): <https://www.ifad.org/es/web/operations/w/pais/bolivia-estado-plurinacional-de-#:~:text=Los%20peque%C3%B1os%20agricultores%20de%20Bolivia,agr%C3%ADcola%20en%20Bolivia%20desde%201979>.

Huanca, C. (2017). *EVALUACIÓN DE DOS VARIEDADES DE LECHUGA (Lactuca sativa L.)*. Recuperado el 29 de Julio de 2022, de [Repositorio.umsa.bo](http://Repositorio.umsa.bo): <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/15279/T-2471.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA. (2013). Sistema de cultivo hidropónico diseñado para la agricultura urbana. *Instituto de investigaciones agropecuarias* (41), 1-4.

Instituto Nacional de Estadística INE. (2013). *A cerca de nosotros: Instituto Nacional de Estadística*. Recuperado el 4 de Julio de 2022, de sitio web de INE: Gob. Bo: <http://www.ine.gob.bo/index.php/censos>

Intituto Nacional de Aprendizaje INA. (2016). *Hidroponía, nucleo de formación y servicios tecnológicos agropecuarios* (Segunda edición ed.). (INA, Ed.) San Jose, Costa Rica: Instituto Nacional de aprendizaje.

Jaimes, M. (2019). *Repositorio umsa*. Recuperado el 21 de Junio de 2022, de [Repositorio Umsa Agronomia](http://Repositorio Umsa Agronomia): <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/20632/TD-2655.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Jaramillo N., J., Aguilar A., P., Tamayo M., P., Arguello R., E., & Guzmán A., M. (2016). *Modelo tecnológico para el cultivo de lechuga bajo buenas prácticas agrícolas en el oriente antioqueño*. Medellín, Colombia.



Jaramillo, J., Aguilar, P., Espitia, E., Tamayo, P., Arguello, O., & Guzmán, M. (2014). *Modelo tecnologico para el cultivo de lechuga en el oriente antioqueño*. Cundinamarca, Mosquera, Colombia.

KORIM. (10 de Diciembre de 2020). *Acerca de nosotros: KORIM agricultura y medio ambiente*. Recuperado el 23 de Junio de 2022, de Sitio web de Korim agricultura y medio ambiente: [https://korinagricultura.com.br/wp-content/uploads/2020/12/HOJA\\_TECNICAAlface-Crocantela\\_ESP.pdf](https://korinagricultura.com.br/wp-content/uploads/2020/12/HOJA_TECNICAAlface-Crocantela_ESP.pdf)

Leahy, S. (27 de Marzo de 2018). El 75% de las áreas terrestres del planeta se encuentran degradadas. *Nationa lgeographic* , 1 - 3.

Marulanda, C. (2003). *Manual técnico, La huerta hidropónica popular* (Tercera edición ed.). Santiago, Chile: Edición del autor.

Oasis. (s.f.). *Manual de hidroponía*. Recuperado el 16 de Junio de 2022, de Oasis grower solution México: <https://www.facebook.com/oasisgrowersolutionsmexico/>

Ochoa, R. R. (2016). *Diseños experimentales* (segunda ed., Vol. 2). (R. R. Torrez, Ed.) La Paz, Bolivia: ochoa ediciones.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. (2019). *fao.org*. Recuperado el 22 de Junio de 2022, de FAO, Bolivia: <https://www.fao.org/countryprofiles/index/es/?iso3=BOL>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. (s.f.). *Fao.org*. Recuperado el 20 de Agosto de 2022, de Organización de las naciones Unidas para la alimentación y la agricultura: <https://www.fao.org/3/s8630s/s8630s08.htm>

Plan de Desarrollo Municipal Patacamaya PDM. (2006 - 2010). *A cerca de nosotros: Autonomias Gobernación La Paz*. Recuperado el 4 de Julio de 2022, de Sitio web Gobernación La Paz: <http://autonomias.gobernacionlapaz.com>

PRO GAIA. (2019). Curso práctico de cultivo hidropónico de lechuga. México.

Resh M., H. (2013). Nutrient Solution. En H. Resh M., & H. resh M. (Ed.), *Hidroponic Food Production. A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the commercial hydroponic grower* (seventh Edition ed., págs. 31-89). New york, United States: Taylor & Francis Group, an informa bussines.

Resh, H. M. (2001). *CULTIVOS HIDROPONICOS Nuevas técnicas de produccion* (5ta ed.). (C. d. Juan, Ed.) Barcelona, España: Mundi prensa.

Rivera, N. (2015). *EVALUACIÓN DE TRES VARIEDADES DE LECHUGA*. Recuperado el 15 de Julio de 2022, de Repositorio.umsa.bo: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/5992/T-2118.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rodriguez Churata, D. R. (2018). Recuperado el 21 de Agosto de 2022, de <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/18494/T-2568.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sanchez, C. (2013). *Hidroponía paso a paso, cultivo sin tierra* (1ra ed.). Lima, Azángaro, Perú: Ripalme E.I.R.L.

Schwartzstein, P. (25 de Octubre de 2019). Las prácticas agrícolas indígenas fallan a medida que el cambio climático interrumpe las estaciones. *Nationa lgeographic* , 1-5.

Sistema Integral de Información Productiva SIIP. (2021). Recuperado el 20 de Junio de 2022, de [siip.producción.gob.bo: https://siip.produccion.gob.bo/repSIIP2/formulario\\_mdryt.php](https://siip.produccion.gob.bo/repSIIP2/formulario_mdryt.php)

Soria C., J. (2012). Curso de hidroponía para principiantes online. *Hidroponía básica y acuarista* (págs. 11-35). Caribe: edición del autor.

Texier, W. (2017). *Hidroponía para todos, las diez claves de la horticultura en casa* (primera edición al español ed.). (R. Vicuña, Trad.) París, Francia: Mama Publishing.

U.S. Department of Agriculture . (16 de Diciembre de 2019). Lettuce, cos or romaine, raw. *Agricultural Research Service* , 1-4.

USDA. (2014). *A cerca de nosotros USDA NRCS*. Recuperado el 24 de Junio de 2022, de Sitio web de United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service:  
<https://plants.usda.gov/home/basicSearchResults?resultId=055b2660-aeb0-4cfc-959c-9a49800b871f>

Wilkerson, c. (2021). *A cerca de nosotros: Departamento de Ciencias Hortícolas Texas A&M Universidad Colegio, Texas*. Recuperado el 22 de Junio de 2022, de [http://www.fdcea.com/wp-content/uploads/2015/06/Thurs\\_2\\_wilkinson\\_nutrientsolutions\\_es.pdf](http://www.fdcea.com/wp-content/uploads/2015/06/Thurs_2_wilkinson_nutrientsolutions_es.pdf)

## 10. ANEXOS

### 10.1 Características del ambiente atemperado

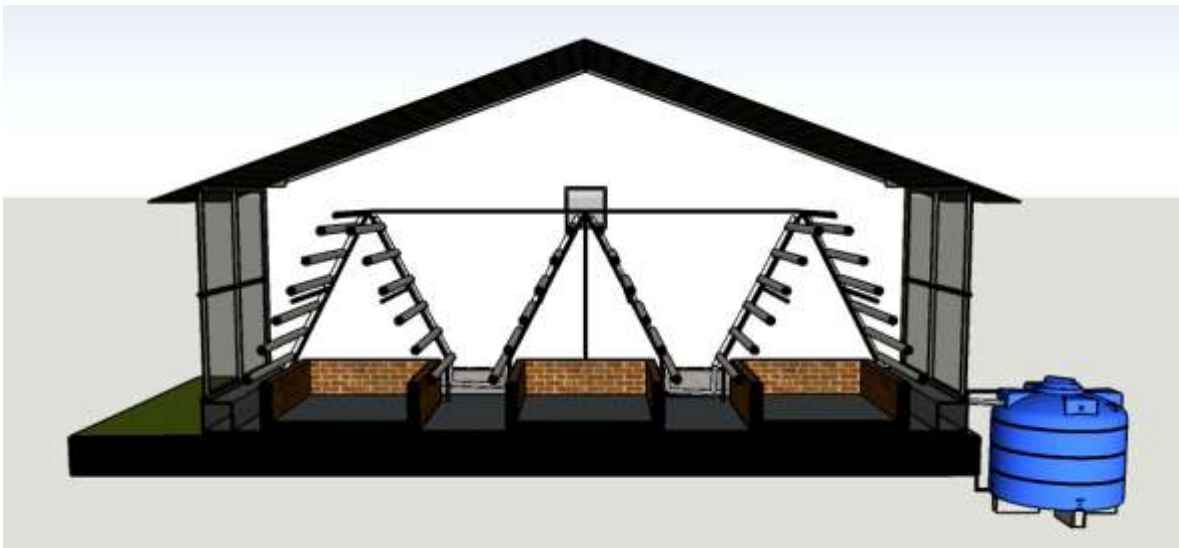
#### Anexo 1. Modelación del ambiente atemperado



#### Anexo 2. Modelación del ambiente atemperado, vista frontal.



**Anexo 3.** Corte central del ambiente atemperado, Vista frontal.



**Anexo 4.** Vista trasera de los canales de cultivo.



## 10.2 Actividades antes de la etapa del cultivo

**Anexo 5.** Perforación de los canales de cultivo a 20cm de distancia



**Anexo 6.** Disposición y construcción del 3er modulo piramidal



## 10.3 Etapa de almácigo

**Anexo 7.** Siembra de semillas



**Anexo 8.** Plántulas listas para el trasplante



## 10.4 Etapa de raíz flotante

**Anexo 9.** Preparación y corte de esponjas



**Anexo 10.** Disposición de las plántulas en las bandejas flotantes



**Anexo 11.** Vista lateral de las raíces en las bandejas flotantes



**Anexo 12.** Plántulas envueltas con esponja



**Anexo 13.** Plántulas envueltas con esponja.



**Anexo 14.** Transplante de raíz flotante a NFT



**Anexo 15.** Limpieza de plantas antes del ingreso a NFT



## 10.5 Etapa del Sistema NFT.

**Anexo 16.** Transplante definitivo al sistema NFT.



**Anexo 17.** Plantas a los 10 días en el sistema NFT.



## 10.6 Variedades manejadas en la investigación

**Anexo 18.** Variedad Rubinela



**Anexo 19.** Variedad Crocantela



**Anexo 20.** Variedad Regina



**Anexo 21.** Variedad Romanela





## 10.7 Software hydrobuddy

### Anexo 22. Formulación de la solución nutritiva

The screenshot shows the hydrobuddy software interface. On the left, there is a table with columns 'Element', 'Target Conc. (ppm)', and 'Result (ppm)'. The elements listed are N (NO3-), N (NH4+), P, K, Mg, Ca, S, Fe, Zn, B, Mn, Cu, Mo, Na, and Cl. The target concentrations are: N (NO3-) 204, N (NH4+) 36, P 40, K 240, Mg 45, Ca 180, S 70, Fe 1, Zn 0.15, B 0.5, Mn 0.5, Cu 0.15, Mo 0.05, Na 0, and Cl 0. The result column is empty for all elements.

On the right, there are several configuration panels:

- Buttons:  Disable Pop-ups,  Automatically update on status,  Small Window
- MSHSEL dropdown menu
- Buttons: Substance Selection, Delete Formulation From DB, Add Formulation to DB, Copy Commercial Nutrient Formulation, Set Water Quality Parameters, Set Instrument Precision Values
- Volume: 1000 (dropdown), Gallons,  Liters, Cubic Meters
- Concentration Units:  ppm, mM, M, mN
- Mass Units:  Grams, Ounces
- Solution Preparation type:  Concentrated A + B Solutions,  Direct Addition
- Concentration Factor: 100 (input field)
- Calculate liquids in mL
- Choose Degree of Freedom (button)
- Calculation Type:  Input Desired Concentrations,  Concentrations from Weights
- Buttons: Carry Out Calculation, Copy Weight Results to DB

### Anexo 23. Costos de los fertilizantes utilizados (bs).

Substance Name	Formula	Mass (g)	Preparation Cost
M NITRATO DE CALCIO	CaNO3	927.1	9.3
M NITRATO DE POTASIO	KNO3	650.012	8.6
M FOSFATO MONOAMONICO (MAP)	(NH4)H2PO4	160.067	3.5
M QUELATO DE HIERRO	EDTA	7.718	0.7
M SULFATO DE MAGNESIO	MgSO4.7H2O	457.895	4
M NITRO-S	SNH4(NC3)	6.969	0.1
M COSMOQUEL MICRO	BAL MENORES	21.71	3.3

## 10.8 Presentación del proyecto de investigación

**Anexo 24.** Presentación del proyecto en el Dipgis



**Anexo 25.** Presentación del proyecto en la estación Experimental Patacamaya.



**Anexo 26.** Interacción social del proyecto de investigación en la estación



## experimental Patacamaya

### 10.9 Registros.

**Anexo 27.** Registro de factores abióticos (Humedad, temperatura superior e inferior, máximas y mínimas)

FECHA	T° Máxima °C sup.	T° Mínima °C sup.	T° media °C sup.	T° máxima °C inf.	T° mínima °C inf.	T° media °C inf.	Humedad relativa Máxima %	Humedad relativa Mínima %	Humedad relativa Media %
28 de sep	33	4	18,5	35	5	20	64	20	42
29 de sep	27,8	3,6	15,7	28	5	16,5	66	22	44
1 de oct	30,9	5,1	18	29	6	17,5	66	22	44
2 de oct	27,3	5	16,15	24	6	15	78	29	53,5
4 de oct	26,4	5,8	16,1	28	8	18	74	31	52,5
8 de oct	35	1	18	33	3,5	18,25	67	20	43,5
9 de oct	39	3	21	33,1	5,2	19,15	55	21	38
10 de oct	38	4	21	31,8	6,1	18,95	57	22	39,5
11 de oct	38	4	21	31	7,1	19,05	57	28	42,5
15 de oct	37	5	21	29,3	7,5	18,4	62	26	44
16 de oct	26,3	5	15,65	28,8	8	18,4	64	25	44,5
17 de oct	34	9	21,5	27,7	10,4	19,05	67	28	47,5
22 de oct	35	3	19	32,3	5,3	18,8	69	22	45,5
23 de oct	36	2	19	31,1	4,8	17,95	46	22	34
24 de oct	35	5	20	29,2	7,5	18,35	54	23	38,5
25 de oct	36	6	21	29,5	8,5	19	59	24	41,5
29 de oct	40	6	23	32,8	8,3	20,55	62	23	42,5
30 de oct	32	5	18,5	27	7,9	17,45	57	25	41
31 de oct	33	4	18,5	27,8	6,8	17,3	62	26	44
1 de nov	36	7	21,5	27,6	9,2	18,4	61	28	44,5
3 de nov	37	6	21,5	32,7	8,1	20,4	64	25	44,5
4 de nov	39	8	23,5	31,1	10,2	20,65	68	28	48

**Anexo 28.** Consumo de energía eléctrica y costo total hasta la cosecha

Bomba	potencia (HP)	Energía generada (Kw/h)	Consumo Horas/día	Costo Kw/h (Bs)	días a la cosecha	Costo total de energía (Bs)
CB 110/55M Pentair	1,5	1,1	3,2	0.60	35	73,92