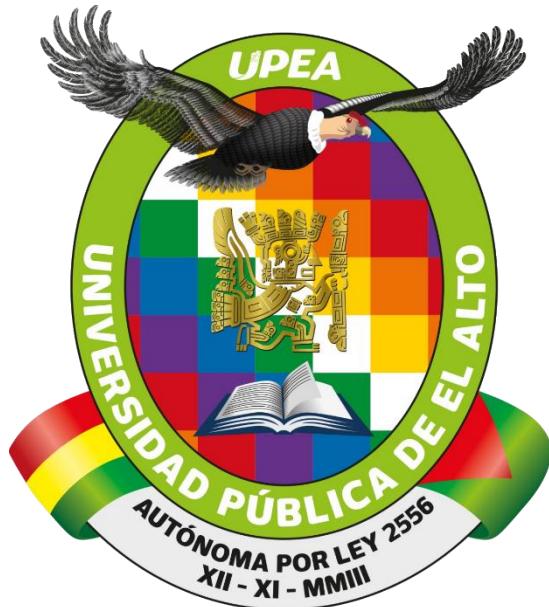


**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO  
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS  
Y RECURSOS NATURALES  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



**TESIS DE GRADO**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE TRES  
VARIEDADES DE FRUTILLA (*Fragaria x ananassa* Duch.) BAJO  
EL SISTEMA HIDROPÓNICO NFT (Nutrient Film Technique) EN  
AMBIENTE ATEMPERADO EN LA CIUDAD DE EL ALTO**

**Por:**

**Yovana Pachani Perez**

**EL ALTO – BOLIVIA**

**Noviembre, 2025**

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

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE TRES VARIEDADES DE  
FRUTILLA (*Fragaria x ananassa* Duch.) BAJO EL SISTEMA HIDROPÓNICO NFT  
(Nutrient Film Technique) EN AMBIENTE ATEMPERADO EN LA CIUDAD DE EL  
ALTO**

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

**Yovana Pachani Perez**

**Asesores:**

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

**Tribunal Revisor:**

Lic. Ing. Graciela Deicy Quispe Cabrera .....

Lic. Ing. Simon Cocarico Yana .....

Lic. Ing. Jorge Washington Guzman Calla .....

**Aprobada**

Presidente Tribunal Examinador .....



**DEDICATORIA:**

*Primeramente, a Dios, por permitirme estar presente hoy en día. Por el apoyo y el ánimo de mis padres Gregorio Pachani y Gloria Perez, por la completa ayuda que recibí al comenzar con el presente trabajo de investigación además de su comprensión, esfuerzo y sacrificio durante mi formación profesional.*

*A mis hermanas quienes me apoyaron emocionalmente durante mi trabajo, así también por sus sabios consejos que me dieron cuando lo necesitaba para concluir con la presente investigación.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Doy muchas gracias a Dios por darme sabiduría para llegar a concluir con el presente trabajo de investigación y con mi carrera profesional.

Agradecer a la carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Pública de El Alto (UPEA) por haberme acogido y permitir formarme como profesional.

A mi asesor M. Sc. Lic. Ing. Ramiro Raúl Ochoa Torrez que me brindó su total apoyo y contribución para poder concluir satisfactoriamente con la presente investigación. Le agradezco mucho por el apoyo que me brindó hasta concluir con mi investigación.

A mis tribunales la Lic. Ing. Graciela Deicy Quispe Cabrera, Lic. Ing. Simon Cocarico Yana y Lic. Ing. Jorge Washington Guzman Calla, quienes me ayudaron con sus contribuciones y sugerencias a mi investigación, lo que fue fundamental para poder concluir satisfactoriamente, se les agradece mucho por la revisión y la contribución.

Agradecer al M. Sc. Lic. Ing. Víctor Paye Huaranca por su apoyo constante durante mi trabajo de investigación, por brindarme sus consejos y ayudarme a la estructuración de mi investigación, fue fundamental su apoyo y sus conocimientos para poder realizar la presente investigación.

Un agradecimiento para mi familia quienes me apoyaron constantemente con su esfuerzo y sus palabras de ánimo durante mi trabajo de investigación.

## CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS .....	i
ÍNDICE DE CUADROS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	viii
ABREVIATURAS .....	ix
RESUMEN .....	x
ABSTRACT .....	xi

### ÍNDICE DE TEMAS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema .....	3
1.3. Justificación .....	3
2. OBJETIVOS .....	4
2.1.1. Objetivo general .....	4
2.1.2. Objetivos específicos .....	4
2.2. Hipótesis .....	4
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	5
3.1. Frutilla ( <i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) .....	5
3.1.1. Clasificación taxonómica.....	5
3.1.2. Descripción morfológica .....	5
3.1.2.1. Sistema radicular.....	6
3.1.2.2. Tallo o corona .....	6
3.1.2.3. Hojas.....	6
3.1.2.4. Flores e inflorescencia.....	7

3.1.2.5. Fruto.....	7
3.1.2.6. Estolón .....	8
3.1.3. Plagas y enfermedades.....	8
3.1.3.1. Plagas .....	8
3.1.3.2. Enfermedades.....	8
3.1.4. Fenología del cultivo de frutilla .....	9
3.1.5. Variedades de la frutilla.....	10
3.2. Producción de frutilla .....	11
3.2.1. Producción a nivel internacional.....	11
3.2.2. Producción a nivel nacional.....	13
3.2.3. Producción de frutillas hidropónicas .....	14
3.3. Hidroponía .....	14
3.3.1. Ventajas e inconvenientes de la hidroponía .....	15
3.3.2. Tipos de sistemas hidropónicos .....	15
3.3.2.1. Sistema de Nutrient Film Technique (NFT).....	16
3.3.2.1.1. Ventajas y desventajas del sistema NFT .....	17
3.3.2.2. Sistema hidropónico NFT en frutilla.....	17
3.3.2.3. Manejo hidropónico de la frutilla .....	18
3.3.2.4. Requerimientos nutricionales .....	19
3.3.2.4.1. Macronutrientes .....	20
3.3.2.4.2. Micronutrientes .....	21
3.3.2.5. Requerimientos ambientales .....	22
3.3.2.5.1. Temperatura .....	22
3.3.2.5.2. Luminosidad .....	23
3.3.2.5.3. Humedad relativa.....	23
3.3.2.5.4. pH de la solución nutritiva.....	24

3.3.2.5.5. Conductividad Eléctrica (CE) de la solución nutritiva .....	24
3.3.2.5.6. Solución nutritiva .....	25
3.4. Ambiente atemperado.....	26
3.5. Cultivo de frutilla en el altiplano.....	26
3.5.1. Cultivo de frutilla bajo el sistema hidropónico.....	27
4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	28
4.1. Localización .....	28
4.1.1. Ubicación Geográfica .....	28
4.1.2. Características edafoclimáticas .....	28
4.2. Materiales .....	29
4.2.1. Material de estudio .....	29
4.2.2. Material de escritorio .....	29
4.2.3. Material de campo.....	29
4.2.4. Material de laboratorio.....	30
4.3. Metodología .....	31
4.3.1. Descripción del ambiente atemperado .....	31
4.3.2. Construcción del sistema NFT .....	31
4.3.3. Ambientación de los plantines de frutilla.....	32
4.3.4. Programación del tiempo de riego .....	33
4.3.5. Formulación de la solución nutritiva .....	33
4.3.6. Trasplante de los plantines .....	34
4.3.7. Refallo de plantación.....	34
4.3.8. Poda de hojas .....	35
4.3.9. Poda de flores .....	35
4.3.10. Control de plagas y enfermedades.....	35
4.3.11. Cosecha.....	35

4.3.12. Datos del Peso seco de fruto, parte aérea (pecíolo y hoja) y raíz .....	36
4.3.13. Diseño experimental .....	36
4.3.14. Tratamientos de estudio.....	37
4.3.14.1. Croquis del experimento.....	37
4.3.15. Variables de respuesta.....	38
4.3.15.1. Número de hojas por planta .....	38
4.3.15.2. Número de flores por planta .....	38
4.3.15.3. Número de frutos por planta .....	39
4.3.15.4. Peso de fruto por planta .....	39
4.3.15.5. Diámetro de fruto por planta .....	39
4.3.15.6. Grados Brix de fruto .....	39
4.3.15.7. Peso seco de fruto.....	39
4.3.15.8. Peso seco de la parte aérea (pecíolos y hojas) .....	39
4.3.15.9. Peso seco de raíz.....	40
4.3.15.10. Rendimiento de fruto por planta.....	40
4.3.15.11. Rendimiento de fruto por metro cuadrado (kg) .....	40
4.3.16. Análisis de costos parciales .....	40
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	41
5.1. Factores climáticos .....	41
5.1.1. Temperatura del ambiente atemperado .....	41
5.1.2. Humedad relativa del ambiente atemperado .....	42
5.1.3. Conductividad eléctrica .....	43
5.1.4. El pH .....	44
5.1.5. Temperatura de la solución nutritiva.....	45
5.2. Variables agronómicas.....	46
5.2.1. Número de hojas.....	46

5.2.2.	Número de flores.....	48
5.2.3.	Número de frutos .....	50
5.2.4.	Peso de fruto.....	52
5.2.5.	Diámetro de fruto .....	54
5.2.6.	Grados Brix de fruto .....	56
5.2.7.	Peso seco de fruto .....	59
5.2.8.	Peso seco de la parte aérea.....	60
5.2.9.	Peso seco de la raíz.....	62
5.3.	Rendimiento de la frutilla.....	65
5.3.1.	Rendimiento de fruto por planta .....	65
5.3.2.	Rendimiento de fruto por metro cuadrado (kg) .....	67
5.4.	Análisis de costos parciales del cultivo de frutilla .....	69
5.5.	Análisis de dominancia .....	70
5.6.	Tasa de retorno marginal .....	70
6.	CONCLUSIONES.....	72
7.	RECOMENDACIONES.....	73
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
9.	ANEXOS .....	88

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Clasificación taxonómica de la frutilla.....	5
Cuadro 2.	Países productores de frutilla en el año 2021.....	12
Cuadro 3.	Área cosecha de frutilla por país en el año 2021.....	12
Cuadro 4.	Principales países productores en Sudamérica.....	13
Cuadro 5.	Rendimiento de frutilla en Bolivia. ....	13
Cuadro 6.	Composición química y cantidades para la solución nutritiva. ....	19
Cuadro 7.	Temperaturas óptimas para la frutilla. ....	22
Cuadro 8.	Formulación para el crecimiento vegetativo (CE de 1100 mS/cm). ....	33
Cuadro 9.	Formulación para la producción (CE de 1300 mS/cm). ....	34
Cuadro 10.	Análisis de varianza (ANVA) para el número de hojas. ....	46
Cuadro 11.	Análisis de varianza para el número de flores. ....	48
Cuadro 12.	Análisis de varianza para el número de frutos. ....	51
Cuadro 13.	Análisis de varianza para el peso de fruto. ....	53
Cuadro 14.	Análisis de varianza para el diámetro de fruto. ....	55
Cuadro 15.	Análisis de varianza (ANVA) para grados Brix.....	57
Cuadro 16.	Análisis de varianza para peso seco de fruto. ....	59
Cuadro 17.	Análisis de varianza para peso seco de la parte aérea.....	61
Cuadro 18.	Análisis de varianza (ANVA) para peso seco de la raíz. ....	63
Cuadro 19.	Análisis de varianza para el rendimiento de fruto por planta.....	65
Cuadro 20.	Análisis de varianza para el rendimiento de fruto por metro cuadrado. ....	67
Cuadro 21.	Costos, rendimiento y beneficio neto de la producción hidropónica de frutilla. ....	69
Cuadro 22.	Ánálisis de dominancia de la producción hidropónica de frutilla. ....	70
Cuadro 23.	Tasa de retorno marginal de la producción de frutilla hidropónica. ....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Fases fenológicas de la frutilla (Cueva, s.f.) .....	9
Figura 2.	Sistema hidropónico NFT (Urrestarazu, 2015). ....	16
Figura 3.	Ubicación Geográfica de la investigación (Google Earth, 2025) .....	28
Figura 4.	Croquis del experimento .....	37
Figura 5.	Medidas del ambiente atemperado .....	38
Figura 6.	Temperatura máxima y mínima del trabajo de investigación. ....	41
Figura 7.	Humedad relativa alta y baja del trabajo de investigación. ....	42
Figura 8.	Conductividad eléctrica de la solución nutritiva. ....	43
Figura 9.	pH de la solución nutritiva. ....	44
Figura 10.	Temperatura de la solución nutritiva.....	45
Figura 11.	Prueba de Duncan para número de hojas. ....	47
Figura 12.	Prueba de Duncan para número de flores.....	49
Figura 13.	Prueba de Duncan para el número de frutos.....	51
Figura 14.	Prueba de Duncan para peso de fruto.....	53
Figura 15.	Prueba de Duncan para diámetro de fruto.....	55
Figura 16.	Prueba de Duncan para grados Brix de fruto. ....	57
Figura 17.	Prueba de Duncan para peso seco de fruto. ....	60
Figura 18.	Prueba de Duncan para peso seco de la parte aérea.....	61
Figura 19.	Prueba de Duncan para peso seco de la raíz.....	63
Figura 20.	Prueba de Duncan para rendimiento de fruto por planta. ....	66
Figura 21.	Prueba de Duncan para rendimiento de fruto por metro cuadrado. ....	68
Figura 22.	Curva de beneficios netos para el cultivo de frutilla. ....	71

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Presupuesto de costos de producción bajo el sistema hidropónico NFT .....	89
Anexo 2.	Depreciación del costo indirecto por 7 meses .....	90
Anexo 3.	Cálculo de costos parciales para la variedad Albión (T1) .....	91
Anexo 4.	Cálculo de costos parciales para la variedad San Andrea (T2) .....	92
Anexo 5.	Cálculo de costos parciales para la variedad Monterrey (T3) .....	93
Anexo 6.	Ánalysis de agua de la ciudad de El Alto.....	94
Anexo 7.	Datos del peso fresco para Albión.....	94
Anexo 8.	Datos del peso fresco para San Andrea .....	95
Anexo 9.	Datos del peso fresco para Monterrey.....	95
Anexo 10.	Diseño del trabajo experimental .....	95
Anexo 11.	Instalación del sistema hidropónico NFT .....	95
Anexo 12.	Conexión de energía eléctrica para el riego .....	96
Anexo 13.	Trasplante de las tres variedades de frutilla .....	96
Anexo 14.	Crecimiento vegetativo bajo el sistema NFT .....	97
Anexo 15.	Floración de la frutilla en el sistema hidropónico .....	97
Anexo 16.	Fructificación bajo el sistema NFT.....	98
Anexo 17.	Variedad Albión bajo el sistema NFT .....	98
Anexo 18.	Variedad San Andrea bajo el sistema NFT.....	98
Anexo 19.	Variedad Monterrey bajo el sistema NFT .....	99
Anexo 20.	Peso fresco del fruto .....	99
Anexo 21.	Diámetro del fruto.....	99
Anexo 22.	Grados Brix de la frutilla bajo el sistema NFT .....	100
Anexo 23.	Muestras de peso seco del fruto, parte aérea y raíz .....	100
Anexo 24.	Frutillas de las tres variedades en sistema hidropónico NFT.....	101

## ABREVIATURAS

T	Toneladas
mS/cm	millisiemens por centímetro
dS/m	deciSiemens por metro
NFT	Técnica de la Película de Nutrientes
°Brix	Grados Brix
°C	Grados centígrados
mEq/L	milliequivalentes por Litro
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
RFA	Radiación fotosintética activa
mm	Milímetro
CE	Conductividad Eléctrica
TDS	Sólidos Totales Disueltos
"	Pulgadas

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el comportamiento agronómico de tres variedades de frutilla (*Fragaria x ananassa* Duch.) bajo el sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique) en ambiente atemperado, en la zona del Altiplano de la ciudad de El Alto. La investigación se desarrolló entre los meses de enero a julio, durante las épocas de otoño a invierno, con el fin de buscar nuevas alternativas de producción de frutilla en condiciones ambientales desfavorables del altiplano, implementando el sistema hidropónico NFT en condiciones controladas para determinar la variedad más adaptada a este sistema sin suelo.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con tres tratamientos y seis repeticiones. Se evaluaron variables de crecimiento vegetativo y productivo, además del rendimiento por planta y por metro cuadrado. Los datos fueron procesados mediante el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ). Así también se realizó un análisis de costos parciales según Perrin.

Los resultados bajo el sistema hidropónico NFT mostraron un buen crecimiento vegetativo en las variedades San Andrea y Monterrey, con altos promedios en número de hojas de 27 y peso seco de la parte aérea de 5,90 gramos. En cambio, la variedad Albión destacó por su mejor desempeño productivo, con mayores promedios en número de flores de 30,23, número de frutos de 27,33, peso de fruto de 37,58 gramos y diámetro de fruto de 4,60 centímetros, logrando un rendimiento de 1,03 kilogramo por planta y 25,83 kilogramo por metro cuadrado, siendo diferente a las demás variedades, además, presentó una mayor acumulación de materia seca en fruto y raíz con 3,67 y 1,95 gramos. Así también, Monterrey tuvo un buen comportamiento en la calidad del fruto, obteniendo 10,73 °Brix.

En cuanto al análisis de costos parciales del primer ciclo de cultivo, la variedad Albión obtuvo la mayor rentabilidad con una tasa de retorno de 70,37, lo que significa que por cada boliviano invertido se recupera el capital y se genera una ganancia de 0,70 Bs, siendo rentable para el productor. En conclusión, la variedad Albión presentó el mejor comportamiento productivo y económico bajo el sistema hidropónico NFT, lo cual es una alternativa recomendable para la producción de frutilla en el altiplano, ya que demostró altos rendimientos y mayor rentabilidad.

## ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the agronomic behavior of three strawberry varieties (*Fragaria x ananassa* Duch.) under the NFT (Nutrient Film Technique) hydroponic system in a temperate environment in the Altiplano region of the city of El Alto. The research was conducted between January and July, during the fall and winter seasons, with the aim of finding new alternatives for strawberry production in the unfavorable environmental conditions of the Altiplano, implementing the NFT hydroponic system under controlled conditions to determine the variety best suited to this soilless system.

A completely randomized experimental design was used, with three treatments and six replicates. Vegetative and productive growth variables were evaluated, as well as yield per plant and per square meter. Data were processed using analysis of variance (ANOVA) and Duncan's test ( $\alpha = 0,05$ ). A partial cost analysis was also performed according to Perrin.

The results under the NFT hydroponic system showed good vegetative growth in the San Andrea and Monterrey varieties, with high averages in number of leaves (27) and dry weight of the aerial part (5,90 grams). In contrast, the Albion variety stood out for its better productive performance, with higher averages in number of flowers (30,23), number of fruits (27,33), fruit weight (37,58 grams), and fruit diameter (4,60 centimeters), achieving a yield of 1,03 kilograms per plant and 25,83 kilograms per square meter. Unlike the other varieties, it also had a higher accumulation of dry matter in fruit and root, with 3,67 and 1,95 grams, respectively. Monterrey also performed well in terms of fruit quality, obtaining 10.73 °Brix.

In terms of partial cost analysis for the first growing cycle, the Albion variety achieved the highest profitability with a rate of return of 70,37, which means that for every boliviano invested, the capital is recovered and a profit of 0,70 Bs is generated, making it profitable for the producer. In conclusion, the Albion variety showed the best productive and economic performance under the NFT hydroponic system, which is a recommended alternative for strawberry production in the highlands, as it demonstrated high yields and greater profitability.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el altiplano de Bolivia, el cultivo de frutilla se ve afectado por condiciones ambientales desfavorables que presentan esta región como las bajas temperaturas, la alta radiación solar y la escasez de agua. Estos factores limitan la producción del cultivo en suelo y por ello se realiza la búsqueda de nuevas tecnologías innovadoras, siendo la hidroponía una alternativa.

La hidroponía es un sistema de producción también conocido como agricultura sin suelo donde las plantas obtienen los nutrientes necesarios de la solución nutritiva a diferencia del cultivo tradicional (Gilsanz, 2007). Con este sistema se disminuyen los problemas del desgaste del suelo, la aparición de enfermedades radiculares brindando un control más preciso en el riego y la nutrición. En los últimos años la hidroponía se ha considerado como una alternativa para la producción de hortalizas y frutos en ambientes controlados, específicamente en lugares con condiciones climáticas adversas y tierras limitadas.

La frutilla es una fruta muy apreciada por su sabor, valor nutricional y su consumo en fresco o procesado. En Bolivia, en los últimos años, la producción ha alcanzado las 3.307 toneladas métricas, en los departamentos productores de Santa Cruz y Cochabamba. Mientras que en el departamento de La Paz la producción es mínima llegando a 21 toneladas (INE, 2024). Sin embargo, en el altiplano por las bajas temperaturas, el manejo del cultivo en suelo y el uso excesivo de agroquímicos han llevado a una disminución en los rendimientos y la calidad de los frutos, lo que puede afectar tanto al medio ambiente y a la rentabilidad para los pequeños productores.

El cultivo de frutilla se ve limitado por las condiciones ambientales desfavorables como los fuertes vientos, las bajas temperaturas y la escasez o altas precipitaciones. Por este motivo, la producción en invernaderos o túneles es necesaria para obtener buenos rendimientos y mantener el cultivo a largo plazo (Miserendino, 2007). En el altiplano boliviano, estas condiciones climáticas suelen ser poco favorables para la producción de frutilla. Sin embargo, el manejo en ambientes atemperados permite regular factores como temperatura, humedad y radiación, lo que favorece el crecimiento y desarrollo del cultivo, creando condiciones más favorables incluso para la producción en sistemas hidropónicos como el NFT.

### 1.1. Antecedentes

Flores (2023), evaluó el comportamiento agronómico de dos variedades de frutilla bajo el sistema hidropónico NFT con una solución nutritiva específica en ambiente controlado del altiplano boliviano, con el fin de medir el rendimiento en el primer ciclo de cultivo. El estudio mostró que el manejo en este sistema permite optimizar espacios, usar eficientemente el agua y disminuir la incidencia de plagas y enfermedades, logrando un mejor desempeño de las variables de respuesta, con un rendimiento de 5.900 kg/ha en comparación con el cultivo tradicional y un beneficio/costo de 1,40. Estos resultados demuestran la viabilidad del sistema NFT como alternativa productiva en condiciones del Altiplano.

Huacón (2020), determinó el comportamiento agronómico de las variedades Albión, San Andrea y Monterrey bajo el sistema hidropónico NFT piramidal en Guayaquil, Ecuador, con una temperatura de 26,5 °C a campo abierto. Este estudio se realizó con la finalidad de mejorar la productividad de manera más eficiente en espacios reducidos y evaluar el efecto productivo en la zona. Los resultados mostraron que Albión presentó mejor adaptación bajo el sistema entre los 30 a 60 días después del trasplante, con un rendimiento de 506,50 kg/ha, mientras que Monterrey y San Andrea tuvieron 324,75 y 75 kg/ha. Aunque no tuvieron ganancias significativas, ni producción alta, donde se evidenció que Albión tuvo mejor desempeño a raíz desnuda que las otras variedades.

En el proyecto de Mejía (2023), desarrollado en un invernadero con un prototipo de túnel automatizado en Bogotá, Colombia, se evaluó la producción de la variedad Albión bajo el cultivo hidropónico NFT con monitoreo constante durante la primera cosecha. El estudio comparó las características productivas de Albión en el sistema NFT frente al cultivo tradicional a campo abierto, controlando variables como temperatura, humedad, pH y conductividad eléctrica para optimizar la producción en el primer ciclo del cultivo. Se demostró que el sistema hidropónico NFT mejora el desarrollo vegetativo y radicular, permite mayor producción de hoja y flores, aumenta la densidad de siembra y reduce el tiempo de cosecha en comparación con el cultivo en suelo.

Estos estudios demuestran que bajo el sistema hidropónico NFT ofrece ventajas como mayor rendimiento, reducción de plagas y enfermedades, mejor desarrollo vegetativo y radicular, mayor densidad de siembra y menor tiempo de cosecha, lo que en el altiplano lo convierte en una alternativa viable para la producción en ambiente atemperado.

## 1.2. Planteamiento del problema

En Bolivia, la producción de frutilla se ha desarrollado principalmente en cultivo convencional a campo abierto, enfrentando ciertas limitaciones propias del altiplano, como las bajas temperaturas, la escasez de tierras cultivables y la limitada disponibilidad de agua. Estudios recientes indican que, durante la época seca los invernaderos no logran satisfacer más del 50% de la demanda de riego (Sayol *et al.*, 2022), lo que afecta directamente el rendimiento. La producción en ambientes protegidos, podría ser una opción para mejorar la productividad, aunque implica mayores costos de implementación y espacios más reducidos.

Además de los factores agroclimáticos, se ha identificado una falta en el manejo técnico del cultivo, como la aplicación inadecuada de prácticas agrícolas y la poca capacitación de los productores. Todas estas limitaciones pueden favorecer la aparición de plagas y enfermedades, y al tratar de contrarrestar mediante el uso excesivo de agroquímicos se puede llegar afectar tanto al cultivo como al medio ambiente.

En el altiplano se han realizado diferentes evaluaciones de ciertas variedades de frutilla bajo el sistema hidropónico NFT, reportando un aumento en el rendimiento y un ciclo de cultivo más corto en comparación con el cultivo tradicional (Flores, 2023), sin embargo sigue la problemática relacionada a la variabilidad climática y la adaptación de otras variedades en ambientes controlados.

Por ello, el sistema hidropónico NFT representa una alternativa viable para la producción de frutilla en el altiplano. Aun así, se requiere evaluar la producción agronómica en diferentes lugares, específicamente en cuanto al comportamiento de variedades que no se investigaron, el buen uso de espacios y agua, además de la adaptación a ambientes fríos.

## 1.3. Justificación

El sistema hidropónico NFT se ha convertido en una alternativa eficiente frente al cultivo tradicional de frutilla, específicamente en regiones con condiciones climáticas adversas, escasez de tierras cultivables, baja precipitación y poca calidad de agua. Estudios recientes demuestran que este sistema puede aumentar la producción entre un 30 y 20%, reducir el uso del agua más del 70% y mejorar la calidad de los frutos (Hutchinson *et al.*,

2025). Sin embargo, la información específica sobre el comportamiento agronómico de las tres variedades de frutilla en ambiente atemperado del altiplano boliviano es limitada, por lo que es necesario realizar estudios enfocados en este tema.

La implementación del sistema NFT en ambientes atemperados maximiza el uso del espacio, agua de riego y nutrientes, reduce la aparición de enfermedades y produce durante todo el año, independientemente de las condiciones climáticas externas. Esta tecnología representa una alternativa viable para las zonas frías en donde los cultivos tradicionales enfrentan varios desafíos agroambientales. La evaluación del comportamiento agronómico de las variedades Albión, San Andrea y Monterrey permitirá identificar aquellas variedades con mayor adaptación a las condiciones del altiplano boliviano y un mejor rendimiento, facilitando al momento de tomar una decisión antes de iniciar la producción de frutillas. Además, el estudio busca beneficiar a los pequeños productores mediante prácticas sostenibles que reduzcan el uso de agroquímicos y satisfacer la demanda en el mercado interno ofreciendo frutos de calidad y cantidad.

## **2. Objetivos**

### **2.1.1. Objetivo general**

- Evaluar el comportamiento agronómico de tres variedades de frutilla (*Fragaria x ananassa* Duch.) bajo el sistema hidropónico NFT en ambiente atemperado de la ciudad de El Alto.

### **2.1.2. Objetivos específicos**

- Evaluar el comportamiento agronómico de tres variedades de frutilla (*Fragaria x ananassa* Duch.) bajo el sistema hidropónico NFT en ambiente atemperado de la ciudad de El Alto.
- Comparar los costos parciales de los tratamientos bajo el sistema hidropónico NFT.

## **2.2. Hipótesis**

- El comportamiento agronómico de tres variedades de frutilla (*Fragaria x ananassa* Duch.) bajo el sistema hidropónico NFT en ambiente atemperado en la ciudad de El Alto, no tienen diferencias significativas.

### 3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Frutilla (*Fragaria x ananassa* Duch.)

La frutilla (*Fragaria x ananassa* Duch.) es una planta de especie hortícola que se reproduce de forma vegetativa, ya sea mediante estolones o hijuelos. La fruta es conocida como frutilla en Argentina, morango en Brasil y fresón en España. Esta planta es originaria entre el cruce de dos especies octaploidas ( $2n = 8x = 56$ ), *Fragaria chiloensis* L. Duch. y *Fragaria virginiana* L. (Olivera, 2012).

La frutilla es originaria de América, en donde una amplia variedad genética le permite adaptarse a diferentes condiciones ambientales. En regiones muy frías hasta zonas más cálidas se encuentra en forma silvestre, mientras que en su forma cultivada se adapta a diferentes climas en todo el continente, siendo el aroma y el sabor las características principales que se valoran en el mercado (Benavides et al., 2022).

##### 3.1.1. Clasificación taxonómica

Según Bonet (2010), clasifica a la frutilla de la siguiente manera:

**Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la frutilla.**

<b>Reino</b>	Plantae
<b>Subreino</b>	Embryobionta
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Orden</b>	Rosales
<b>Familia</b>	Rosaceae
<b>Subfamilia</b>	Rosoideae
<b>Género</b>	<i>Fragaria</i>
<b>Especie</b>	<i>Fragaria x ananassa</i>

Fuente: Bonet (2010).

##### 3.1.2. Descripción morfológica

De acuerdo con Olivera (2012), la frutilla se caracteriza por tener un porte bajo, alcanzando una altura aproximada de 40 cm y por presentar un sistema radicular fibroso con desarrollo superficial, que alcanza hasta los 30 cm de profundidad.

### **3.1.2.1. Sistema radicular**

El sistema radicular de la frutilla es de tipo fasciculado, compuesto por raíces y raicillas que alcanzan una profundidad de 30 a 40 cm, donde el 90% de las raíces se encuentra en los primeros 25 cm. Estas raíces pasan por procesos de regeneración fisiológica, ya que presentan cambium vascular y suberoso, mientras que las raicillas carecen de esta (ITSC, 2018). Las raíces no solo cumplen la función de absorción del agua y nutrientes, sino también actúan como reservorio de diferentes nutrientes. Esta capacidad de almacenamiento de la frutilla resulta clave durante el manejo agronómico y al momento de establecer el cultivo en campo, por lo cual es importante que cuenten con suficientes reservas en la raíz y en la corona, ya que logran mantener la primera floración y la producción temprana de la fruta. Por ello se recomienda usar plantas que tengan un buen desarrollo radicular y una corona con diámetro mayor a 8 mm (Bañados *et al.*, 2015).

### **3.1.2.2. Tallo o corona**

En la frutilla, el tallo es conocido como corona y presenta una forma de roseta comprimida de 1 a 3 cm de largo, está cubierta por estípulas desde la base, donde emergen entre cinco a siete hojas compuestas. Entre la corona y las hojas se encuentran las yemas o meristemos axilares, que, dependiendo de las condiciones ambientales y nutricionales, pueden formar nuevas coronas, producir estolones o quedar en reposo (Benavides *et al.*, 2022).

Según Poling (2012), para lograr una buena producción de frutos se recomienda mantener entre 3 a 4 coronas laterales por planta, evitando la formación de 6 coronas. Al momento de establecer la planta en campo, en temporadas de otoño es importante considerar la posición de la corona. Si la corona queda demasiado profunda, la planta pierde la capacidad de crecimiento y puede morir, en cambio, si se coloca superficialmente, el sistema radicular queda expuesto. Por esta razón, es ideal posicionar la corona a nivel de la superficie del suelo.

### **3.1.2.3. Hojas**

Las hojas presentan forma trifoliada, con márgenes aserrados y en el envés se observan tricomas o vellosoidades. Los peciolos se unen a la corona, desde donde se desarrollan distintos tipos de yemas responsables del brote de las hojas, flores y estolones

(Miserendino, 2007). Estas hojas se posicionan en forma espiral alrededor de la corona, con una aparición de nuevas hojas cada 8 a 9 días, dependiendo de la temperatura ambiental, y la duración de vida que oscila entre 1 y 3 meses, según el tamaño, serosidad y grosor de la lámina foliar. Las hojas de frutilla se caracterizan por tener una alta cantidad de estomas, que varía entre 300 a 400 por milímetro cuadrado, lo que las vuelve susceptibles al estrés hídrico debido al desarrollo de las raíces poco profundas (Benavides *et al.*, 2022).

### **3.1.2.4. Flores e inflorescencia**

Las flores de la frutilla se agrupan en inflorescencias y se distinguen por su color blanco con cinco pétalos de un diámetro de dos centímetros. Los factores ambientales que influyen directamente sobre la planta, a diferenciar sus fases vegetativas de las reproductivas son la duración del fotoperiodo y la temperatura (Miserendino, 2007).

De acuerdo con Lira y Ruiz (2023), las inflorescencias se desarrollan desde la corona y estas presentan una forma de roseta, compuesta por cinco a seis sépalos. Cada flor contiene entre 20 a 35 estambres junto con varios cientos de pistilos ubicados sobre el receptáculo carnoso. Cuando los óvulos son fecundados, se transforman en pequeños frutos tipo aquenio, que se encuentran en la superficie del receptáculo carnoso (Olivera, 2012).

### **3.1.2.5. Fruto**

De acuerdo con Kessel (2012), las semillas de los aquenios que se encuentran en la frutilla que consumimos es en realidad el verdadero fruto, ya que se forma por el engrosamiento del receptáculo floral, así como por la fecundación de los óvulos.

El fruto puede alcanzar un peso entre 20 y 50 gramos con un contenido de azúcar que varía entre 7 a 13 °Brix, estos datos dependen de la variedad cultivada y la temperatura del ambiente. Por esa razón, la frutilla se clasifica como un fruto no climatérico, lo que significa que no continúa su proceso de maduración después de la cosecha, por lo que sus características organolépticas, como el contenido de azúcar no aumentan y la acidez permanece estable, solamente se intensifica el color y reduce la firmeza (Amina *et al.*, 2024).

### 3.1.2.6. Estolón

Desde el punto de vista botánico, el estolón es un tallo rastreiro que la planta de frutilla produce de forma asexual, cuando se presentan condiciones favorables de temperatura y fotoperiodo. Además, la propagación puede realizarse mediante coronas, que es otro método de propagación vegetativa (Dávalos *et al.*, 2011).

### 3.1.3. Plagas y enfermedades

Entre las principales plagas y enfermedades que pueden dañar a las plantas de frutilla son las siguientes:

#### 3.1.3.1. Plagas

Según Gugole (2012), citado por Tarquino (2018), entre las principales plagas de la frutilla se encuentra el pulgón (*Chaetosiphon fragaefolii*): Son insectos de tamaño pequeño y un color que varía entre verde claro y amarillo. El daño que causa al producir excreción azucarada más conocida como “mielecilla” favorece la propagación de la fumagina (hongo de capa oscura), que reduce la fotosíntesis. Esta contaminación impide que las frutillas puedan venderse como fruta fresca.

#### 3.1.3.2. Enfermedades

Las principales enfermedades que afectan a la frutilla se tienen:

- a) **El oídio (*Podosphaera aphanis*):** Es una de las principales enfermedades que afecta a la frutilla. Durante su desarrollo en la planta, las hifas crecen principalmente en la parte superficial del haz y envés de la hoja. Los factores ambientales para la aparición y la propagación de la enfermedad es la temperatura entre 15 a 25°C junto con una alta humedad relativa de 75 y 90% (Porro, 2017).
- b) **La mancha foliar (*Micosphaerella fragariae*):** La enfermedad es conocida por su aparición en las hojas y peciolos donde se puede notar manchas de color gris en forma de círculos con bordes anulares que cambian de tonalidad entre rojo a púrpura, los cuales se van agrandando conforme avanza. Para su control es recomendable cortar las hojas más viejas de la planta (Olivera, 2012).

### 3.1.4. Fenología del cultivo de frutilla

Tal como lo indica Cueva (s.f.), las fases fenológicas del cultivo de frutilla (Figura 1), tienen una duración aproximada de cuatro a nueve meses. El ciclo empieza con la etapa de trasplante hasta la fructificación.

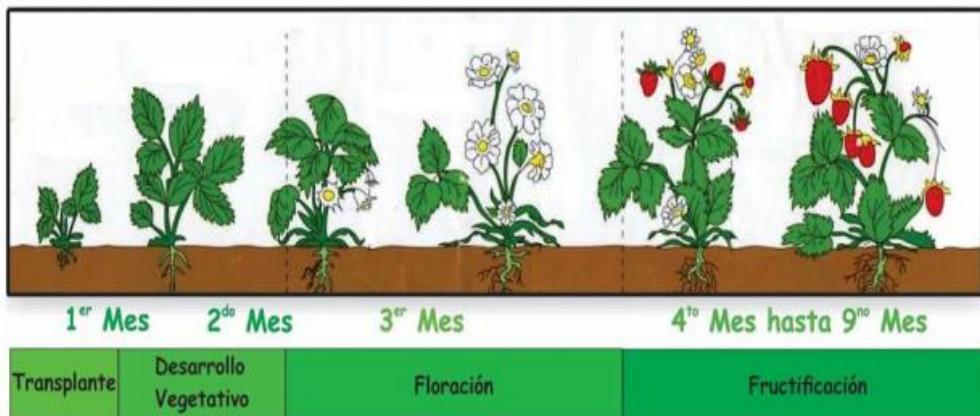


Figura 1. Fases fenológicas de la frutilla (Cueva, s.f.).

Según Tarquino (2018), el cultivo de frutilla pasa por diferentes fases o etapas de desarrollo a lo largo de su ciclo de vida. A continuación, se describen las etapas que son fundamentales para un manejo adecuado de la frutilla:

- a) El inicio de la fase de reposo:** Es el estado donde la planta entra en pausa y se puede observar poco crecimiento foliar, acompañado de hojas rojas y secas.
- b) La fase de iniciación de la actividad vegetativa:** Es la fase donde se observa la aparición de nuevos brotes firmes junto con un inicio en el desarrollo de hojas.
- c) La fase de botones verdes:** Se pueden identificar pequeños botones de color verde que aparecen entre las hojas que aún están en desarrollo inicial.
- d) La fase de botones blancos:** En esta fase es notable ver los primeros botones florales, aunque los pétalos aún no se han abierto.
- e) La fase de inicio de la floración:** En esta fase, la aparición de la floración es fácilmente observada en campo cuando se presentan de tres a cinco flores abiertas por planta. Este momento es el inicio del periodo reproductivo y es importante aplicar prácticas agronómicas adecuadas para la polinización.
- f) La fase de plena floración:** Se caracteriza por tener la mitad de las flores completamente abiertas.

- g) La fase de fin de la floración:** Es la penúltima fase, donde se identifica por la caída de los pétalos y el comienzo del desarrollo de los frutos.
- h) La fase de fructificación:** Es la última fase, en el cual se observa la presencia visible de frutos verdes. Asimismo, en esta fase es importante revisar los posibles daños ocasionados por animales, ya que son atraídos por el aroma y presencia de los frutos maduros (Benavides *et al.*, 2022).

### 3.1.5. Variedades de la frutilla

De acuerdo con Morales *et al.* (2017) y NCAT (2007), las variedades de frutilla se clasifican de acuerdo a su requerimiento de fotoperiodo, es decir, según la cantidad de horas luz, y entre ellas tenemos a:

- **Variedades de día corto:** Este tipo de variedades empiezan a formar flores cuando los días se hacen más cortos y las temperaturas disminuyen. La floración empieza en primavera, donde comienzan a producir los primeros frutos.
- **Variedades de día neutro:** Estas variedades no dependen de la cantidad de horas luz (duración del día), para iniciar la floración sólo necesita una temperatura de suelo mayor a 12 °C. Se adapta en ambientes controlados o invernaderos para la producción, ya que es más uniforme y continuo durante todo el año.

Como señalan Morales *et al.* (2017) y Agrícola Llahuen (2017), las variedades que se describen a continuación son originarias de Estados Unidos y están clasificadas como plantas de día neutro, ya que su floración no depende de las horas luz. Además, mencionan que las variedades Albión y San Andrea presentan un potencial productivo tanto en sistemas de cultivos en suelo como en hidroponía:

- **Albión:** Cuando las temperaturas son bajas presenta un crecimiento inicial lento, por lo que requiere mayor contenido de nitrógeno durante la primera fase, al mismo tiempo que muestra resistencia a la enfermedad del oídio. Además, sus frutos tienen una coloración roja externa con hombros más claros en condición de baja temperatura. Esta variedad es muy demandada tanto para consumo fresco como congelado, debido a su contenido de azúcar que está entre 10 a 14 °Brix, así como su excelente vida útil después de la cosecha. La plantación recomendable es de 27 cm de distancia entre plantas, con 62.000 plantas por hectárea y una producción de 1,20 kilogramos por planta en campo. Asimismo,

Santoyo y Martínez (s.f.) argumentan que el fruto presenta un peso promedio alrededor de 32 gramos y tiene alta tolerancia frente a las condiciones climáticas adversas, así como a la plaga de araña roja.

- **San Andrea:** Es una planta de crecimiento inicial rápido, por lo cual necesita una temperatura del suelo de 12 °C, si se establece en condiciones de frío extremo la planta muestra un crecimiento vegetativo con alargamiento de las hojas, lo que retrasa el inicio de la floración. Aunque la variedad es sensible al frío presenta mayor resistencia a enfermedades de hoja y suelo. Los frutos tienen una coloración roja uniforme y una pulpa más clara, destacándose por su firmeza, al igual que Albión, lo que asegura su vida útil después de la cosecha. En el mercado es conocida por ofrecer frutos frescos de mayor tamaño y uniformidad, siendo también apreciada para congelado. La densidad de plantación es de 62.000 plantas por hectárea a una distancia de 27 cm que alcanza la producción promedio de 1,30 kilogramos por planta.
- **Monterrey:** Es una variedad que se destaca en el mercado, debido a la producción de frutos con color rojo externo uniforme, pulpa roja y altos contenido de azúcar, al mismo tiempo en agroindustria es preferido como congelado por sus características organolépticas. El crecimiento inicial de la planta es muy rápido, al igual que San Andrea. La densidad de siembra en campo es de 60.000 plantas por hectárea, con una distancia de 28 cm entre plantas, y un peso promedio por planta es de 1,30 kilogramos. Bolda (2015) menciona que Monterrey es una planta fuerte y robusta que presenta frutos de forma cónica y ligeramente alargada a diferencia de otras variedades. Aunque presenta menos firmeza que Albión, es menos tolerante a las enfermedades como la *Phytophtora*.

### 3.2. Producción de frutilla

#### 3.2.1. Producción a nivel internacional

De acuerdo con FAOSTAT citado por SAGyP (2023), menciona que la producción total de frutilla en el año 2021 alcanzó las 9.175.384 toneladas con un área cosechada de 389.665 hectáreas. El principal productor es China, con una producción total de 3.380.478 toneladas, seguida por Estados Unidos y Turquía, tal como se observa en el Cuadro 2 y Cuadro 3.

**Cuadro 2. Países productores de frutilla en el año 2021.**

Clasificación	País	Toneladas (t)
1°	China	3.380.478
2°	Estados Unidos	1.211.090
3°	Turquía	669.195
4°	México	542.891
5°	Egipto	470.913
6°	España	360.570
7°	Rusia	237.200
8°	Brasil	197.000

Fuente: FAOSTAT citado por SAGyP (2023).

**Cuadro 3. Área cosecha de frutilla por país en el año 2021.**

Clasificación	País	Hectáreas (ha)
1°	China	128.537
2°	Rusia	35.466
3°	Polonia	33.900
4°	Estados Unidos	19.992
5°	Turquía	18.676
6°	Egipto	12.579
7°	Alemania	12.500
8°	México	11.905

Fuente: FAOSTAT citado por SAGyP (2023).

Como señalan Kirschbaum *et al.* (2017) en la actualidad, los países de América del Sur producen frutilla, excepto Guyana. La superficie cultivada de frutilla es aproximadamente 13.182 hectáreas y su producción 350.400 toneladas. En los países como, Bolivia, Brasil y Paraguay la producción se realiza de invierno a primavera. En cambio, en los países Chile y Perú, la producción está presente en las épocas de primavera y otoño, mientras que en Ecuador, Colombia, Venezuela, Argentina y Uruguay está disponible la frutilla durante todo el año de forma continua, debido a las condiciones climáticas favorables. Las frutillas se comercializan mayormente como fruta fresca en los mercados nacionales y regionales de cada país y una pequeña parte se destina a la agroindustria o exportación. En el Cuadro 4, se muestran los cuatro principales países productores de frutilla.

**Cuadro 4. Principales países productores en Sudamérica.**

País	Área (ha)	Producción (t/año)	Altitud (m)	Variedades
Brasil	4.000	120.000		Oso Grande, Camarosa, Aromas, Albión y San Andreas.
Chile	1.300	56.000		Camarosa, Benicia, San Andrés, Albión, Monterrey y Aromas.
Argentina	1.300	45.500	1600	Camino Real, San Andrés, Benicia y Splendor.
Colombia	1.200	42.500	2700	Albión, Camarosa, Camino Real, Monterrey Palomar, Portolas, San Andrés y Ventana.

Fuente: Kirschbaum *et al.* (2017).

### 3.2.2. Producción a nivel nacional

De acuerdo con los datos del INE (2024), se ha mantenido la producción de frutillas en Bolivia durante el año 2022 con 3.307 toneladas métricas por año. Sin embargo, en el año 2023, se registró una reducción en la producción anual llegando a 3.285 toneladas métricas con un área cosechada de 530 hectáreas. Santa Cruz se mantuvo como el primer productor, seguido por Cochabamba, mientras que La Paz tuvo una producción más baja (Cuadro 5).

**Cuadro 5. Rendimiento de frutilla en Bolivia.**

Departamento	Producción (toneladas métricas)	Área (ha)
Santa Cruz	1.694	235
Cochabamba	1.446	249
Tarija	100	35
Chuquisaca	24	6
La Paz	21	5

Fuente: Elaboración propia con datos del INE (2024).

La producción de frutilla en el municipio de Comarapa, del departamento de Santa Cruz, representa aproximadamente el 52% de la producción nacional, debido a las condiciones agroclimáticas favorables. El rendimiento promedio alcanza las 24 toneladas por hectárea, con un total de 13 frutos por planta que pesan alrededor de 1 kg. Lo que favorece, ya que el 90% de la producción llega a cubrir la demanda del mercado interno (Salguero, 2014).

### **3.2.3. Producción de frutillas hidropónicas**

La producción del cultivo de frutilla en sistemas hidropónicos en ambiente atemperado, llega a producir 28 toneladas en un área de 375 metros cuadrados o hasta 230 toneladas en 2.500 metros cuadrados (AGROTONOMY, 2021). En el sistema hidropónico NFT, se puede llegar a cosechar más de 341.56 g por planta (Copetti *et al.*, 2012). Además, Birgi y Gargaglione (2021) indican que el rendimiento en este mismo sistema puede variar entre 511.8 y 275.5 gramos por planta, con un peso de 78 a 64 gramos por planta.

La producción de frutilla en cultivos tradicionales han dado como resultado bajos rendimientos, en cambio, con el método de sistema hidropónico se ha demostrado a nivel internacional que es una alternativa eficaz, ya que permite un mejor aprovechamiento del espacio y nutrientes, así también como un mayor control y conservación del medio ambiente (Flores y Mendoza, 2023). Además, Miserendino (2007) menciona que el cultivo de frutilla es afectado por condiciones ambientales desfavorables como los fuertes vientos, las bajas temperaturas y la escasez de precipitaciones. Por esa razón, la producción en invernaderos o túneles es necesaria para obtener altos rendimientos y mantener el cultivo a largo plazo.

### **3.3. Hidroponía**

La hidroponía es una técnica de cultivo libre de suelo, que permite producir principalmente plantas herbáceas, en estructuras simples o complejas. Esta técnica de cultivo permite aprovechar espacios en áreas reducidas, como azoteas, suelos infértilles o terrenos irregulares. A partir de este concepto se desarrollan diferentes sistemas que incluyen medios de soporte para la planta como sustratos o soluciones nutritivas estáticas o recirculantes, tomando en cuenta la temperatura, humedad, nutrientes, y agua que requiere la planta. Este sistema consiste en la preparación de una solución nutritiva dependiendo de los requerimientos de cada planta durante la fase del cultivo (Soto, 2015).

La hidroponía permite disminuir los problemas relacionados con la producción convencional, principalmente en cultivos de hortalizas, tales como el desgaste del suelo, el desequilibrio nutricional, los problemas físicos y el costo de producción. Además, esta técnica favorece al desarrollo óptimo de la planta, ya que proporciona el riego y los nutrientes necesarios. Así también, suministrar el oxígeno requerido para el crecimiento y actividad del sistema radicular (Cuellas, 2019).

### 3.3.1. Ventajas e inconvenientes de la hidroponía

Como mencionan Cuellas (2019) y Palomino (2008), a continuación se presentan las ventajas y los inconvenientes de la hidroponía:

**a) Ventajas:** Las ventajas son las siguientes:

- Aplicación de una solución nutritiva controlada y equilibrada directamente al sistema de producción.
- Ofrecer nuevas oportunidades en áreas donde el cultivo tradicional está agotado.
- Uso eficiente del agua y espacio en áreas reducidas para lograr un mayor rendimiento.
- Posibilidad de regular la humedad, temperatura y luz solar.
- Reducción de enfermedades causadas por el suelo y deficiencias de nutrientes.
- Producción en condiciones ambientales no favorables.
- Posibilidad de aplicar diferentes sustratos comerciales o caseros.
- Menor cantidad de mano de obra, debido a la automatización de los sistemas.
- Mejor aprovechamiento de los invernaderos, ya que no es necesario realizar labores en suelo.
- Asegurar los alimentos para la salud del consumidor, evitando el uso excesivo de químicos.

**b) Inconvenientes:** Los inconvenientes son:

- Costo inicial alto para la instalación.
- Sistema controlado de forma automática, cualquier pequeño error en el manejo puede afectar al cultivo.
- Requerimiento de conocimientos técnicos.
- Rápida infestación de enfermedades, por lo cual necesita un mantenimiento y cuidado de las instalaciones, la solución nutritiva y materiales.
- Es fundamental utilizar una adecuada calidad del agua.

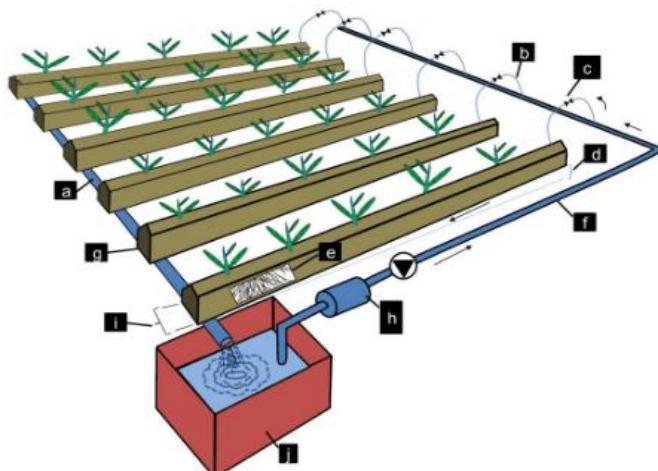
### 3.3.2. Tipos de sistemas hidropónicos

Con base en Oasis Easy Plant (s.f.), los sistemas hidropónicos son métodos de cultivo en el cual reciben agua y nutrientes directamente a las raíces de la planta. El medio de soporte puede ser sustratos o agua, dependiendo del sistema que se implemente. Entre los cuales tenemos a los siguientes:

- **Cultivo en sustrato:** Es un sistema que utiliza materiales inertes como soporte para las raíces. Estos sustratos proporcionan anclaje y oxígeno a las raíces, además de retener la solución nutritiva que se aplica directamente mediante riego.
- **Cultivo en solución:** Es un método donde la solución nutritiva se encuentra estática dentro de un contenedor, y las raíces de las plantas están total o parcialmente sumergidas en ellas. Este sistema requiere un manejo de oxigenación, la cual se realiza en forma manual o automatizada.
- **Cultivo con las raíces en el aire (aeroponía):** A diferencia de otros métodos en este sistema la solución nutritiva es aplicada directamente a la raíz por medio de nebulizadores o aspersores que brindan mayor oxígeno, ya que las raíces de la planta se encuentran en el aire dentro de un contenedor, sin ningún sustrato ni soporte.

### 3.3.2.1. Sistema de Nutrient Film Technique (NFT)

Como indica Castañares (2020), el sistema hidropónico conocido como técnica de la lámina nutritiva consiste en la recirculación continua de una solución nutritiva a través de canales o tubos con perforación, donde el medio de soporte de las plantas es una canastilla de plástico. El agua de la solución nutritiva es impulsada mediante una bomba desde el tanque de almacenamiento hacia los canales, donde circula como una capa muy delgada de 0.5 a 1 cm, lo que permite el contacto directo con las raíces, como se muestra en la Figura 2. Los canales presentan una inclinación menor o igual al 5%, lo que facilita el retorno de la solución al tanque.



**Figura 2. Sistema hidropónico NFT (Urrestarazu, 2015).**

Urrestarazu (2015), menciona las partes del sistema hidropónico NFT: a) Canal colector de drenaje. b) Tubo de la solución nutritiva por cada canal. c) Válvula manual de control de flujo. d) Pendiente del canal de cultivo de 0 al 4%. e) Interior del canal plano donde circula una capa muy delgada. f) Tubería de entrada general y distribución de la solución. g) Canal de cultivo del sistema NFT. h) Bomba de impulsión. i) Ancho del canal en función de la planta. j) Tanque general de la solución nutritiva.

### **3.3.2.1.1. Ventajas y desventajas del sistema NFT**

A continuación, Palomino (2008) detalla las ventajas y desventajas que se presentan al implementar esta técnica hidropónica. Estos detalles son importantes para comprender mejor el impacto de este método en la producción:

- Mejora la oxigenación de las raíces.
- Las plantas pueden crecer a un ritmo más rápido, aunque implica mayor costo.
- Uso eficiente del agua y nutriente al reducir el riego manual.
- Facilita la automatización de proyectos a gran escala en espacios reducidos.
- Algunas plantas pueden tener dificultades para adaptarse a este sistema, lo que puede resultar pérdidas.
- Brinda luz solar de forma uniforme a todas las plantas.

### **3.3.2.2. Sistema hidropónico NFT en frutilla**

La producción de cultivos hortícolas y frutos pequeños se realiza principalmente en ambientes protegidos. En el caso de la frutilla, la mayoría de la producción se ha realizado en microtúneles, pero con el tiempo y el avance de la tecnología se cultiva en invernaderos y sistemas hidropónicos. Los sistemas hidropónicos permiten controlar la mayor parte de los problemas asociados al cultivo en suelo, tales como la temperatura, humedad, radiación solar, fertilización, uso de agua y espacio, obteniendo mejores rendimientos para la demanda de los mercados. Para el sistema NFT para frutilla, el costo inicial es alto, mientras la producción es intensiva. Se recomienda tomar en cuenta en este sistema la pendiente y longitud del tubo, así como el caudal, para asegurar que las raíces reciban agua, oxígeno y nutrientes correctos (INTAGRI, 2018).

### 3.3.2.3. Manejo hidropónico de la frutilla

Tal como Hydroponic Systems (2023) indica, para el manejo de frutillas hidropónicas no solo se necesita equipos y condiciones adecuadas, sino también se requiere un conocimiento para el cuidado y manejo de las plantas. A continuación, se muestran algunas técnicas para el manejo hidropónico de frutillas:

- **Poda:** En el cultivo de frutilla las hojas cumplen un papel importante en la producción de frutos con altos niveles de azúcar, por lo que es necesario realizar podas específicas. La primera poda es de formación, en el cual se eliminan las primeras flores y estolones para favorecer el crecimiento vegetativo de la planta. Luego se realiza la poda sanitaria, que consiste en cortar todas las hojas viejas o lesionadas para evitar la propagación de enfermedades. Finalmente, se aplica la poda de cosecha, en la que se eliminan hojas viejas y se mantiene un número adecuado para el inicio de la floración (INTAGRI, 2018).
- **Prevención y control de enfermedades:** En comparación con los cultivos en suelo, el sistema hidropónico NFT reduce la aparición de plagas y enfermedades, sin embargo, es necesario realizar un control y manejo del cultivo de frutilla para evitar su propagación. Por lo cual, se deben mantener una inspección y limpieza semanalmente, si es necesario implementar un manejo integrado de plagas (MIP) (Hydroponic Systems, 2023).
- **Manejo del riego:** En sistemas hidropónicos es muy importante la disponibilidad de agua para las plantas, sobre todo para el sistema NFT, ya que la producción depende de ella. En relación a la frecuencia y duración del riego en este sistema se mide el flujo del agua que recircula por el canal (INTAGRI, 2018).  
Según Cabezas (2018), en climas fríos como los departamentos de Oruro, Potosí y La Paz el tiempo de riego para el sistema NFT debe ser de 10 a 15 minutos por hora, con tres riego en la madrugada a horas de 0:00, 3:00 y 5:00 a.m. Además, con una frecuencia de riego de 1.5 a 2 litros por minuto para cada canal.
- **Polinización:** Puede ser necesaria la polinización manual en sistemas hidropónicos con el objetivo de asegurar la correcta formación de los frutos. Se recomienda utilizar cepillos o algún material suave para no dañar los estigmas de la flor (GroHo Hidroponía, 2024).
- **Mantenimiento de registros:** Es una práctica necesaria para producciones posteriores y para obtener mejores resultados en el rendimiento del cultivo de

frutilla. En estos registros deben anotarse todo los datos relacionados con el estado y crecimiento de la planta, como la fecha de siembra, la formulación de la solución nutritiva, las variedades utilizadas y cualquier otro manejo agronómico realizado en las diferentes etapas del cultivo (Hydroponic Systems, 2023).

- **Técnicas de cosecha:** Para la frutilla es necesario considerar el destino de la fruta, la demanda del mercado, la presencia de frutos contaminados, así como las condiciones climáticas y el momento de cosechar para cuidar la calidad de la fruta. Por esa razón se recomienda cosechar cada 2 a 3 días durante las horas de la mañana y evitar las tardes para no dañar la fruta por exposición al sol. Además, los frutos deben estar completamente rojos y cortarse a 2 cm (Bolda, 2015).

#### **3.3.2.4. Requerimientos nutricionales**

Para la alimentación y el desarrollo óptimo de diferentes cultivos es importante la solución nutritiva, la cual está compuesta por nutrientes y agua. En hidroponía, el agua es esencial para la producción, por lo que el uso de agua potable puede provocar toxicidad a la planta dado que contiene altas concentraciones de cloro (Mendoza, 2017). Así también, el balance de los macronutrientes que son nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y de los micronutrientes, boro, zinc, cobre, molibdeno y cloro, es importante para el crecimiento y desarrollo de las plantas (UNALM y UNAM, s.f.).

En el Cuadro 6, se detallan la composición química y cantidades de la solución nutritiva para el cultivo de frutilla:

**Cuadro 6. Composición química y cantidades para la solución nutritiva.**

<b>MACRONUTRIENTES (Solución A)</b>		
<b>Concentración (%)</b>	<b>Compuesto</b>	<b>Composición</b>
43.9	Nitrato de Calcio	15,5% N; 10% Ca;34,2% CaO
21.2	Nitrato de Potasio	13,8% N; 37% K;46,6% CaO
19.1	Sulfato de Magnesio	8,3% N; 16,4% MgO
0.5	Sulfato de Amonio	21% N; 24% S
14.3	Fosfato Monopotásico	35,8% K2; 51,1% P2O5
<b>MICRONUTRIENTES (Solución B)</b>		
1,0	Fe, Mn, B, Cu, Zn, Mo y Co	

Fuente: Birgi y Gargaglione (2021).

En el cultivo de frutilla la solución nutritiva cumple un papel importante en el desarrollo de las plantas, ya que la disponibilidad y el equilibrio de los nutrientes pueden afectar a la calidad de los frutos y al rendimiento. Por tal motivo, al momento de formular es necesario tomar en cuenta la calidad del agua, la demanda nutricional y compatibilidad de los nutrientes requeridos. Asimismo, se requiere un monitoreo constante de conductividad eléctrica (CE), dado que la frutilla presenta alta sensibilidad a la alcalinidad, lo que puede reflejarse en el rendimiento del cultivo (INTAGRI, 2018).

### 3.3.2.4.1. Macronutrientes

Con base en Kirschbaum y Borquez (2006), entre las funciones de los macronutrientes para la frutilla se destacan los siguientes:

- **Nitrógeno (N):** Es absorbido por la planta en forma de nitrato y cumple la función del crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad del fruto. Cuando existe deficiencias se observa una reducción en el crecimiento vegetativo y en la cantidad de frutos, aunque puede mejorar el sabor y el color. En cambio, altos niveles de nitrógeno provocan el desarrollo excesivo de las hojas, retrasan la floración, favorecen la aparición de enfermedades y afectan la producción de frutos, al notarse deformes, con menos dulzor y firmeza, incluso en algunas variedades causa la despigmentación del fruto.
- **Fósforo (P):** Este nutriente es requerido desde el inicio de la fase vegetativa, ya que ayuda al desarrollo de las raíces y la floración. Sin embargo, el exceso puede dificultar la absorción de hierro y zinc. Su deficiencia reduce el número de pedúnculos florales, el tamaño de las flores y frutos, además que aumenta la acidez, reduce la maduración y provoca despigmentación. Según ICL Growing Solutions (2025), la deficiencia también debilita las raíces, por ello, el pH debe mantenerse por debajo de 7.
- **Potasio (K):** El potasio, es muy importante para las hojas y frutos en crecimiento, y se encuentra en la planta como un nutriente móvil. Participa en la absorción de agua, la resistencia de plagas y enfermedades, al mismo tiempo tiene un papel clave en la fotosíntesis, la fijación del dióxido de carbono y la regulación de estomas. Su deficiencia se manifiesta con necrosis marginal en hojas viejas y reduce el contenido de azúcar, lo que provoca bajos rendimientos y frutos con

poca pigmentación. Mientras que, concentraciones altas pueden causar problemas de salinidad y reducir la absorción de calcio y magnesio (Olivera, 2012).

- **Calcio (Ca):** Es absorbido principalmente por las raíces jóvenes y cumple la función de estabilización de la pared celular, lo que da firmeza a los frutos, además de mejorar la absorción de nitrato y potasio, actúa como mensajero secundario en la regulación metabólica. Su deficiencia puede ser causada por altos niveles de amonio o potasio y en algunos casos, a la aplicación de magnesio en ausencia de calcio, lo que llega a provocar su poca absorción. Esta deficiencia afecta a los frutos presentando un sabor ácido y duro.
- **Magnesio (Mg):** El magnesio, es absorbido por la planta en menor cantidad que otros nutrientes como calcio y potasio, así mismo presenta rápida movilidad dentro de la planta por lo que su deficiencia es notable en hojas viejas. Esta carencia puede presentarse a altas concentraciones de potasio, exceso de humedad, medio de soporte seco o fríos, uso excesivo de fertilizante que contienen amonio y otras condiciones que reduce el crecimiento de las raíces.
- **Azufre (S):** Es un nutriente esencial para la síntesis de proteínas, el metabolismo del nitrógeno y las defensas para la planta. Su deficiencia reduce el crecimiento y desarrollo del cultivo de frutilla (ICL Growing Solutions, 2025).

#### **3.3.2.4.2. Micronutrientes**

De acuerdo con Kirschbaum y Borquez (2006), los micronutrientes esenciales para la frutilla son:

- **Hierro (Fe):** Aunque es inmóvil en la planta, el hierro cumple funciones importantes, como participar en la fotosíntesis y la respiración, así como la formación de proteínas. Por esta razón, su deficiencia se manifiesta primero en hojas jóvenes con un amarillamiento y hojas viejas con un color verde oscuro. Otros factores que pueden provocar su deficiencia está el pH mayor a 7, exceso de agua, alta concentración de cobre, zinc, manganeso y molibdeno.
- **Manganeso (Mn):** Cuando la planta no tiene suficiente manganeso el crecimiento de la planta es bajo y el tamaño del fruto disminuye, haciéndola más susceptible a enfermedades. Según ICL Growing Solutions (2025), el manganeso ayuda en la fotosíntesis y la asimilación del dióxido de carbono.

- **Boro (B):** En frutilla la absorción de boro es muy baja, pero es necesario para una buena polinización, formación de frutos, transporte de azúcar, almidón, nitrógeno y fósforo, sobre todo para el crecimiento en áreas de continuo desarrollo como las puntas de la raíz, los brotes y los meristemos. Los síntomas de la falta de boro aparecen en hojas nuevas, donde se observan arrugadas, quemadas en la punta y de color amarillento, así como en la reducción del tamaño de fruto y flores.
- **Zinc (Zn):** El zinc, es importante para las plantas debido a que ayuda al crecimiento vegetativo y la producción de frutos. Sin embargo, la falta de este nutriente provoca síntomas en las hojas jóvenes y reducción en el rendimiento. Por lo que factores como alto pH, excesos de cobre, manganeso y hierro, así también la disponibilidad de fósforo en poca presencia de zinc ocasiona su deficiencia.

### **3.3.2.5. Requerimientos ambientales**

Desde el punto de vista de Tarquino (2018), el crecimiento y la producción del cultivo de frutilla dependen de las condiciones de luz y temperatura. Aunque puede cultivarse en diferentes climas, pero se recomienda su producción en climas templados, en primavera, sin vientos ni heladas y la cosecha en épocas sin lluvias para obtener altos rendimientos.

#### **3.3.2.5.1. Temperatura**

Según Mamani (2013), citado por Flores (2023), en el Cuadro 7, se presentan los requerimientos específicos de temperatura para el desarrollo del cultivo de frutilla:

**Cuadro 7. Temperaturas óptimas para la frutilla.**

<b>Etapas de desarrollo</b>	<b>Temperaturas Óptimas</b>
Mejor desarrollo de las raíces	Temperaturas mínimas 8 a 10°C Temperatura óptima 25°C Temperaturas máximas 23 a 27°C
Desarrollo de hojas y flores	Temperaturas mínimas 5 a 10°C Temperatura óptima 23°C Temperaturas máximas 27 a 35°C
Maduración de frutos	Temperaturas mínimas 10 a 13°C Temperatura óptima 21°C Temperaturas máximas 18 a 25°C

Fuente: Mamani (2013), citado por Flores (2023).

Cabezas (2018), agrega que la frutilla tolera temperaturas mínimas que oscilan entre -4 a 0 °C, a su vez la temperatura mínima aceptable es de 6 °C y la máxima aceptable está entre 26 y 30 °C. También indica que el control de la temperatura y humedad en invernadero puede ser un factor muy importante, debido a que influyen en diferentes procesos de la planta tales como la fotosíntesis, crecimiento vegetativo, absorción de agua, inicio de floración, producción de frutos y contenido de azúcar.

### **3.3.2.5.2. Luminosidad**

La luminosidad o radiación solar es un factor ambiental que permite la realización de procesos biológicos como la fotosíntesis. En el caso de la frutilla, la radiación solar es necesaria para el crecimiento de las hojas, la formación de yemas florales, el desarrollo de la corona, la longitud del pecíolo, así como la cantidad y calidad de los frutos. En pocas palabras si no se cumplen los requerimientos de luz solar, la frutilla no logra un buen desarrollo ni rendimiento (Morales *et al.*, 2017).

Según Cabezas (2021), las plantas necesitan factores como radiación, temperatura, humedad y dióxido de carbono para producir azúcar y oxígeno. Este autor indica que la radiación visible o también conocida como radiación fotosintética activa (RFA), en la planta para el proceso de la fotosíntesis está disponible solo el 41% y que al ingresar la RFA al invernadero puede perderse hasta el 1%, lo que ocasiona una pérdida de 0.84% en el rendimiento del cultivo.

### **3.3.2.5.3. Humedad relativa**

Como señala Barbado (2015), citado por Santana (2016), la humedad relativa alta del ambiente afecta a la planta favoreciendo la aparición de hongos, mientras que un exceso de humedad reduce la transpiración y por ende dificulta la absorción de nutrientes. Sin embargo, cuando la humedad es muy baja causa una disminución de la fotosíntesis junto con el cierre de los estomas. Además, este exceso de transpiración y el cierre de estomas impiden que la planta transporte calcio hacia el fruto (Cabezas, 2018).

De acuerdo con NOVAGRIC (2024), en frutillas cultivadas en invernadero la humedad relativa puede alcanzar los 80%, lo que ocasiona problemas de crecimiento vegetativo y la humedad mínima aceptable es de 60%. Mientras que, Cerero *et al.* (2023) menciona que la frutilla en sistemas hidropónicos llega a tener una humedad ambiental desde los 52%

hasta los 72%, con precipitaciones de 600 y 800 mm. Este autor también indica que la humedad varía de acuerdo al lugar y condiciones climáticas donde se desarrolla el cultivo.

#### **3.3.2.5.4. pH de la solución nutritiva**

Según Kaur y Dewan (2023), así como Dubey y Nain (2020), para el desarrollo óptimo de las plantas es importante medir parámetros de conductividad eléctrica, así también pH, que indica la acidez y alcalinidad del agua. En cultivos hidropónicos, la solución nutritiva debe mantenerse en un rango de pH entre 5,5 a 6,5 para ayudar al crecimiento y rendimiento de las plantas. Es necesario controlar y ajustar regularmente el pH, para ello se puede utilizar el ácido fosfórico para disminuirlo y soda cáustica o hidróxido de potasio para aumentarlo. Mientras que Velázquez *et al.* (2022) menciona, que el pH debe estar entre los rangos de 7 a 5, ya que es un factor importante para mantener los nutrientes solubles y disponibles para las plantas. Cuando el pH es menor a 5 puede reducirse la absorción de nutrientes como potasio, nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio y molibdeno, en cambio, si el pH es mayor a 7, nutrientes como fósforo, hierro, magnesio y calcio llegan a ser menos solubles, lo que dificulta su absorción de boro, hierro, zinc y manganeso.

De acuerdo con Cabezas (2021), el agua utilizada en hidroponía debe tener un pH bajo, entre 6,5 a 6,3 antes de disolver los nutrientes, para evitar la pérdida de nutrientes solubles esenciales para la planta, como carbonato de calcio, fosfato de hierro, fosfato de calcio y sulfato de calcio. Se recomienda un pH de 5,8 a 6,4, para lo cual se debe utilizar un instrumento de medición llamado pH-metro, que permite controlar rangos correctos y garantizar la disponibilidad de nutrientes en el agua y solución nutritiva, facilitando así su absorción por las raíces.

#### **3.3.2.5.5. Conductividad Eléctrica (CE) de la solución nutritiva**

La conductividad eléctrica (CE) es un parámetro que mide la concentración total de nutrientes minerales disueltos en el agua o solución nutritiva. El agua para su uso en hidroponía debe ser menor a 0.8 mS/cm y en cultivos resistentes a la alcalinidad mayor a 1.5 mS/cm. Las unidades más utilizadas son miliSiemens por centímetro (mS/cm), deciSiemens por centímetro (dS/cm), y en algunos equipos se maneja sólidos totales disueltos (TDS) que miden en partes por millón (ppm) (Cabezas, 2018).

Gilsanz (2007), indica que la conductividad eléctrica debe ser medida después de la preparación de la solución nutritiva, y esta dependerá del tipo, así como la etapa fenológica del cultivo, por ejemplo, el tomate puede tolerar altos niveles de CE, a diferencia que la lechuga necesita entre 2 a 2.5 mS/cm. En cambio, la frutilla requiere desde los 1.0 mS/cm. Akon *et al.* (2020), menciona que en sistemas hidropónicos, el nivel de CE para la frutilla debe ser 1.5 dS/m, ya que afecta en el crecimiento, las características de rendimiento y la calidad del fruto, además del aumento en la producción de biomasa.

Según Sánchez (2015), citado por INTAGRI (2018), la conductividad eléctrica en el cultivo de frutilla puede afectar en el rendimiento. Cuando la CE está en 1.5 dS/cm causa una reducción del 10% en el rendimiento, al aumentar a 2.0 dS/cm la pérdida alcanza 25% y, si llega a los 2.5 dS/cm la reducción del rendimiento podría ser mayor al 50%. Por esta razón, los niveles de CE deben mantenerse dentro de rangos adecuados.

### **3.3.2.5.6. Solución nutritiva**

La formulación de las soluciones nutritivas depende del cultivo y la fase fenológica, para la frutilla es necesario considerar tanto la fase vegetativa como la fase de floración. En la fase vegetativa la planta requiere altos niveles de nitrógeno para el desarrollo y crecimiento de las hojas y fósforo para la raíz. Sin embargo, al inicio de la floración la planta absorbe gran cantidad de potasio para la maduración del fruto, por lo que no requiere concentraciones altas de nitrógeno (Velázquez *et al.*, 2022). Además, la frutilla no sólo está relacionada con la solución nutritiva, sino también con el manejo y la distribución de las plantas. Por lo cual se han diseñado diferentes sistemas de distribución para mejorar el alcance de nutrientes a las raíces, entre ellos se encuentra el método de canales con tubería de PVC (Calleros *et al.*, 2020).

La oxigenación es un factor importante, ya que proporciona suficiente oxígeno a las raíces para la absorción y el transporte de los nutrientes hacia la planta. Cuando existe una concentración elevada de nutrientes minerales ocasionada por la evapotranspiración, las plantas absorben más agua que nutrientes, lo que con el tiempo provoca que la solución se vuelva más concentrada. Esto aumenta el pH y la presión osmótica, lo que reduce la absorción de agua y causa que la planta se debilita, llegando incluso a morir por falta de agua (Oasis Easy Plant, s.f.). Por lo tanto, es necesario ajustar y medir el pH y la conductividad eléctrica, además de dar mucho oxígeno a la solución nutritiva (Hamidon *et*

al., 2019). Otro factor importante es la temperatura, ya que influye en la absorción de nutrientes y para evitar la presencia de enfermedades, como la aparición del hongo *Phytophthora*. Por eso, mantenerla entre 18°C y 23°C (64°F y 73°F) es necesario (Hatipi et al., 2025). Ticona (2015), citado por Flores (2023) menciona que cuando la temperatura aumenta la disponibilidad de oxígeno en la solución disminuye, mientras que valores muy elevados pueden ocasionar la precipitación de nutrientes.

### **3.4. Ambiente atemperado**

Los cultivos protegidos son sistemas de producción donde se controla el microclima que rodea al cultivo. Entre estos sistemas existen los permanentes, como los invernaderos y los temporales, que se aplican sólo en etapas del cultivo. En el caso de la frutilla, esta se adapta a túneles bajos de polietileno en campo abierto, para protegerla y mejorar las condiciones ambientales durante ciertas etapas (Beltrano y Gimenez, 2015).

La frutilla cultivada en hidroponía dentro de invernaderos presenta una ventaja para la producción intensiva a comparación del cultivo tradicional, ya que no se ve afectada por condiciones climáticas desfavorables, como las intensas lluvias que llegan a dañar la planta. Estudios realizados en Colombia han demostrado que al implementar este sistema protegido existe un aumento significativo en la producción, al evitar la pérdida de frutos y los daños a la planta durante las lluvias. Por ejemplo, la variedad Monterrey muestra un crecimiento vegetativo más rápido y altos rendimientos (Grijalba et al., 2015).

### **3.5. Cultivo de frutilla en el altiplano**

La región del Altiplano se caracteriza por presentar cambios climáticos adversos, espacios reducidos y diferentes condiciones limitantes. La producción de frutilla se realiza en cultivos tradicionales, aplicando descansos y rotación según la estación, sin tecnificación ni uso de tecnología avanzada. Estas prácticas, junto con las variaciones de temperatura y precipitaciones irregulares, han afectado la producción agrícola, lo que impacta directamente a la economía de los pequeños productores (Barrera, 2024). Ante esta situación, los agricultores buscan sistemas de cultivo más intensivos y económicamente rentables. La producción de frutillas en carpas solares o Walipini surge como una alternativa en estas regiones con condiciones climáticas adversas, con tierras pequeñas o medianas. Además, del uso de variedades adaptadas al clima del altiplano, como Chandler, Sweet Charlie y Oso Grande (Cortez, 2008).

Algunos estudios realizados en el altiplano bajo ambiente controlado reportan que la producción tradicional alcanza un rendimiento promedio de 900 kg por hectárea (Flores y Mendoza, 2023), con un producción aproximada de 303,75 g por planta (Cortez, 2008).

### **3.5.1. Cultivo de frutilla bajo el sistema hidropónico**

Estudios realizados en condiciones del altiplano muestran la viabilidad del sistema hidropónico NFT para el cultivo de frutilla. Por ejemplo en Viacha se evaluaron dos variedades de frutilla donde el rendimiento alcanza hasta 5.900 kg/ha, además se muestra la rentabilidad del sistema en ambientes de altitud elevada y temperaturas bajas (Flores, 2023). Asimismo, en la ciudad de El Alto se investigaron las variedades Monterrey, San Andrea y Sabrina, con la finalidad de evaluar sus características agronómicas bajo un sistema recirculante. El estudio mostró que la variedad Monterrey alcanzó un rendimiento de 4,2 t/ha bajo el sistema NFT, además de San Andrea que se mostraron muy favorables en el desarrollo vegetal y productivo, destacando la importancia del pH, conductividad eléctrica y temperatura del agua (Condori, 2024).

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Localización

#### 4.1.1. Ubicación Geográfica

El presente trabajo de investigación se realizó en la ciudad de El Alto, específicamente en el distrito 14, zona Bautista Saavedra, ubicada en la provincia Murillo del departamento de La Paz. Geográficamente está ubicado entre -16,4866 o 16°29'11" latitud Sur y -68,2363 o 68°14'10" longitud Oeste, con Altitud de 3919 m.s.n.m (Google Earth, 2025).



**Figura 3. Ubicación Geográfica de la investigación (Google Earth, 2025).**

#### 4.1.2. Características edafoclimáticas

La ciudad de El Alto está localizada al oeste de Bolivia, la temperatura promedio es de 7 °C, con un clima seco y frío con nevadas en invierno. En el distrito 14 el clima es templado con verano suave (diciembre – marzo) e invierno seco (junio - septiembre), la temperatura registrada es alrededor de 12 °C hasta los 15 °C, con una temperatura mínima en la época de invierno de -4 °C y una temperatura máxima en época de primavera de más de 15 °C (Apaza, 2014).

En el año 2013 la precipitación media anual en la ciudad es de 500 y 750 milímetros, mientras que en el norte del distrito 14 alcanzó precipitaciones de hasta 710 mm. Las fuentes principales de la ciudad de El Alto son el sistema Tilata y la represa Milluni con fuentes subterráneas que se encuentran a una profundidad de 90 metros (Apaza, 2014).

## 4.2. Materiales

### 4.2.1. Material de estudio

El material de investigación que se evaluó fueron tres variedades de frutilla:

- Albión: Crecimiento de tamaño mediano, inicialmente lento, con frutos rojos y resistente al oídio.
- San Andrea: El fruto es de tamaño mediano, rápido crecimiento, con frutos de color rojo externo con pulpa más clara y es resistente a las enfermedades de hoja.
- Monterrey: Presenta mayor tamaño con crecimiento vegetativo más rápido, frutos con color exterior uniforme, con pulpa roja y es susceptible al oídio.
- Solución nutritiva

### 4.2.2. Material de escritorio

- Computadora
- Cuaderno de registro
- Regla graduada
- Lápiz y bolígrafo
- Tablero
- Cámara fotográfica
- Calculadora

### 4.2.3. Material de campo

- Medidor de pH - CE
- Temporizador de riego
- Bomba de impulsión
- Tanque de almacenamiento de 200 litros

- Tuberías de distribución PVC (Cloruro de polivinilo)
- Tuberías de retorno
- Codos y tapones de tubería
- Termohigrómetro (máximas y mínimas)
- Palanca (encendido-apagado)
- Estilete y tijeras
- Listones de madera
- Flexómetro
- Baldes de 6 litros
- Jarra de 3 litros
- Vasos plásticos
- Fibra de poliéster laminado
- Microtubo de 4/6 mm
- Emisor de riego
- Clavos y martillo
- Mochila fumigadora
- Balanza digital
- Refractómetro digital
- Calibrador vernier

#### **4.2.4. Material de laboratorio**

- Horno mufla (horno de secado)

- Ácido fosfórico
- Hidróxido de potasio
- Insecticida y fungicida
- Carbendazim

#### 4.3. Metodología

##### 4.3.1. Descripción del ambiente atemperado

La investigación se llevó a cabo en un ambiente atemperado, con las siguientes dimensiones: la medida de ancho de 2,78 metros y largo de 5,50 metros, con una superficie construida de 15,30 metros cuadrados. Las paredes del ambiente atemperado estaban construidas de ladrillo, mientras que la entrada está cubierta con polietileno (agrofilm). Los cuatro laterales estaban sostenidos por callapos y el techo estaba compuesto por calamina plástica de color naranja. Para el desarrollo de la investigación se utilizó un área específica de 2,20 metros cuadrados.

##### 4.3.2. Construcción del sistema NFT

Para iniciar con el trabajo de investigación, se realizó primero la instalación del sistema NFT, diseñado para colocar los plantines de frutilla y empezar con la recolección de datos. Para la estructura que sostiene los tubos de PVC se armó siguiendo los siguientes pasos:

- **Armado de la estructura:** Se construyó un caballete tipo mesa utilizando listones de madera. Las medidas de la estructura fueron 1,10 m de alto por 2,10 m de largo y 1,15 m de ancho. La estructura estaba conformada por cuatro tirantes como base y cuatro tirantes horizontales ubicados en la parte media para dar mayor soporte, además, la estructura fue pintada de un color blanco.
- **Tubos de PVC de 3” (pulgadas):** Se utilizaron tubos de PVC como medio de soporte para las plantas de frutilla y para que la solución nutritiva fluya a modo de canal. Para cada repetición se formaron seis tubos de dos metros de largo cada uno. Estos tubos fueron sujetados mediante un fierro de sujeción en forma de U al inicio, en el centro y al final de cada tubo. Para tener un mejor crecimiento de las plantas, los tubos se colocaron con una pequeña variación en la ubicación.

- **Perforación de los tubos:** En cada tubo de dos metros se realizaron nueve perforaciones circulares de 5 cm de diámetro, a una distancia de 20 cm de largo entre perforaciones.
- **Instalación del tanque de almacenamiento:** Primeramente, se hizo una nivelación del suelo donde se colocó el tanque, para que sean exactas las mediciones del depósito de solución nutritiva.
- **Sistema de riego:** Despues de construir la estructura y colocar el tanque de almacenamiento, se planificó e instaló la red de tuberías para el riego y recirculación de la solución nutritiva. Se utilizaron tres líneas principales de PVC: el primer tubo de distribución de  $\frac{3}{4}$ " conectado a la bomba (Q.max. 35 L/min) para llevar la solución nutritiva desde el tanque hasta el inicio de los canales de cultivo, el segundo tubo de retorno de 2" para el regreso de la solución al tanque y el tercer tubo de  $\frac{1}{2}$ " para oxigenar la solución nutritiva en el depósito.
- **Instalación de microtubos de 4/6 mm:** Para la distribución de la solución nutritiva a los canales de cultivo se instalaron seis microtubos de 30 cm de largo. Esta instalación se realizó para asegurar un flujo constante y dar oxigenación adecuada a los canales de cultivo. El flujo de la solución nutritiva hacia la salida de los microtubos fue calculado de 3 litros por minuto.
- **Instalación de sistema de retorno:** Se instalaron tubos con una reducción de 3 a 2 pulgadas para cada canal de cultivo. Asimismo, se colocaron tubos tipo codo de dos pulgadas en cada salida de los tubos de reducción, además de un tubo de la misma medida para la salida y caída de la solución nutritiva.
- **Lavado y desinfección de los tubos:** Antes de colocar los plantines, se realizó la desinfección interna de los tubos para evitar la aparición de enfermedades en los canales de cultivo. El lavado se realizó con cloro al 1% una vez que el sistema estaba completamente armado.

#### **4.3.3. Ambientación de los plantines de frutilla**

Los plantines de frutilla que se utilizaron en esta investigación eran plántulas que tenían tres hojas, las cuales debían adaptarse al ambiente donde se llevó a cabo el trabajo. Por esta razón, se sembraron en una cama de sustrato blando compuesto por cascarilla de arroz, favoreciendo así su crecimiento y el desarrollo de nuevas raíces. Las plantas permanecieron en esta etapa de adaptación durante una semana antes de ser trasplantadas al sistema hidropónico NFT.

#### **4.3.4. Programación del tiempo de riego**

Se programó el tiempo de riego siguiendo las recomendaciones de trabajos previos. Durante el desarrollo de la investigación, el riego fue automatizado mediante un timer con 16 programaciones diarias, permitiendo la circulación de la solución nutritiva en los canales de cultivo durante 15 minutos cada hora, iniciando desde las 8 am hasta las 21 pm, las dos últimas programaciones fueron a las 1 am y 3 am con una duración de 5 min.

#### **4.3.5. Formulación de la solución nutritiva**

Para la preparación de la solución nutritiva del cultivo de frutilla se consideraron los elementos presentes en el análisis químico del agua de la ciudad de El Alto (Anexo 6). Con base a los nutrientes identificados se elaboró la formulación usando el programa HydroBuddy, ajustando los nutrientes faltantes para los requerimientos de la frutilla.

- Para la solución A, se utilizaron los siguientes macronutrientes: Nitrato de Calcio, Sulfato de Magnesio, Sulfato de Potasio, Nitrato de Potasio y Fosfato Monopotásico.
- Para la solución B, se usaron los micronutrientes: Fetrlon Combi 2 y Cosmoquel. Para el regulador de pH se utilizó Hidróxido de Potasio y Ácido Fosfórico.

Después del trasplante de los plantines, se inició con la preparación de la solución nutritiva para el crecimiento vegetativo (Cuadro 8). Para ello, se utilizó agua completamente desclorada, a la cual se añadieron los nutrientes en las cantidades requeridas, con mayor concentración de nitrato para favorecer el desarrollo de hoja y raíz.

**Cuadro 8. Formulación para el crecimiento vegetativo (CE de 1100 mS/cm).**

Fertilizantes	Fórmula	Elemento	Peso gramos (g)
Nitrato de Calcio	$(NO_3)_2Ca$	Macroelemento	53,9
Sulfato de Magnesio	$MgSO_4$	Macroelemento	39,5
Sulfato de Potasio	$K_2SO_4$	Macroelemento	37
Nitrato de Potasio	$KNO_3$	Macroelemento	17,5
Fetrlon Combi 2	Mg, S, Fe, Mn, Zn, B, Cu, Mo	Microelemento	0,5

Cuando las plantas de frutilla alcanzaron entre 20 y 25 hojas, se cambió la solución nutritiva para comenzar con la fase de producción de frutos. Esta segunda formulación se

realizó con una concentración mayor de potasio, para favorecer un mayor contenido de azúcar y mejorar la calidad del fruto. Los requerimientos específicos para esta etapa se detallan en el Cuadro 9.

**Cuadro 9. Formulación para la producción (CE de 1300 mS/cm).**

Fertilizantes	Fórmula	Elemento	Peso gramos (g)
Nitrato de Calcio	$(NO_3)_2Ca$	Macroelemento	53,9
Sulfato de Magnesio	$MgSO_4$	Macroelemento	38,5
Sulfato de Potasio	$K_2SO_4$	Macroelemento	19
Nitrato de Potasio	$KNO_3$	Macroelemento	18
Fosfato Monopotásico	$K_2P_2O_5$	Macroelemento	2,4
Cosmoquel	Ca, Mg, S, Co, Fe, Mn, Zn, B, Cu, Mo	Microelemento	1,0

La solución nutritiva del tanque fue cambiada cada 30 días con el fin de evitar desequilibrios en la concentración de nutrientes y prevenir la propagación de hongos.

#### **4.3.6. Trasplante de los plantines**

Antes del trasplante de las plántulas de frutilla a los canales de cultivo, se preparó una solución desinfectante en un recipiente para realizar la limpieza de las raíces. La solución que se preparó fue Carbendazim (50 cc por 20 litros de agua), las raíces fueron sumergidas en esta solución alrededor de 60 segundos y posteriormente lavadas con agua desclorada, para eliminar cualquier residuo que pudiera dañar a las raíces. Luego, los plantines se colocaron por variedad según la abertura que les correspondía de cada canal de cultivo, plantando tres plantines por variedad en cada repetición y el horario que se realizó fue después del mediodía.

Para trasladar los plantines al canal de cultivo se utilizaron fibra de poliéster laminada de 2 capas, donde se colocaron entre la parte media de la corona y la raíz, para después colocarlas en soportes de vasos plásticos, adaptados especialmente para el sistema NFT.

#### **4.3.7. Refallo de plantación**

Durante la primera semana después del trasplante se notaron que algunas plantas no se adaptaron al sistema hidropónico NFT, ya que presentaron raíces oscuras, por lo cual fueron reemplazadas por nuevas plantas para evitar el contagio a otras plantas.

#### **4.3.8. Poda de hojas**

La poda de hojas se realizó cada semana, retirando las hojas viejas, amarillentas y semi pardas, con el fin de que las hojas nuevas reciban una adecuada luz solar y óptimo desarrollo vegetativo. Además, esta práctica ayudó a prevenir la aparición de hongos y plagas que llegan a albergarse en las hojas deterioradas.

#### **4.3.9. Poda de flores**

Se cortaron las primeras flores que salieron después del trasplante y durante la etapa vegetativa, para estimular el desarrollo de la planta, evitando la formación de frutos pequeños y débiles, y prevenir la reducción del ciclo productivo. Esta práctica se mantuvo hasta que la planta alcanzó entre 20 y 25 hojas compuestas, que es considerada ideal para asegurar una buena producción.

#### **4.3.10. Control de plagas y enfermedades**

Durante el desarrollo de la investigación se presentaron dos problemas fitosanitarios, la presencia de la plaga pulgón (*Chaetosiphon fragaefolii*) y la enfermedad del oídio (*Podosphaera aphanis*) en las hojas. Para el control del pulgón, se aplicó el insecticida Cipermetrin de 1 cc por litro de agua, una vez preparada la mezcla, se realizó la fumigación semanal por las tardes, enfocándose en el envés y en las hojas nuevas, ya que son lugares donde se alojaban estos insectos. En cuanto al oídio, se preparó un fungicida que se aplicó cada tres días para evitar la propagación de este hongo.

#### **4.3.11. Cosecha**

Después del trasplante, transcurrieron cuatro meses hasta obtener los primeros frutos, y las cosechas se realizaron en horas de la tarde. Se recolectaron frutos con un 90% de color rojo, alta fragancia y firmeza al tacto. Estos se cortaron con tijeras, dejando una distancia de 5 mm desde el pedúnculo. Posteriormente, se separaron por variedad y se pesaron en la balanza digital según el momento de cosecha, para después ser refrigeradas en un ambiente frío para su conservación.

#### **4.3.12. Datos del Peso seco de fruto, parte aérea (peciolo y hoja) y raíz**

Después de la finalización del trabajo de investigación se seleccionaron tres muestras por variedad para determinar el peso seco. Primero todas las muestras fueron lavadas con cuidado para eliminar impurezas antes de pesar, para no tener ningún dato erróneo al momento de tomar datos, después se realizó el pesaje en fresco con la balanza digital. Cada muestra se separó en fruto, parte aérea y raíz.

Luego las muestras se colocaron en papeles de cartón con su respectiva identificación y se colocaron en las bandejas del horno de secado: en la parte superior se ubicaron las hojas, en el nivel medio las raíces y en la parte inferior los frutos, con el fin de asegurar un mejor secado. La temperatura que se utilizó fue de 65 °C durante 48 horas. Finalmente, se retiraron las muestras del horno y se comenzó a pesar el material secado en la balanza digital, se registraron los valores por separado para después obtener un promedio del peso seco por fruto, parte aérea y raíz.

#### **4.3.13. Diseño experimental**

El diseño experimental que se utilizó en el presente trabajo de investigación fue el Diseño Completamente al Azar (DCA), conformado por 18 unidades experimentales, con tres tratamientos y seis repeticiones para las variedades Albión, San Andrea y Monterrey, con un total de 54 plantas en estudio. Para el análisis por tratamiento se aplicó el programa estadístico InfoStat.

Según Fisher (1935), citado por Ochoa (2016), el modelo lineal aditivo es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{j(i)}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = Una observación de la variable de respuesta

$\mu$  = Media poblacional

$\alpha_i$  = Efecto de la i-ésima variedad

$\varepsilon_{j(i)}$  = Error experimental

Para comparar las medias por tratamientos se utilizó el análisis de la prueba de Duncan a un nivel de significancia del 5%.

#### 4.3.14. Tratamientos de estudio

Factor A: Variedades.

$a_1$  = Albión.

$a_2$  = San Andrea.

$a_3$  = Monterrey.

##### 4.3.14.1. Croquis del experimento

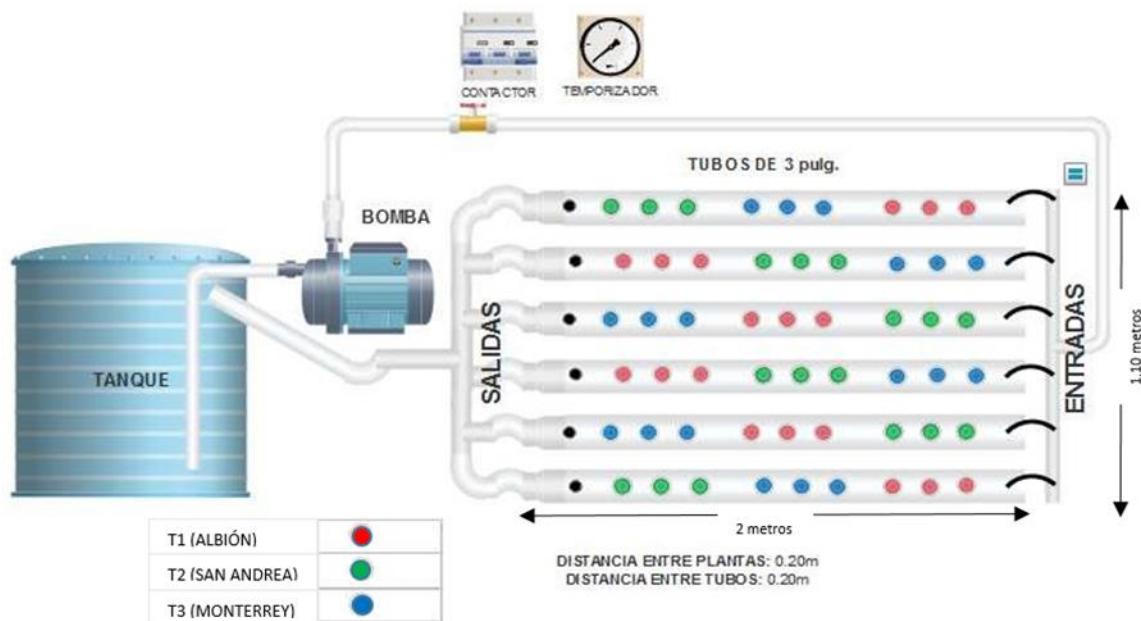
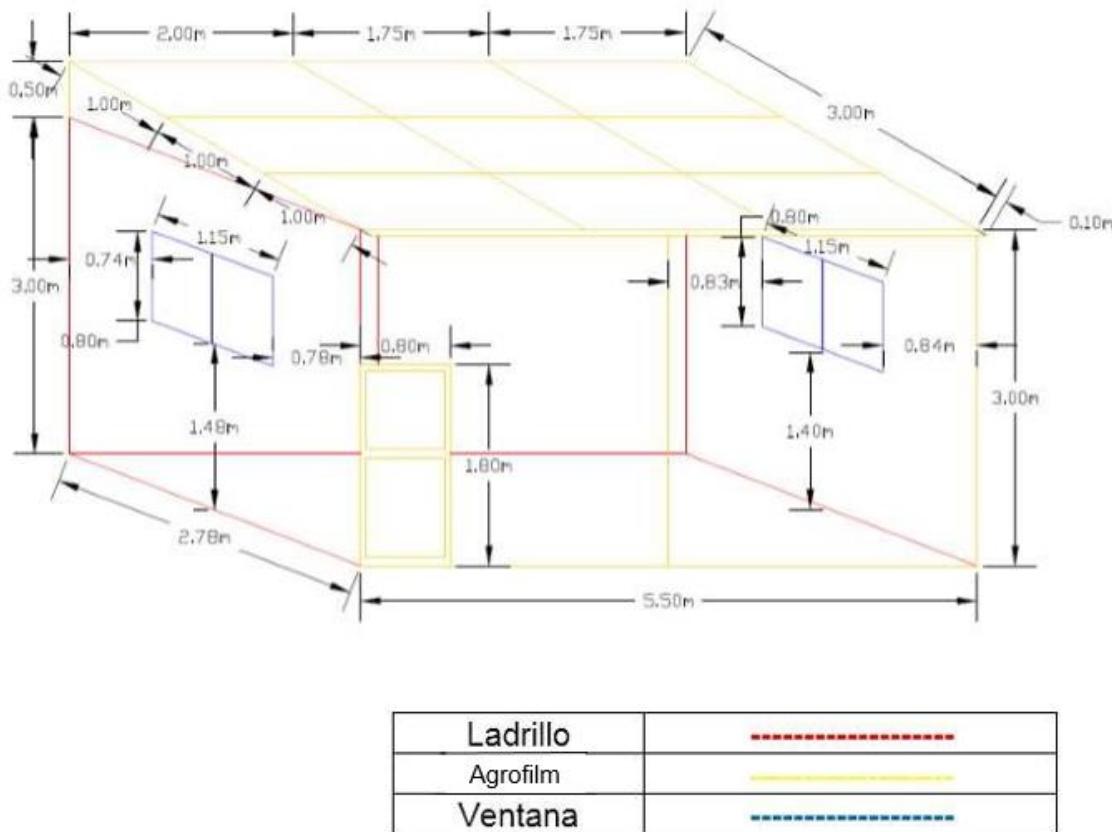


Figura 4. Croquis del experimento



**Figura 5. Medidas del ambiente atemperado**

#### 4.3.15. Variables de respuesta

##### 4.3.15.1. Número de hojas por planta

Para la variable número de hojas se realizó el conteo de cada planta después de 15 días del trasplante hasta la etapa de floración. Donde se observó el desarrollo y el crecimiento vegetativo de cada variedad.

##### 4.3.15.2. Número de flores por planta

Se tomaron los datos del número de flores por planta en esta variable, después de alcanzar entre un total de 20 a 25 hojas compuestas. Se tomaron datos desde las primeras flores abiertas que aparecieron.

#### **4.3.15.3. Número de frutos por planta**

En esta variable se tomaron los datos después de que termine la etapa de producción de las plantas y en las primeras cosechas, que fueron en el mes de mayo. La cantidad de frutos obtenidos por planta en toda la investigación fueron promediados por variedad.

#### **4.3.15.4. Peso de fruto por planta**

Para la variable del peso de fruto se realizó el pesaje en una balanza digital desde la primera producción que mostraron mayor cantidad de peso hasta la cosecha, los datos fueron anotados en una libreta y se expresaron en gramos/planta.

#### **4.3.15.5. Diámetro de fruto por planta**

Se realizó la medición del diámetro del fruto con un instrumento Vernier, tomándolo del peciolo y medir la parte superior del fruto, es decir la parte de los hombros del fruto. En esta variable se realizó la medición por tratamiento expresándose en centímetros.

#### **4.3.15.6. Grados Brix de fruto**

Para medir la cantidad de concentración de azúcar en el fruto se utilizó el instrumento refractómetro, donde se tomó los datos de tres frutos al azar por cada tratamiento y se promediaron los valores. Los datos fueron expresados en grados Brix ( $^{\circ}\text{Brix}$ ).

#### **4.3.15.7. Peso seco de fruto**

Para esta variable del peso seco de fruto se tomó tres frutos al azar por tratamiento, las muestras se obtuvieron después de la cosecha y se realizó el secado en el laboratorio. La temperatura del horno de secado se colocó a  $65^{\circ}\text{C}$  por 48 horas, los datos fueron tomados después de terminar el tiempo de secado y se pesaron, sacando un promedio por variedad que fueron expresados en gramos.

#### **4.3.15.8. Peso seco de la parte aérea (peciolos y hojas)**

Después de la cosecha, para el peso seco de la parte aérea se obtuvieron tres muestras al azar por cada tratamiento. Las plantas fueron sometidas a un horno de secado a una temperatura de  $65^{\circ}\text{C}$  por 48 horas. Después se pesó cada muestra y se sacó un promedio que fue expresado en gramos.

#### **4.3.15.9. Peso seco de raíz**

Para la variable de peso seco de raíz se tomó tres muestras al azar por tratamiento, estas muestras se tomaron después de la cosecha. Se llevaron a un laboratorio para colocarlas en un horno de secado donde estuvieron 48 horas a una temperatura de 65°C y se sacó el promedio expresado en gramos.

#### **4.3.15.10. Rendimiento de fruto por planta**

Para la variable rendimiento por planta se pesó en la balanza digital el total de la producción de frutos por planta y se expresaron en kilogramo por planta.

#### **4.3.15.11. Rendimiento de fruto por metro cuadrado (kg)**

Para sacar esta variable se utilizó una balanza digital donde se pesó el total de los frutos por planta de cada tratamiento. Los rendimientos se calcularon para cada unidad experimental con su área respectiva. Para ello, se dividió el peso total de los frutos obtenidos por planta sobre el área de cultivo de cada unidad experimental y se expresó el rendimiento en kilogramos por metro cuadrado.

### **4.3.16. Análisis de costos parciales**

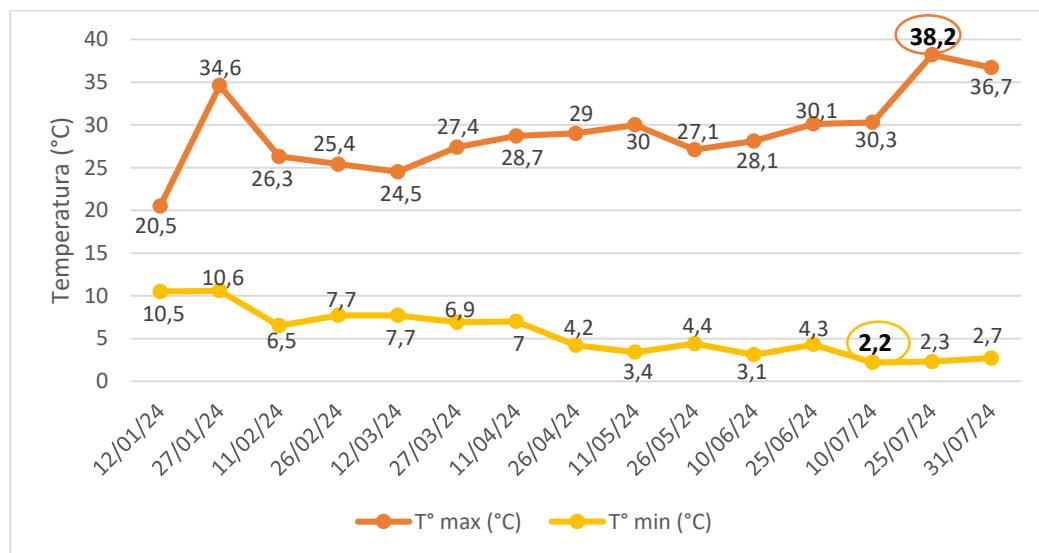
El análisis de costos parciales de la producción de frutilla bajo el sistema hidropónico NFT se realizó con el método de análisis propuesto por Perrin, el cual se ajustó a las características de la presente investigación.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Factores climáticos

#### 5.1.1. Temperatura del ambiente atemperado

En el presente trabajo de investigación, el cultivo de frutilla en ambiente atemperado registró temperaturas durante los meses de enero hasta julio. En la Figura 6, se presenta la temperatura promedio por cada 15 días. Las temperaturas más altas se registraron en los meses de enero y finales de julio alcanzando una temperatura de 38,2 °C, mientras que las temperaturas más bajas se registraron en los meses de junio y julio con una temperatura promedio de 2,2 °C. Durante el desarrollo de la investigación, se presentaron algunos problemas en diferentes plantas debido a las altas temperaturas, así también por las bajas temperaturas, que causaron quemaduras al borde de las hojas y oídio en el envés de hojas jóvenes.



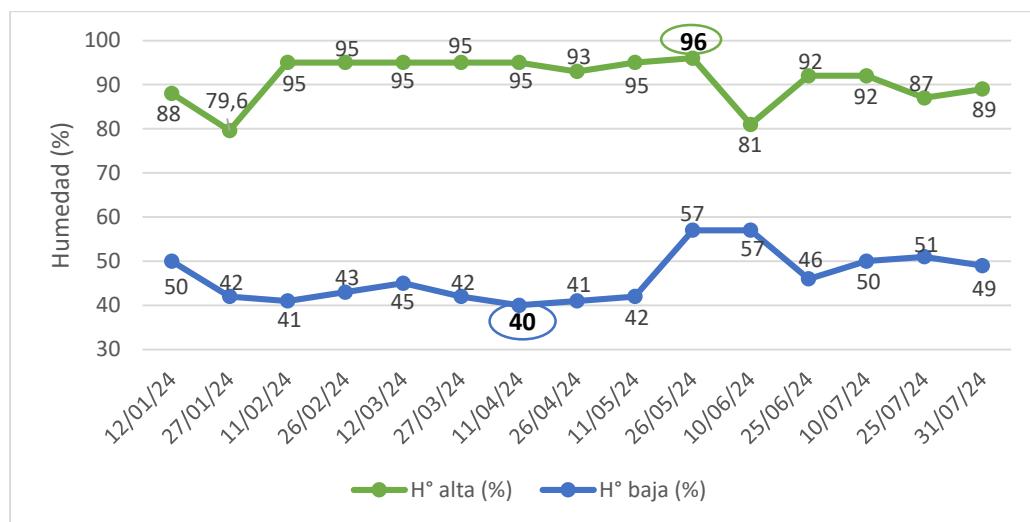
**Figura 6. Temperatura máxima y mínima del trabajo de investigación.**

El cultivo de frutilla soporta temperaturas muy bajas, desde los -18 °C y muy altas, hasta los 50 °C. Aunque, se deben considerar los riesgos al plantar en condiciones extremas como el crecimiento y producción. Por ello se recomienda una temperatura mínima de 2 °C y una máxima de 40 °C, ya que por encima de este valor se puede estar afectando la fructificación. Estos rangos de temperatura respaldan la presente investigación, debido a que durante el ciclo de la frutilla se alcanzaron valores dentro de los mencionados por

este autor (AGROPINOS, 2021). Sin embargo, es importante tener en cuenta las temperaturas que necesita la frutilla en diferentes fases, como en la floración, el tiempo de acumulación de frío debe ser de 0 a 7.2 °C, con 23 °C en el día y 18 °C por la noche, durante el crecimiento de raíces requiere 10 °C, mientras que para la fotosíntesis el rango está entre 15 a 27 °C. Por otro lado, cuando la temperatura es menor a 0 °C la planta presenta riesgos como la muerte de las yemas florales, daños a la corona, alteración en la floración y otros efectos negativos (Lira y Ruiz, 2023).

### 5.1.2. Humedad relativa del ambiente atemperado

Se tomaron datos de la humedad relativa dentro del ambiente atemperado durante siete meses. Como se observa en la Figura 7, no existió diferencias amplias en cada registro. Por lo que la humedad promedio más alta se alcanzó en el mes de mayo con un 96%, mientras que la humedad más baja se presentó en el mes de abril con un 40%. La alta humedad provocó enfermedades en varias plantas, donde se manifestaron en el envés de la hoja el oídio. Durante las mañanas se registró alta humedad lo que provocó un aumento en la temperatura de la solución nutritiva, provocando estrés hídrico en las plantas, por lo que fue necesario abrir el invernadero por las mañanas para reducir la humedad. En las tardes, cuando la luz solar estaba en su punto más alto la humedad descendió, lo cual se realizó un riego por aspersión para aumentar la humedad.



**Figura 7. Humedad relativa alta y baja del trabajo de investigación.**

Es importante la humedad para la frutilla cultivada en invernadero, debido a que pueden causar el desarrollo de hongos que dañan al fruto y a las plantas. Una humedad relativa

alta, cercana al 95% favorece la aparición de enfermedades (Martínez, 2019). En la presente investigación se alcanzó este nivel de humedad en las mañanas durante la época de frío, lo que ocasionó la enfermedad del oídio en algunas plantas como menciona este autor. Por esta razón, se considera que la humedad óptima para mantener las plantas sanas y libre de enfermedades es alrededor de 60% al 80% (Sistemas Hortícolas Almería, 2023), lo que en la presente investigación no estaba dentro del rango por lo que ocasionó problemas al tener una humedad baja de 40%. Así también, Pérez (1979) citado por Ramírez (2011) menciona que la humedad debe estar en los rangos mencionados debido a que puede afectar la polinización y más adelante la producción.

### 5.1.3. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica de la solución nutritiva, como se muestra en la Figura 8, se registró entre 1060 y 1380 mS/cm. Los datos fueron promediados cada 15 días, aunque las mediciones se realizaron cada 3 días, específicamente en horas de la tarde cuando la temperatura dentro del invernadero era alta, lo que pudo haber causado variaciones en las lecturas. Los datos presentados en la figura corresponden a las mediciones realizadas después de la preparación de la solución nutritiva y antes de realizar las correcciones necesarias para mantenerla en un rango adecuado para la frutilla. Durante la fase vegetativa, se ajustó entre 1000 y 1100 mS/cm, mientras que en la fase reproductiva se cambió la solución nutritiva, ajustando entre 1300 y 1500 mS/cm. Este ajuste se realizó con el objetivo de mejorar la absorción de nutrientes para las plantas.

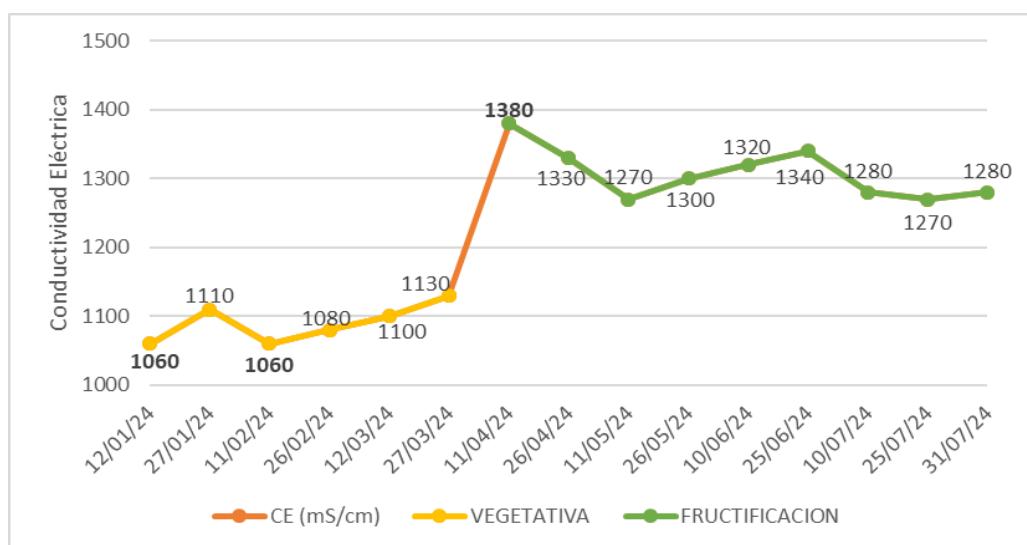
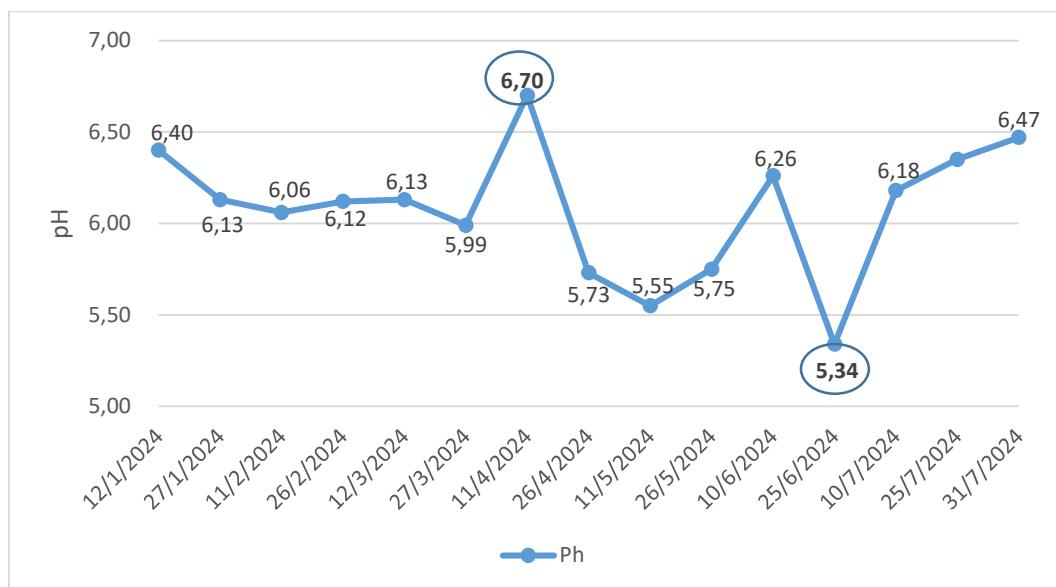


Figura 8. Conductividad eléctrica de la solución nutritiva.

De acuerdo con Gilsanz (2007), después de agregar sales minerales y formular la solución, la conductividad eléctrica depende del tipo de cultivo y de su fase fenológica, por lo que el nivel de CE para el cultivo de frutilla es de 1000 mS/cm. Por su parte, Marcellini *et al.* (2023) consideran que la CE de la frutilla puede alcanzar 1500 dS/m, lo cual los datos registrados de conductividad eléctrica están dentro de los niveles adecuados entre 1060 a 1380 mS/cm. Además, se muestra que estos niveles ayudan al número de hojas, la altura de la planta y el peso fresco y seco, así también mejora las características del rendimiento. La temperatura del agua también es importante en el manejo de la CE, ya que puede provocar variaciones en las lecturas. Un estudio que fue documentado habla que los valores de CE normales se mantienen dentro del rango de 1170 y 1180 mS/cm, pero estos valores pueden cambiar debido a la temperatura del agua. Por lo cual, es importante ajustar y medir las soluciones nutritivas regularmente (Hamidon *et al.*, 2019).

#### 5.1.4. El pH

En la Figura 9, se muestran los datos de pH obtenidos de la solución nutritiva durante el ciclo del cultivo, el pH más alto registrado fue de 6,70, mientras que el pH más bajo fue de 5,34. Se realizaron ajustes para que el pH del cultivo de frutilla esté alrededor de 5,5 a 6,5. Estos datos se registraron junto con la conductividad eléctrica y después de llevar a cabo los ajustes de pH.



**Figura 9. pH de la solución nutritiva.**

El pH de la solución nutritiva es un factor importante para mantener los nutrientes solubles y disponibles para las plantas, lo cual debe estar entre los rangos de 7 a 5, ya que cuando el pH es menor a 5 puede reducirse la absorción de nutrientes como potasio, nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio y molibdeno, en cambio, si el pH es mayor a 7, nutrientes como fósforo, hierro, magnesio y calcio llegan a ser menos solubles, lo que dificulta su absorción de boro, hierro, zinc y manganeso (Velázquez *et al.*, 2022). Para el cultivo de frutilla en sistemas hidropónicos, es necesario un control más preciso del pH para asegurar una absorción adecuada de nutrientes. Existen investigaciones que sugieren que el rango ideal de pH debe estar entre 5,5 y 6,5 (Safira *et al.*, 2022). Aunque otros autores señalan que para un crecimiento correcto de la frutilla, el pH debe mantenerse alrededor de 5,5 y 6 (Kumar y Saini, 2020). Los datos muestran que se mantuvo en el rango mencionado, además se ajustó para mantenerla en los rangos durante todo el ciclo.

#### 5.1.5. Temperatura de la solución nutritiva

En la Figura 10, se presentan los registros de las temperaturas de la solución nutritiva en ambiente atemperado. Los datos que se registraron fueron junto con las mediciones de pH y conductividad eléctrica, donde la temperatura promedio más alta se registró en el mes de abril, alcanzando 21,54 °C mientras que la temperatura promedio más baja se observó en el mes de marzo con 11,36 °C.

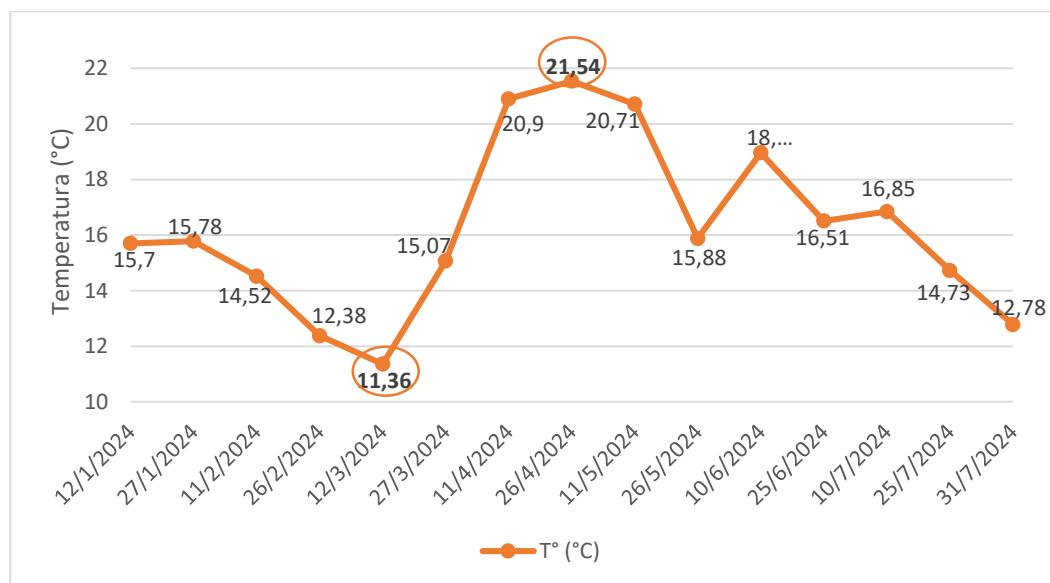


Figura 10. Temperatura de la solución nutritiva.

La temperatura influye en la absorción de nutrientes y en la presencia de enfermedades, como la aparición del hongo *Phytophthora*. Por eso, mantenerla entre 18°C y 23°C (64°F y 73°F) es necesario (Hatipi *et al.*, 2025). La oxigenación de la solución nutritiva es otro factor importante para asegurar que las raíces tengan aireación, lo cual es necesario para que realicen procesos fisiológicos, como el transporte de nutrientes hacia la planta (Oasis Easy Plant, s.f.). Las temperaturas máximas se mantuvieron dentro del rango adecuado, mientras, las temperaturas mínimas registradas en el tanque estaban entre enero y marzo, lo que podría estar relacionada con las lluvias que iniciaron en ese periodo. De igual forma, durante junio a julio el frío y bajas temperaturas pudieron causar que se enfriara la solución nutritiva. Esto fue debido a que el tanque no se encontraba en el subsuelo, sino colocado sobre la superficie, lo que pudo afectar la temperatura del tanque. Flores (2023), en su estudio en invernadero, reportó un comportamiento similar con una temperatura mínima registrada de 12,65 °C en los meses de febrero a abril.

## 5.2. Variables agronómicas

Se registraron datos de las siguientes variables agronómicas: número de hojas, número de flores, número de frutos, peso de frutos, diámetro de frutos, grados Brix del fruto, peso seco del fruto, peso seco de la parte aérea y peso seco de la raíz.

### 5.2.1. Número de hojas

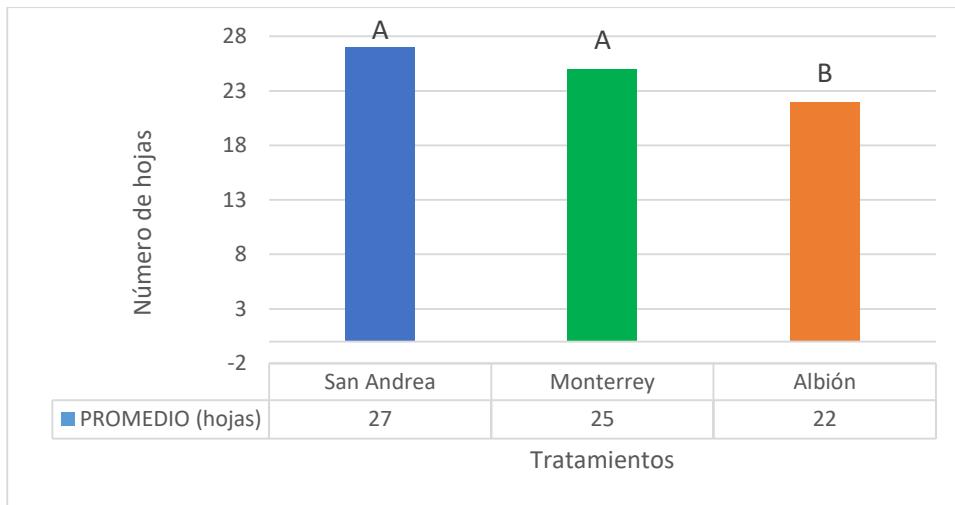
El análisis de varianza (Cuadro 10), se observó diferencias altamente significativas ( $p = 0,0004$ ), con respecto al número de hojas por planta, con un valor de  $F = 13,57$ . El coeficiente de variación fue de 6,78%, lo que indica la confiabilidad de los datos obtenidos. El promedio total fue de 24,66. Estos resultados indican que los tratamientos tienen un efecto sobre la producción de hojas bajo el sistema hidropónico NFT.

**Cuadro 10. Análisis de varianza (ANVA) para el número de hojas.**

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Variedad	2	76,00	38,00	13,57	0,0004 **
Error	15	42,00	2,80		
Total	17	118,00			
Promedio (número)	24,66				
CV	6,78%				

\*\*:  $p < 0,01$  (altamente significativo)

En la Figura 11, se presenta el análisis comparativo de medias mediante la prueba de Duncan con  $\alpha = 0,05$ . Los resultados muestran que existen diferencias significativas entre los dos grupos. El primer grupo, conformado por las variedades San Andrea y Monterrey, no mostró diferencias estadísticas entre sí, con promedios de 27 y 25 hojas por planta, respectivamente. A diferencia del segundo grupo conformado por la variedad Albión que obtuvo un promedio de 22 hojas por planta, siendo diferente al primer grupo. Esta menor producción de hojas de Albión podría estar relacionada con su crecimiento vegetativo inicial lento a comparación de San Andrea y Monterrey.



**Figura 11. Prueba de Duncan para número de hojas.**

El primer grupo conformado por San Andrea y Monterrey no presentó diferencias estadísticas entre sí, lo que indica que ambas variedades tienen mejor crecimiento vegetativo bajo el sistema hidropónico NFT durante los primeros tres meses. Por otro lado, Albión tuvo un menor número de hojas en el sistema NFT, con diferencias de 5 y 3 hojas respecto a San Andrea y Monterrey, respectivamente. Esta situación puede atribuirse a su comportamiento vegetativo lento y la necesidad de mayor cantidad de radiación solar, lo cual limitó su crecimiento de hojas al inicio. Aunque las tres variedades no mostraron una gran diferencia numérica, se demuestra que las tres variedades tienen capacidad de adaptación al sistema NFT, pero San Andrea y Monterrey alcanzaron más rápidamente el número de hojas considerado óptimo para el inicio de la producción.

Bajo el sistema hidropónico NFT se observó que la variedad San Andrea presentó el mayor número de hojas por planta con un promedio de 27 hojas, superando lo reportado por Mollisaca (2016), quien bajo el sistema hidropónico NGS obtuvo 20,7 hojas por planta,

lo cual demuestra que la variedad San Andrea tiene alta capacidad de crecimiento vegetativo en el sistema NFT y una buena adaptación en ambiente controlado. Así mismo, Zeist *et al.* (2019) mencionan que la capacidad de crecimiento vegetativo más acelerado de San Andrea podría traducirse en una mayor cantidad de hojas, mayor fotosíntesis y posiblemente una mayor producción de frutos. También Agrícola Llahuen (2017) indica que las variedades San Andrea y Monterrey presentan un crecimiento inicial rápido, por lo que el aumento de la concentración de nitrógeno favorece en su etapa vegetativa, mientras la variedad Albión se caracteriza por tener un tamaño de planta intermedio.

Beltrano y Gimenez (2015), señalan que el número de hojas se debe a la fácil absorción y asimilación del nitrógeno en sistemas hidropónicos, donde se mantiene un equilibrio de aniones y cationes dentro de la planta, que favorecen el crecimiento de las hojas. Es por ello que la variedad San Andrea presentó mayor cantidad de hojas bajo el sistema hidropónico NFT, el cual recircula continuamente la solución nutritiva y garantiza que las raíces dispongan siempre de agua, oxígeno y nutrientes en la cantidad y forma requerida para su desarrollo (INTAGRI, 2018). Asimismo, Mejia (2023) destaca que este sistema en ambiente atemperado, mejora el crecimiento de la planta, protege contra las plagas y enfermedades y evita daños en las hojas, debido al riego se aplica directo a las raíces.

### **5.2.2. Número de flores**

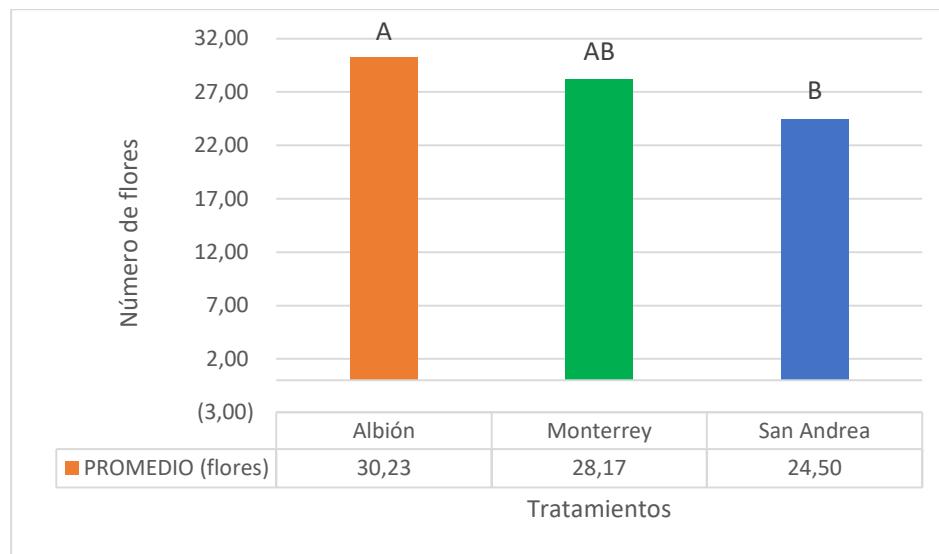
En el análisis de varianza (ANVA) como se presenta Cuadro 11, para la variable número de flores por planta se muestra que la variedad tuvo un efecto significativo con un valor de  $F = 4,04$  y una probabilidad de ( $p = 0,0395$ ) lo que indica diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos. El coeficiente de variación fue de 12,79% y el promedio total del número de flores por planta fue de 27,63, lo cual nos indica que las variedades bajo el sistema hidropónico NFT tienen una buena capacidad para producir flores en cantidad.

**Cuadro 11. Análisis de varianza para el número de flores.**

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Variedad	2	100,91	50,46	4,04	0,0395 *
Error	15	197,45	12,50		
Total	17	288,36			
Promedio (número)		27,63			
CV		12,79%			

\*:  $p < 0,05$  (significativo)

En la prueba de Duncan al 5% (Figura 12), se observaron diferencias significativas entre los dos grupos estadísticos. El primer grupo, conformado por la variedad Albión junto con Monterrey no mostraron diferencias estadísticas en el número de flores por planta, destacando con un promedio de 30,23 y 28,17 flores respectivamente. El segundo grupo estuvo conformado por la variedad San Andrea, que mostró un promedio de 24,50 flores por planta. Aunque San Andrea fue significativamente diferente de Albión, no hubo diferencias estadísticas con Monterrey, ubicándose en los dos grupos. Estos datos muestran que la variedad Albión alcanzó la mayor cantidad de flores en el sistema hidropónico NFT a diferencia de San Andrea, en tanto que Monterrey ocupó una posición intermedia, siendo más cercana a Albión que a San Andrea.



**Figura 12. Prueba de Duncan para número de flores.**

La diferencia entre los dos grupos identificados fue más amplia entre las variedades Albión y San Andrea, y no así Monterrey que se ubicó entre ambos grupos siendo más cercana a Albión, con una diferencia numérica de 2,06 flores por planta. Según Chiomento *et al.* (2020), en sistemas de cultivo tradicional un mayor número de flores está relacionado con un sistema radicular más desarrollado, lo que se podría atribuir al mayor número de flores que obtuvieron Albión y Monterrey ante San Andrea.

En la presente investigación, Albión alcanzó un promedio de 30,23 flores por planta, esto se puede relacionar con la característica de variedad de día neutro y con su capacidad para mantener una floración continua bajo ambiente atemperado y nutrición (Park *et al.*, 2023). De manera similar, Garcés (2022) reportó que en sistemas semi-hidropónicos con

sustrato de algas y antagonistas microbianos se obtuvo una mayor cantidad de flores a diferencia de Monterrey y San Andrea, mientras que Riofrio *et al.* (2023) señalan que la aparición de flores está asociada con la resistencia y adaptabilidad de cada variedad a las condiciones ambientales. Además, Mejia (2023) destaca que el desarrollo radicular y el manejo del sistema hidropónico NFT, como pH, conductividad eléctrica y temperatura, influyen directamente en el desarrollo de flores. Esto respalda los resultados obtenidos, ya que Albión mostró un sistema radicular más desarrollado, lo que permitió una mejor absorción de la solución nutritiva, lo que favoreció a su mayor número de flores.

La variedad Monterrey presentó 28,17 flores por planta, mostrando un comportamiento intermedio, pero cercana a Albión, con la que comparte características de alta floración. Este resultado se relaciona con los días de floración, ya que una aparición más rápida suele ser mayor número de flores. Esto concuerda con los datos obtenidos por Huacon (2020), quien observó que Monterrey fue similar a Albión al posicionarse como segunda variedad con mayor aparición de floración en el sistema hidropónico NFT piramidal, lo que sugiere que Monterrey se adapta a este sistema hidropónico al igual que Albión, aunque podría requerir ajustes nutricionales para maximizar su floración.

Por otra parte, San Andrea obtuvo la menor cantidad de flores bajo el sistema NFT, este resultado podría ser debido a que esta variedad prioriza más el crecimiento vegetativo antes que la floración. Flores (2023), evidenció que la interacción entre sistema y variedad influye en el número de flores, lo que respalda los resultados obtenidos en la presente investigación. Aunque San Andrea no alcanza su alto potencial de floración bajo el sistema NFT, en otros sistemas hidropónicos podría alcanzar una mayor floración.

### **5.2.3. Número de frutos**

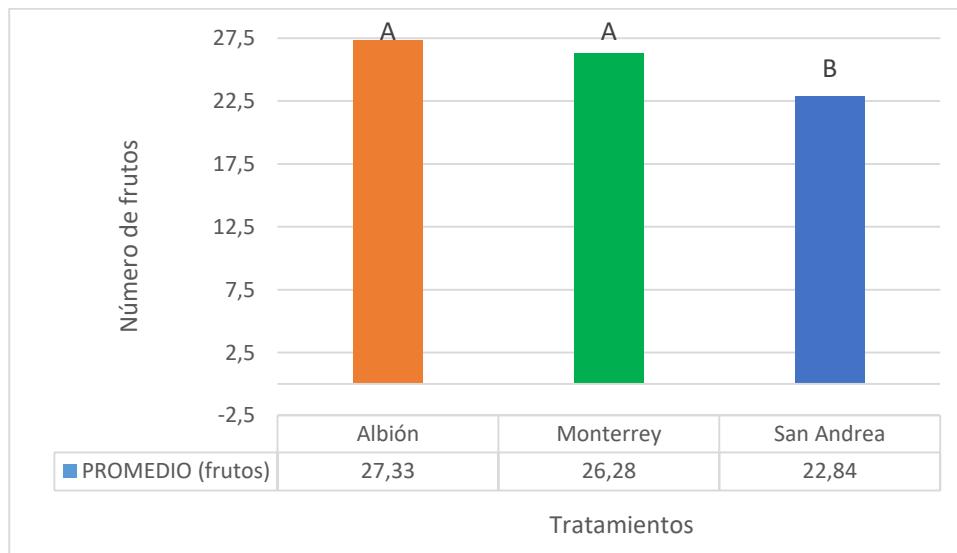
En el Cuadro 12, se muestra el análisis de varianza (ANVA) para el número de frutos por planta, donde indica que la variedad tuvo un efecto altamente significativo sobre esta variable, con un valor de  $F = 7,94$  y una probabilidad de  $p = 0,0044$ , lo que muestra diferencias estadísticas claras entre las variedades ( $p < 0,01$ ). El coeficiente de variación fue de 8,02%, obteniendo confiabilidad de datos tomados y un manejo aceptable de las unidades experimentales durante la investigación bajo el sistema hidropónico NFT en ambiente atemperado. El promedio total fue de 25,48 frutos por planta.

**Cuadro 12.** Análisis de varianza para el número de frutos.

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Variedad	2	66,43	33,21	7,94	0,0044 **
Error	15	62,72	4,18		
Total	17	129,14			
Promedio (número)	25,48				
CV	8,02%				

\*\*: p < 0,01 (altamente significativo)

En la Figura 13, se presenta el análisis mediante la prueba de Duncan con un nivel de significancia al 5%, en el que se identificaron dos grupos significativamente diferentes. El primer grupo conformado por las variedades Albión y Monterrey que alcanzaron el mayor número de frutos por planta bajo el sistema hidropónico NFT, con promedios de 27,33 y 26,28 frutos por planta respectivamente y sin diferencia estadística entre ellas, mientras la variedad San Andrea registró un promedio de 22,84 frutos por planta, lo que indicó un número de frutos inferior a las otras variedades. Estos dos grupos identificados reflejan que en condiciones del sistema hidropónico NFT, las variedades Albión y Monterrey mostraron un mayor número de frutos por planta a comparación de San Andrea.

**Figura 13. Prueba de Duncan para el número de frutos.**

Entre los dos grupos identificados, las variedades Albión y Monterrey mostraron el mejor desempeño en cuanto al número de frutos por planta, con una diferencia mínima de 1,05 frutos, lo que indica que estas variedades tuvieron un buen comportamiento productivo

bajo el sistema hidropónico NFT siendo Albión la variedad con más frutos con un promedio de 27,33. Esto coincide con Riofrio *et al.* (2023), quienes mencionaron que el aumento en el número de flores está relacionado con la cantidad de frutos obtenidos, lo cual representa un resultado favorable para el productor, dado que estas dos variedades alcanzaron tanto la mayor cantidad de flores como de frutos.

Los resultados de este trabajo de investigación coinciden con Huacon (2020), quien indicó que la variedad Albión alcanzó el mayor número de frutos por planta, seguida de Monterrey y San Andrea, en un ciclo de producción de 60 días después del trasplante. Lo que demuestra la alta capacidad de producción de frutos de Albión y Monterrey bajo condiciones de nutrición y disponibilidad del agua constantes, características que brindan los sistemas hidropónicos de agua. De igual forma, Mejia (2023) en su estudio en Colombia comparó Albión en sistema NFT con el cultivo en suelo, encontrando un mayor número de frutos en NFT, lo que confirma la viabilidad de este sistema para esta variedad.

Rozbiany y Taha (2023), demostraron que un fotoperíodo adecuado incrementa el número de frutos y el potencial productivo en ambientes controlados, mientras que Thiesen *et al.* (2018) destacan que un sistema radicular más extenso mejora la absorción de nutrientes, lo que beneficia directamente la producción de frutos. En la presente investigación, las variedades Albión y Monterrey mostraron mayor desarrollo de raíces secundarias, siendo Albión la que presentó mayor alargamiento y aumento de raíz, lo que explica según estos autores, su alto potencial y menor producción de frutos no comerciales. Además, la densidad y el espaciado de las plantas influyen en la disponibilidad de luz, agua y nutrientes, factores que afectan el crecimiento de frutos y producción (Martins *et al.*, 2021).

#### **5.2.4. Peso de fruto**

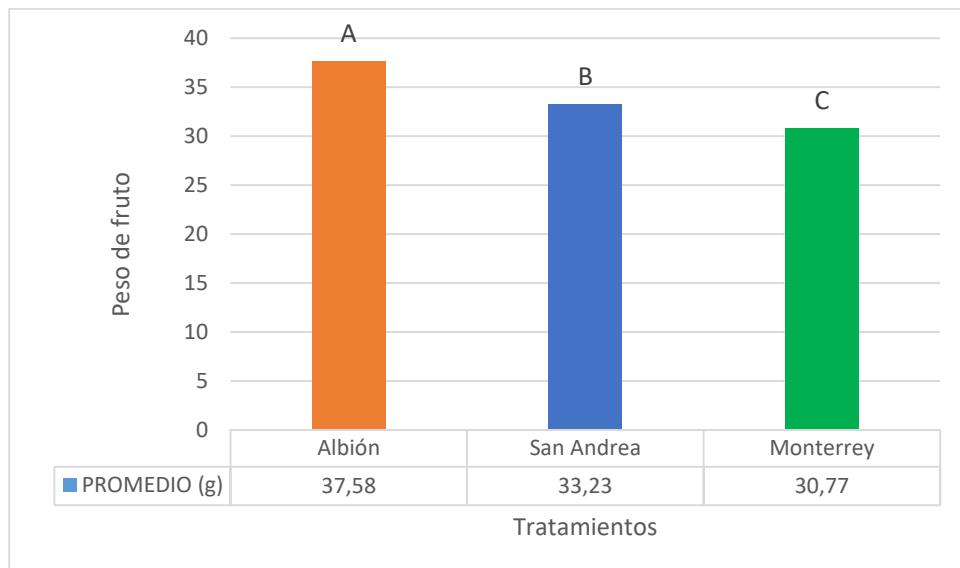
El análisis de varianza (Cuadro 13) para el peso del fruto indica que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos con una probabilidad de  $p = 0,0001$  y con un valor F de 19,99. El coeficiente de variación fue de 5,58 %, lo que presenta una excelente confiabilidad experimental y un control adecuado de las condiciones del sistema hidropónico NFT. El promedio total del peso de fruto por planta fue de 33,8 gramos. Estos resultados mostraron que las variedades influyeron de manera significativa en el tamaño del fruto.

**Cuadro 13.** Análisis de varianza para el peso de fruto.

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Variedad	2	142,63	71,31	19,99	0,0001 **
Error	15	53,51	3,57		
Total	17	196,14			
Promedio (g)		33,85			
CV		5,58%			

\*\*: p < 0,01 (altamente significativo)

En la variable peso de fruto por planta se observan tres grupos significativamente diferentes mediante la prueba de Duncan (Figura 14). El primer grupo corresponde a la variedad Albión, que alcanzó el mayor promedio de peso de fruto fresco con 37,58 gramos siendo diferente a los demás grupos. San Andrea se ubicó en el segundo grupo con un promedio de 33,23 gramos por planta, siendo inferior a Albión, pero superior a Monterrey que quedó en el tercer grupo con un promedio de 30,77 gramos, siendo la variedad con menor peso de fruto por planta. Estos resultados demuestran que la variedad Albión presentó un aumento en el peso de fruto bajo condiciones del sistema hidropónico NFT, lo que la convierte en una variedad apta para este sistema.

**Figura 14. Prueba de Duncan para peso de fruto.**

Los datos obtenidos muestran que bajo el sistema hidropónico NFT, la variedad Albión obtuvo el mayor peso de fruto, con un promedio de 37,58 gramos por planta y una diferencia amplia frente a las demás variedades. Esto indica que el peso del fruto en este

sistema está influenciado por el comportamiento y factores fisiológicos de cada variedad. Ledesma y Kawabata (2016) planteó que la frutilla responde negativamente al estrés térmico, el cual afecta el crecimiento reproductivo, afectando el cuajado de frutos, aborto de flores y reducción de los frutos, especialmente a temperaturas  $> 30^{\circ}\text{C}$ . Por lo tanto, Albión mantuvo un mayor peso de fruto en condiciones de estrés térmico, dado que se registraron temperaturas superiores a  $35^{\circ}\text{C}$  en el ambiente atemperado.

En cuanto a las variedades San Andrea y Monterrey mostraron un comportamiento diferente a Albión, mientras esta se mantuvo con una producción constante tanto de número como en peso de frutos, Monterrey presentó un mayor número de frutos, pero un menor peso, priorizando cantidad sobre tamaño, en cambio, San Andrea produjo menos frutos, pero de mayor peso. Este patrón es similar al concepto de *trade-off* descrito por Morgan (1993), donde no se puede maximizar al mismo tiempo el número y tamaño de frutos, sin que uno aumente y el otro reduzca. Fischer *et al.* (2012), destacan que para el desarrollo del fruto se deben considerar factores de variedad, ambientales, hormonales y nutricionales, que influyen en la producción de flores y en la calidad y cantidad final de frutos. Además, los fotoasimilados están presentes en la formación y desarrollo del fruto.

De acuerdo con Flores (2023), en sistema hidropónico NFT la frutilla alcanza un peso de 49,27 gramos por planta, este dato es superior a lo obtenido por la variedad Albión, aunque las diferencias pueden atribuirse a las condiciones ambientales, manejo agronómico y la solución nutritiva utilizada. Sin embargo, fueron superiores a los de Mejia (2023), quien obtuvo un peso promedio de 16,6 gramos por planta. Esta diferencia amplia está relacionada con la solución nutritiva, ya que Mejia aplicó una sola formulación durante todo el ensayo. Por su parte, Huacón (2020) durante 60 días observó que Albión alcanzó el mayor peso promedio, mientras que San Andrea presentó menor peso de fruto.

#### **5.2.5. Diámetro de fruto**

En el Cuadro 14, se presenta el análisis de varianza (ANVA) para el diámetro de fruto, donde muestra que las variedades tuvieron un efecto altamente significativo sobre la variable, con un valor de  $F = 36,27$  y muestra que entre los tratamientos existe diferencias altamente significativas, con una probabilidad de  $p = 0,0001$ . El coeficiente de variación (CV) fue de 3,23%, donde indica una alta confiabilidad de los datos obtenidos y un control adecuado de las condiciones de la investigación. El promedio del diámetro de fruto que se obtuvo fue de 4,24 centímetros entre las variedades, lo que representa un buen desarrollo

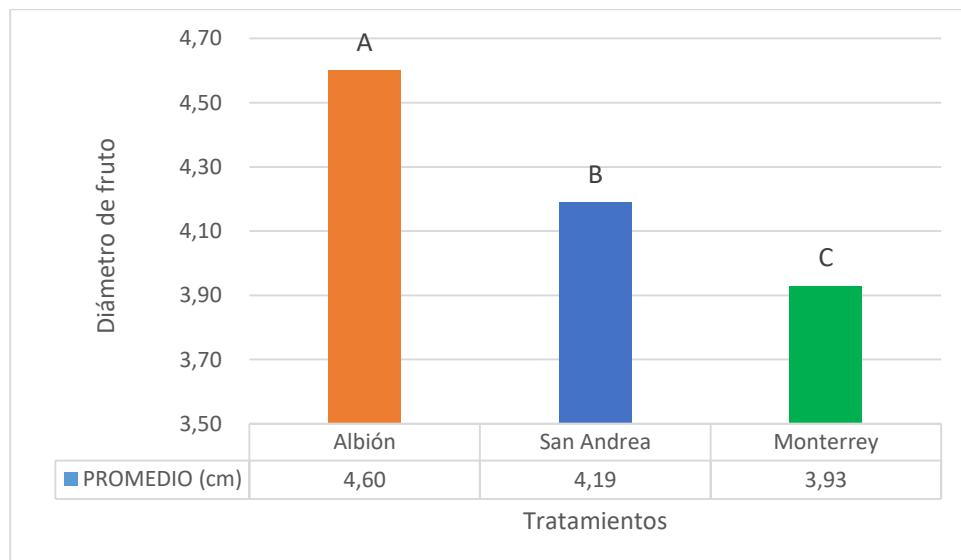
del tamaño de fruto en las tres variedades evaluadas bajo el sistema hidropónico NFT en ambiente atemperado.

**Cuadro 14. Análisis de varianza para el diámetro de fruto.**

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Variedad	2	1,36	0,68	36,27	<0,0001 **
Error	15	0,28	0,02		
Total	17	1,64			
Promedio (cm)		4,24			
CV		3,23%			

\*\*: p < 0,01 (altamente significativo)

En la Figura 15, el análisis de comparación de medias mediante la prueba de Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) para el diámetro del fruto por planta, donde muestran tres grupos significativamente diferentes. La variedad Albión identificada como el primer grupo obtuvo un alto promedio de 4,60 cm por planta, lo que indica que produce frutos más anchos. El segundo grupo es la variedad San Andrea que registró un promedio intermedio con 4,19 cm. Finalmente el grupo tres Monterrey clasificando como la variedad con frutos menos anchos con un promedio de 3,93 cm. Estos resultados indican que existe una diferencia entre los tratamientos en cuanto al diámetro de fruto, lo que sugiere que la variedad Albión tiene un buen desarrollo bajo el sistema de producción NFT, obteniendo frutos con mayor grosor.



**Figura 15. Prueba de Duncan para diámetro de fruto.**

Los resultados obtenidos pueden estar influenciados por la variedad, las condiciones del cultivo y el uso de nutrientes en el sistema hidropónico NFT, que favorece el transporte continuo de agua y sales minerales hacia los órganos de reserva y crecimiento. De acuerdo con los datos obtenidos en la presente investigación, la variedad Albión presentó el mayor diámetro del fruto por planta, con un promedio de 4,60 cm, lo cual es superior comparado con el estudio de Ccahuana (2019) quien obtuvo un diámetro de 4,0 cm bajo sistema NFT con solución de Steiner combinada con microorganismos eficientes y humus de lombriz. Paikra *et al.* (2020) indicaron que, en ambientes protegidos con temperatura óptima, el diámetro puede alcanzar 4,19 cm, dado que en invernadero mejora el tamaño del fruto y protege contra bajas temperaturas.

Estos estudios confirman que Albión tiene un alto potencial en sistemas hidropónicos de raíz desnuda para producir frutos con hombros más anchos y mantener un crecimiento uniforme aún bajo condiciones ambientales inestables. Así mismo, su rendimiento puede ser favorable incluso con soluciones orgánicas y ambientes controlados con los requerimientos adecuados, esta variedad podría maximizar no solo el diámetro del fruto sino también su calidad, convirtiéndose en una opción recomendable para obtener frutos grandes y de buen calibre en sistemas hidropónicos de agua.

Los resultados de la presente investigación superan con lo reportado por Huacon (2020), quien registró un diámetro de 4,02 cm para Albión, con Monterrey superando ampliamente a San Andrea bajo el sistema NFT a raíz desnuda. La diferencia de 0,41 cm entre San Andrea y Monterrey en la presente investigación se explica, según Silva *et al.* (2024) porque San Andrea muestra un comportamiento más vegetativo y un equilibrio entre tamaño y peso del fruto, logrando buen calibre cuando el ambiente es adecuado. Este autor también menciona que las variedades de día neutro presentan mayor rendimiento con buen tamaño y firmeza del fruto si la temperatura es óptima y el sistema de cultivo favorece la absorción de nutrientes.

#### **5.2.6. Grados Brix de fruto**

El análisis de varianza (ANVA) para la variable grados Brix del fruto (Cuadro 15), muestra un efecto altamente significativo de las variedades sobre esta variable, con un valor de  $F = 139,67$  y  $p < 0,0001$ , lo que significa que las diferencias estadísticas son significativamente altas entre las variedades evaluadas. El coeficiente de variación fue de 1,52%, lo que muestra una excelente confiabilidad de los datos y resultados obtenidos

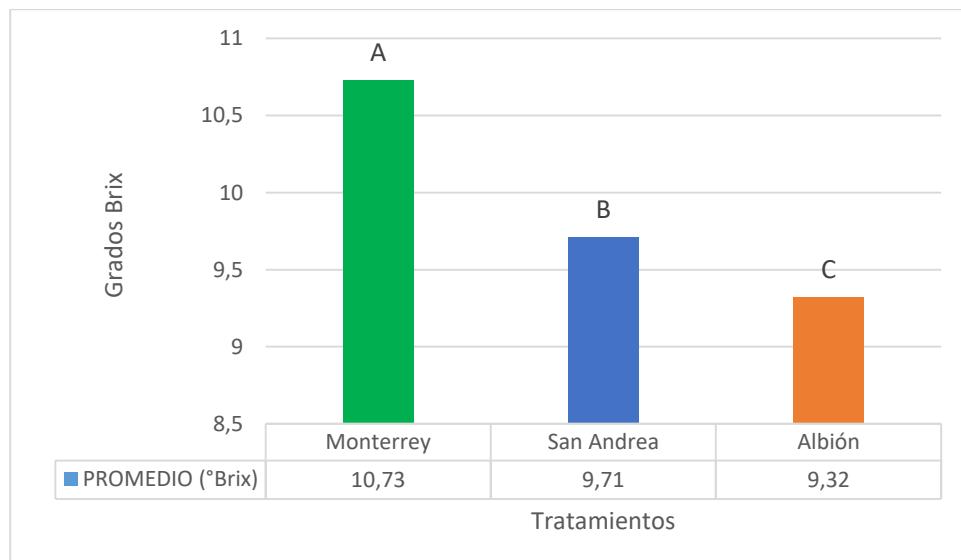
bajo el sistema hidropónico NFT. El promedio de sólidos solubles totales fue de 9,92 °Brix, lo que indica un contenido de azúcar adecuado para el consumo en fruto fresco.

**Cuadro 15. Análisis de varianza (ANVA) para grados Brix.**

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Variedad	2	6,36	3,18	139,67	<0,0001 **
Error	15	0,34	0,02		
Total	17	6,70			
Promedio (°Brix)					9,92
CV					1,52%

\*\*: p < 0,01 (altamente significativo)

La prueba de comparación de medias de Duncan con un nivel de significancia al 5% (Figura 16), muestra diferencias significativas entre los tres grupos identificados. Donde el primer grupo representada por la variedad Monterrey obtuvo un alto contenido de sólidos solubles con un promedio de 10,73 °Brix, seguido del segundo grupo conformado por la variedad San Andrea con 9,71 °Brix y por último el grupo tres de la variedad Albión que registró el menor promedio de dulzor con 9,32 °Brix. Estos resultados muestran que existen diferencias entre las variedades bajo el sistema hidropónico NFT, donde Monterrey tuvo un comportamiento destacable por ofrecer frutos con mayor cantidad de azúcar, lo que puede ser una ventaja en el mercado local.



**Figura 16. Prueba de Duncan para grados Brix de fruto.**

El primer grupo, conformado por la variedad Monterrey alcanzó el mayor contenido de sólidos solubles con 10,73 °Brix, lo que indica un mayor dulzor del fruto bajo condiciones del sistema hidropónico NFT. Este resultado podría deberse a sus características de producción de frutos grandes y de buen sabor en invernaderos y a temperaturas bajas, lo que la convierte en una variedad con alto contenido de azúcar para sistemas hidropónicos (Bronwyn, 2023). Asimismo, Ibadango (2017), menciona que Monterrey obtuvo la mayor cantidad de °Brix en sistema hidropónico, seguida de San Andrea y por último Albión, lo cual comprueba los datos de la presente investigación.

La variedad San Andrea presentó un contenido de azúcar menor que Monterrey, pero mayor que Albión, lo que sugiere que podría mantener un equilibrio entre el peso y calidad del fruto al distribuir los nutrientes por igual bajo condiciones del sistema NFT. En cambio, Albión mostró un contenido de azúcar más bajo, lo que podría priorizar más el número y calibre del fruto antes que el dulzor. Esta relación entre nutriente y variedad coincide con lo señalado por Preciado *et al.* (2020), quienes destacan que un aumento en la concentración de nitrógeno favorece el rendimiento, mientras que concentraciones más altas de potasio mejoran la calidad del fruto, expresada en grados Brix. Esto demuestra que tanto la variedad como el manejo de la solución nutritiva influyeron en la acumulación de azúcares en el fruto bajo el sistema hidropónico NFT.

Marcellini *et al.* (2023), destacan que el contenido de azúcar depende de la variedad y la disponibilidad de agua, sugiriendo que el riego no debe exceder para obtener un mayor dulzor del fruto. Así también Pérez (2020), reportó que la frutilla en sistema recirculante NFT alcanza 8,4 °Brix, cercanos al riego por goteo pero usando menos agua al ser un sistema cerrado. Aunque el sistema NFT en el estudio de Pérez no presentó altos contenido de azúcar a diferencia del riego por goteo, en la presente investigación la variedad Monterrey alcanzó 10,73 °Brix, lo que confirma que bajo un manejo adecuado de este sistema puede producir frutos con un dulzor aceptable para el mercado.

La variedad Monterrey mostró un rendimiento menor, pero alcanzó un mayor contenido de azúcar (10,73 °Brix), esta diferencia podría deberse a que, al producir frutos de menor tamaño, los nutrientes se concentran más en cada fruto, aumentando así su dulzura. Además, el sistema hidropónico NFT ayuda a la absorción de nutrientes, lo que permite un mayor dulzor en el fruto, aunque con un menor rendimiento, tal como mencionan Hutchinson *et al.* (2025).

### 5.2.7. Peso seco de fruto

En el Cuadro 16, se presenta el análisis de varianza para la variable peso seco de fruto donde muestra diferencias altamente significativas entre las variedades evaluadas, con  $F = 115,56$  y  $p < 0,0001$ , lo cual indica que las variedades tienen una influencia alta sobre el peso seco de fruto. El coeficiente de variación fue de 6,78%, que muestra una buena confiabilidad en los datos obtenidos durante la producción bajo el sistema hidropónico NFT. El promedio que se obtuvo fue de 2,86 gramos.

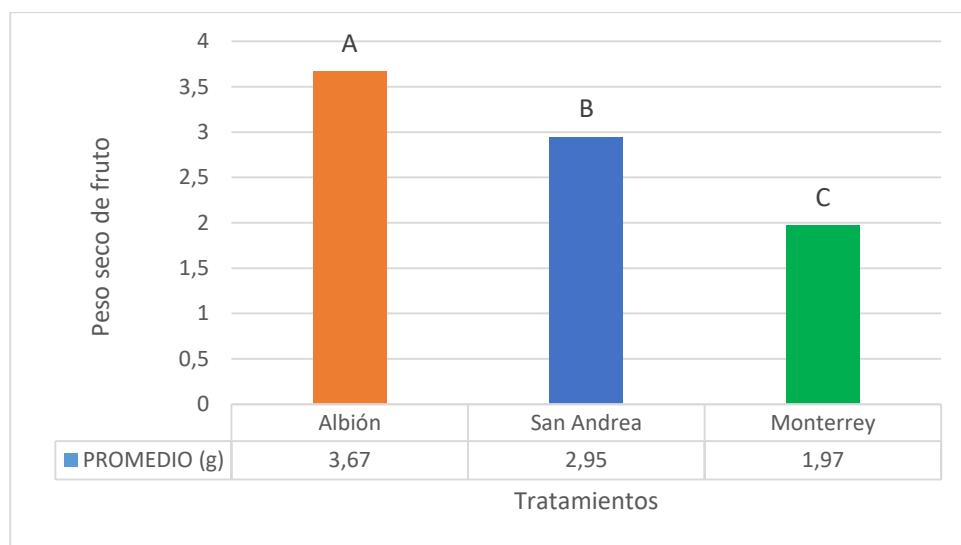
**Cuadro 16. Análisis de varianza para peso seco de fruto.**

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Variedad	2	8,72	4,36	115,56	<0,0001 **
Error	15	0,57	0,04		
Total	17	9,29			
Promedio (g)		2,86			
CV		6,78%			

\*\*:  $p < 0,01$  (altamente significativo)

En la Figura 17, se observan los datos obtenidos mediante la prueba de Duncan en donde se identificaron tres grupos totalmente diferentes para el peso seco del fruto. El primer grupo clasificado como la variedad que obtuvo mayor peso seco es Albión con un promedio de 3,67 gramos, lo que indica mayor acumulación de materia seca, en segundo grupo representada por la variedad San Andrea obtuvo un peso promedio de 2,95 gramos y por último tenemos al tercer grupo identificado por la variedad Monterrey que registró el menor peso seco con un promedio de 1,97 gramos. Estos resultados demuestran que Albión destacó tanto en la producción de frutos frescos como en su capacidad para acumular materia seca bajo el sistema hidropónico NFT. En cambio, Monterrey presentó el peso fresco y seco más bajos, lo que podría indicar menor acumulación.

En la presente investigación, la variedad Albión logró el mayor promedio de peso seco de fruto bajo el sistema hidropónico NFT, con 3,67 g. Este valor es similar a lo reportado por Hutchinson *et al.* (2025), quienes evaluaron cuatro sistemas de producción sin suelo, aunque no estudiaron las mismas tres variedades, encontraron que en sistema NFT la biomasa seca total de frutos por planta para la variedad de día neutro puede llegar hasta 4 gramos, lo que confirma la capacidad de Albión para acumular materia seca bajo el sistema hidropónico NFT.



**Figura 17. Prueba de Duncan para peso seco de fruto.**

De acuerdo con Ariza *et al.* (2021), las diferencias en la acumulación de la materia seca en fruto entre los tres grupos identificados están determinadas por la genética y su capacidad para distribuir los fotoasimilados, de manera que algunas concentran mayor biomasa seca en el fruto que otras. Por otra parte, Ferreira *et al.* (2019) observaron que Albién y San Andrea mantienen mayor peso fresco bajo condiciones de salinidad, lo que refleja su capacidad en el uso de nutrientes y agua de la solución nutritiva. Estos resultados podrían estar relacionado con la acumulación de materia seca, ya que en la presente investigación ambas variedades presentaron mayor peso fresco, así como peso seco del fruto en comparación con Monterrey bajo condiciones del sistema NFT.

Según Abdallah (2015), la reducción del peso seco de frutos, así como de su calidad puede estar asociada a una baja concentración de nutrientes en la solución nutritiva, junto con condiciones de temperatura baja, alta humedad, baja radiación solar y poca circulación de aire. Esto podría explicar el menor peso seco de la variedad Monterrey que bajo estas condiciones ambientales que se presentó en el ambiente atemperado redujo su capacidad de acumular materia seca en el fruto.

#### 5.2.8. Peso seco de la parte aérea

El análisis de varianza (Cuadro 17), para la variable peso seco de la parte aérea (peciolo y hojas), muestra que existe diferencia altamente significativa entre las variedades evaluadas, con una  $p = 0,0017$  y un valor de  $F = 10,11$ , lo cual significa que las

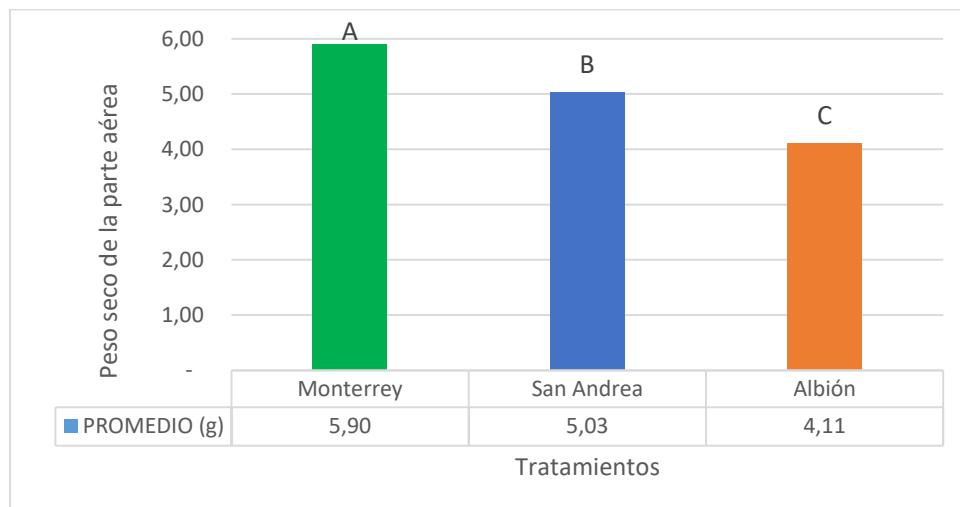
diferencias entre variedades son mucho más amplias que las diferencia entre planta. El coeficiente de variación fue de 13,79%, lo cual indica que los datos obtenidos son homogéneos y confiables en cuanto al peso seco de la parte aérea bajo el sistema hidropónico NFT. El promedio total obtenido fue de 5,01 gramos, lo que representa el valor medio de peso seco aéreo en todas las variedades. Estas diferencias obtenidas pueden ser por las características de cada variedad y el manejo agronómico.

**Cuadro 17. Análisis de varianza para peso seco de la parte aérea.**

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Variedad	2	9,65	4,83	10,11	0,0017 **
Error	15	7,16	0,48		
Total	17	16,81			
Promedio (g)		5,01			
CV		13,79%			

\*\*: p < 0,01 (altamente significativo)

El análisis para el peso seco de la parte aérea mediante la prueba de Duncan (Figura 18), muestran que existen tres grupos significativamente diferentes. El primer grupo representada por la variedad Monterrey es la que alcanzó el mayor promedio con 5,90 gramos, lo que indica que esta variedad superó a las demás por mucho, mientras el segundo grupo conformada por la variedad San Andrea fue la que presentó un promedio intermedio con 5,03 gramos y el tercer grupo identificado con un menor promedio de peso seco es Albión con 4,11 gramos.



**Figura 18. Prueba de Duncan para peso seco de la parte aérea.**

Los resultados obtenidos de la prueba de Duncan muestran el comportamiento de las variedades en la acumulación de materia seca. Se observó que Monterrey presentó el mayor promedio de materia seca en la parte aérea y no así en el fruto, ya que registró el menor peso. San Andrea mostró un comportamiento intermedio en la acumulación de materia seca tanto en fruto como en parte aérea de la planta. Por último, Albión vemos que la mayor acumulación es en el fruto, ya que presentó el mayor peso seco en frutos, pero el menor peso en hojas y peciolos.

Hutchinson *et al.* (2025), evaluaron dos variedades en cuatro sistemas hidropónicos y encontraron que en sistema NFT, la biomasa seca en la variedad de día neutro fue muy baja entre 2 y 3 g, mientras que en sustrato alcanzó hasta 30 g. Estos datos son bajos a los obtenidos en la presente investigación, donde Monterrey, San Andrea y Albión registraron promedios de 5,9, 5,03 y 4,11 g de peso seco aéreo, respectivamente. Lo cual indica que las diferencias pueden estar relacionadas con la variedad, las condiciones ambientales y el manejo del sistema hidropónico. Aunque el sistema NFT no logró acumular mayor peso seco en el estudio de Hutchinson, la variedad Monterrey mostró buena acumulación de materia seca en hojas y pecíolo durante todo el ciclo de producción. Por otra parte, Alves *et al.* (2021) señalan que la biomasa seca no depende mucho del sistema utilizado, lo refuerza el comportamiento de la variedad.

Según Li *et al.* (2025), la combinación adecuada de agua, nitrógeno y potasio en diferentes etapas del cultivo influye directamente en el peso seco. En la cosecha, el riego y niveles altos de nitrógeno y potasio favorece la mayor acumulación seca en hojas, ya que el potasio ayuda a conservar la biomasa foliar al mantener la fotosíntesis y el transporte de carbohidratos, junto con un manejo adecuado se asegura el desarrollo óptimo de hojas durante todo el ciclo. Esto respalda que el manejo de la solución nutritiva en el sistema NFT, junto con el comportamiento de las variedades, explica las diferencias altamente significativas observadas en el ANVA para el peso seco de la parte aérea.

### **5.2.9. Peso seco de la raíz**

El análisis de varianza (ANVA) como se muestra en el Cuadro 18, presenta diferencias altamente significativas entre las variedades de frutilla con relación al peso seco de la raíz, con un valor de  $F = 262,06$  y una  $p < 0,0001$ , que indica un efecto considerable de las variedades evaluadas sobre el peso seco de la raíz. El coeficiente de variación fue de 18,40%, lo que indica una confiabilidad en los datos, con un promedio de 0,81 gramos, lo

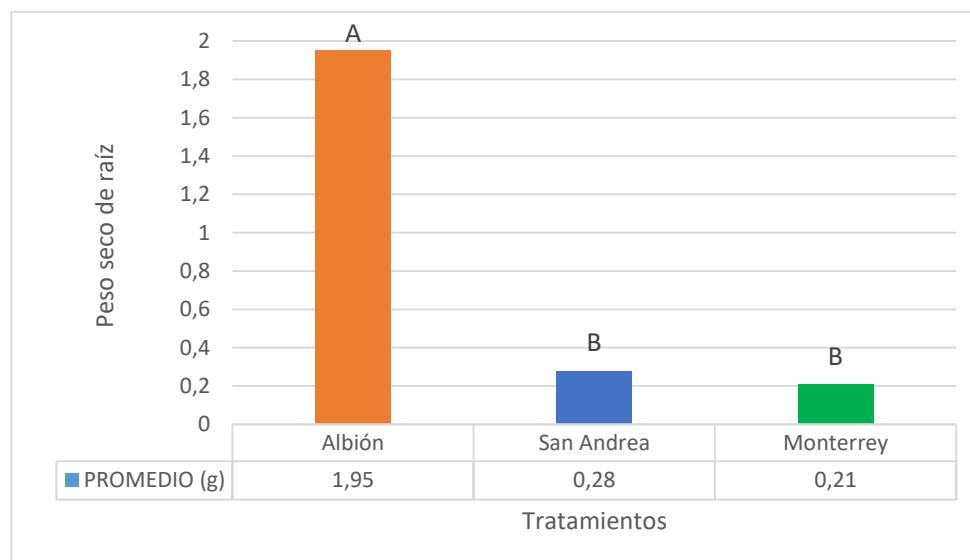
que representa la cantidad de materia seca acumulada en las raíces a lo largo del ciclo experimental. Estos resultados muestran que el comportamiento radicular varía entre variedades, lo cual está relacionado con la eficiencia en la absorción de nutrientes y agua de la solución nutritiva bajo el sistema hidropónico NFT.

**Cuadro 18. Análisis de varianza (ANVA) para peso seco de la raíz.**

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Variedad	2	11,64	5,82	262,06	<0,0001 **
Error	15	0,33	0,02		
Total	17	11,97			
Promedio (g)	0,81				
CV	18,40%				

\*\*: p < 0,01 (altamente significativo)

El análisis de comparación mediante la prueba de Duncan al nivel de significancia del 5% (Figura 19), se identificó dos grupos claramente diferentes. El primer grupo conformado por la variedad Albión que presentó el promedio más alto de peso seco de la raíz bajo el sistema hidropónico NFT con 1,95 gramos, mientras que el segundo grupo, integrado por las variedades San Andrea y Monterrey registraron promedios de 0,28 gramos y 0,21 gramos, respectivamente, sin diferencias significativas entre ellas. Esta alta diferencia entre los dos grupos podría estar relacionada con la mayor capacidad de desarrollo radicular de la variedad Albión, para acumular y absorber agua y nutrientes.



**Figura 19. Prueba de Duncan para peso seco de la raíz.**

Los resultados de las tres variedades, muestran diferencias muy marcadas entre los grupos identificados para el peso seco de la raíz. La variedad Albión destaca claramente al presentar diferencias de 1,67 gramos con San Andrea y 1,74 gramos con Monterrey, además de registrar el mayor peso seco del fruto. Este comportamiento evidencia su buen desempeño tanto en la producción como en el desarrollo radicular, indicando que Albión distribuye de manera eficiente la materia seca entre frutos y raíces en condiciones del sistema hidropónico NFT.

Por otro lado, las variedades San Andrea y Monterrey presentan sólo 0,07 gramos de diferencia en la acumulación de materia seca en la raíz, lo que demuestra un comportamiento similar bajo el sistema NFT. Sin embargo, San Andrea destaca por acumular de manera equilibrada materia seca en frutos, parte aérea y raíz, lo que la hace una variedad estable en la distribución de biomasa seca dentro de la planta. En cambio, Monterrey registró una menor acumulación de materia seca en raíz y fruto, pero la mayor en la parte aérea, lo que indica que, bajo condiciones del sistema NFT, prioriza la acumulación de peso seco en la parte vegetativa.

Poorter *et al.* (2012), señalan que la asignación de biomasa seca entre los órganos de la planta depende de las condiciones ambientales, como disponibilidad de agua, nutrientes, luz solar y temperatura, así como el tamaño de la planta, la genética y la competencia. De igual forma, Webler *et al.* (2024) destacan que en la variedad Albión, bajo fertirrigación en diferentes edades de la planta, la raíz no es el principal órgano para retener mayor peso seco al final del ciclo, aunque sí aporta a la biomasa total, demostrando su capacidad genética para mantener raíces activas incluso en etapa de productiva. Esto respalda lo observado en mi investigación, donde Albión acumuló mayor peso seco de raíz en comparación con las otras variedades, bajo las condiciones ambientales y el manejo del sistema hidropónico NFT.

Por su parte Li *et al.* (2025), en su estudio sobre la producción sostenible de frutillas sin suelo mediante la combinación óptima de agua, nitrógeno y potasio, evaluando tres etapas de crecimiento como plántula, floración y cosecha. En las fases de floración y cosecha registraron pesos más altos de 3,38 y 4,77 gramos con riego bajo y dosis media de nitrógeno y potasio, lo cual resultó en raíces más fuertes cuando se mantiene un equilibrio en la solución nutritiva.

### 5.3. Rendimiento de la frutilla

#### 5.3.1. Rendimiento de fruto por planta

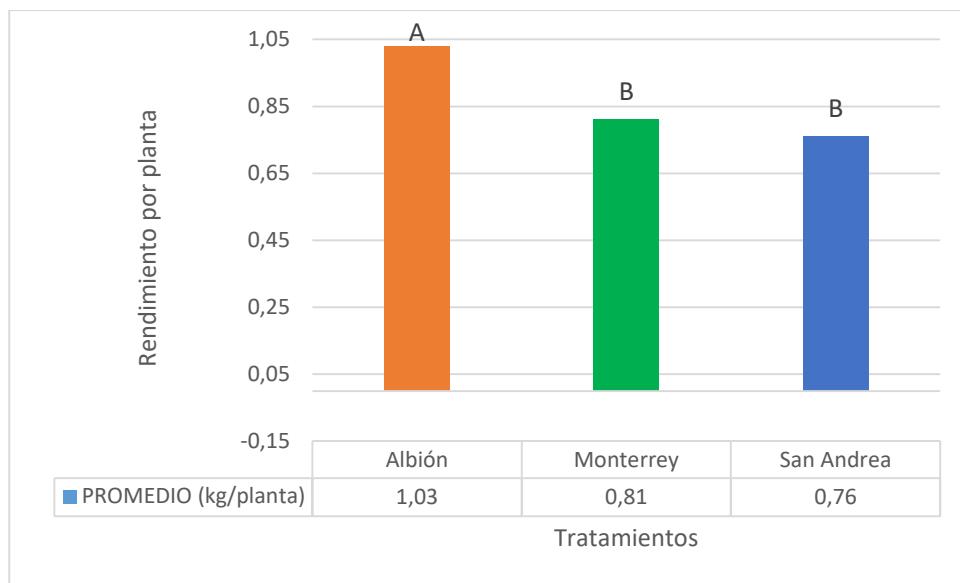
El análisis de varianza (ANVA) (Cuadro 19), presentó una probabilidad de  $p = 0,0001$  para el rendimiento de fruto por planta, lo que indica que existen diferencias altamente significativas entre las variedades en cuanto a su capacidad de producción. El valor de  $F = 17,97$  confirma que el factor variedad tuvo un efecto significativo sobre el rendimiento por planta. Estos resultados confirman la influencia significativa de la variedad en la productividad de frutos por tratamiento bajo el sistema hidropónico NFT en ambiente atemperado. El coeficiente de variación fue de 9,75%, lo que sugiere una buena confiabilidad de datos y un adecuado control de las condiciones del cultivo de frutilla.

**Cuadro 19. Análisis de varianza para el rendimiento de fruto por planta.**

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Variedad	2	0,26	0,13	17,97	0,0001 **
Error	15	0,11	0,01		
Total	17	0,36			
Promedio (kg/planta)	0,86				
CV	9,75%				

\*\*:  $p < 0,01$  (altamente significativo)

En la Figura 20 se presenta el análisis mediante la prueba de Duncan para el rendimiento de fruto por planta, identificando dos grupos significativamente diferentes. El primer grupo representado por la variedad Albión, con un rendimiento promedio de 1,03 kilogramos por planta destacando notablemente. El segundo grupo corresponden a las variedades Monterrey y San Andrea con promedios de 0,81 y 0,76 kilogramos por planta, respectivamente no existiendo una diferencia estadística entre ambas variedades. Estos resultados pueden atribuirse a las diferencias en el tamaño y peso de los frutos de cada variedad, siendo Albión la que desarrolló frutos más grandes y de mayor peso bajo el sistema hidropónico NFT, lo cual la clasifica como una opción agronómica adecuada para aumentar la producción en este sistema de cultivo. Aunque Monterrey y San Andrea comparten el mismo grupo existe una diferencia numérica de 50 gramos, lo cual nos dice que bajo el sistema hidropónico NFT tienen un comportamiento similar en el rendimiento por planta.



**Figura 20. Prueba de Duncan para rendimiento de fruto por planta.**

El primer grupo, conformado por la variedad Albión, presentó un mayor rendimiento de fruto bajo el sistema hidropónico NFT de 1,03 kg por planta. Lo cual supera a lo reportado por Miranda *et al.* (2014), quienes en sistema hidropónico cerrado en canales registraron un rendimiento de 684,4 g por planta, lo cual nos dice que en las condiciones ambientales y bajo el sistema NFT Albión respondió favorablemente en el rendimiento por planta.

De acuerdo con Abdallah (2015), la solución nutritiva es importante para la producción y calidad de los frutos, ya que altas concentraciones de nutrientes pueden dificultar la absorción de agua y causar estrés hídrico en condiciones de alta evapotranspiración. Mixquititla *et al.* (2020), también señalan que una nutrición adecuada en cada etapa del cultivo es fundamental, específicamente el potasio durante la fructificación, ya que influye mucho en el diámetro del fruto y el rendimiento de las frutillas cultivadas sin suelo. Esto podría explicar los resultados obtenidos en mi investigación, donde la variedad Albión mostró ventaja adaptativa bajo condiciones del ambiente atemperado y manejo de la solución nutritiva en el sistema NFT, alcanzando altos rendimientos, coincidiendo con Ferreira *et al.* (2019), quienes observaron que Albión y Monterrey mantuvieron altos rendimientos incluso con mayores niveles de conductividad eléctrica y salinidad.

Estos resultados sugieren que la variedad Albión aumenta su producción de frutos bajo el sistema hidropónico NFT, aun en condiciones ambientales poco favorables, mostrando una notable capacidad de adaptación y alcanzando el mayor rendimiento entre las

variedades evaluadas. A diferencia de San Andrea y Monterrey quienes presentaron un comportamiento intermedio, con rendimientos similares entre ellas y diferencias mínimas bajo el sistema hidropónico NFT, lo que indica que, aunque lograron adaptarse, no obtuvieron su mayor potencial productivo como Albión.

### **5.3.2. Rendimiento de fruto por metro cuadrado (kg)**

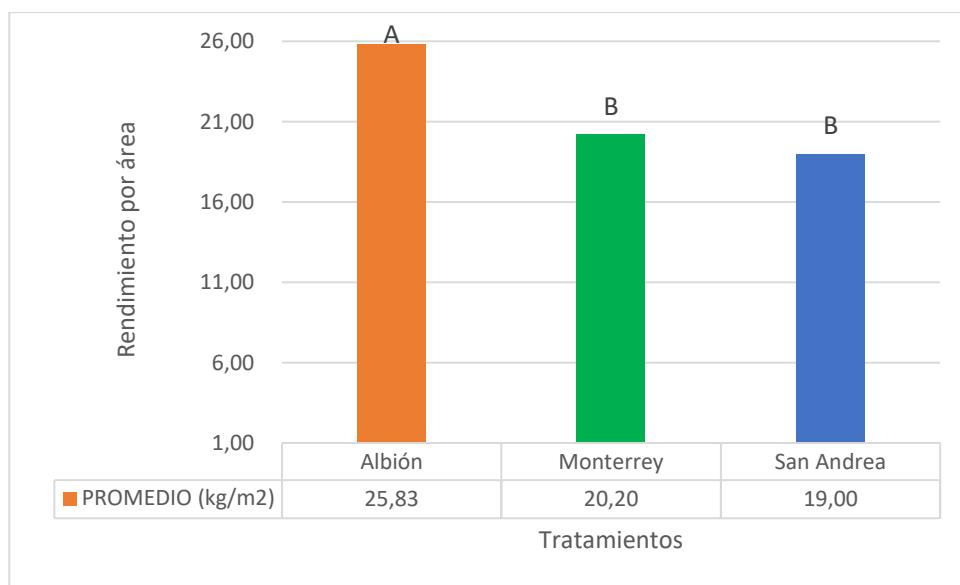
En análisis de varianza (ANVA) como se muestra en el Cuadro 20, se encontraron diferencias altamente significativas entre los tratamientos respecto al rendimiento de fruto por metro cuadrado, con una probabilidad de  $p = 0,0001$ , lo cual indica que la elección de la variedad influye directamente en el rendimiento bajo el sistema hidropónico NFT. El coeficiente de variación fue de 9,64%, lo que indica que los datos son confiables en las unidades experimentales. El promedio total del rendimiento fue de 21,67 kilogramos por metro cuadrado, lo cual es un dato importante para el sistema hidropónico NFT, que busca maximizar el uso del espacio y mejorar la producción por metro cuadrado.

**Cuadro 20. Análisis de varianza para el rendimiento de fruto por metro cuadrado.**

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Variedad	2	159,96	79,98	18,30	0,0001 **
Error	15	65,55	4,37		
Total	17	225,51			
Promedio (kg/m <sup>2</sup> )	21,67				
CV	9,64%				

\*\*:  $p < 0,01$  (altamente significativo)

En la Figura 21, se presenta el análisis mediante la prueba de Duncan con un nivel de significancia al 5%. Este análisis muestra que existen diferencias significativas entre los dos grupos identificados. El primer grupo conformado por la variedad Albión superó a las demás variedades, alcanzando un rendimiento de fruto por metro cuadrado con un promedio de 25,83 kilogramos. No se encontraron diferencias significativas en el segundo grupo formado por las variedades Monterrey y San Andrea las cuales alcanzaron rendimiento con un promedio de 20,20 y 19,00 kilogramos por metro cuadrado, respectivamente. Esto indica que Albión es la variedad más productiva bajo el sistema hidropónico NFT en ambiente atemperado, lo que la convierte en una buena opción al momento de aprovechar el área cultivada en sistemas hidropónicos.



**Figura 21. Prueba de Duncan para rendimiento de fruto por metro cuadrado.**

Los datos presentados en el trabajo de investigación indican que la variedad Albión alcanzó el mayor promedio de rendimiento con 25,83 kilogramos por metro cuadrado, lo que muestra una similitud con Huacon (2020), quien también reportó que Albión tuvo el mejor rendimiento frente a las demás variedades. Asimismo, Ramírez (2011) menciona que en un sistema hidropónico vertical con macetas se puede alcanzar un rendimiento de hasta 2,2 kg/m<sup>2</sup> en el cultivo de frutilla, lo que afirma que en la presente investigación se obtuvieron altos rendimientos de cada variedad por el tipo de sistema hidropónico. Aunque Albión presentó el mayor rendimiento, registró un menor contenido de azúcar por lo cual por su alta producción de frutos de buen tamaño y peso, esta variedad puede ser adecuada para el consumo en fresco, ya que está dentro del rango de 9 a 13 °Brix (Morales *et al.*, 2017), y también para agroindustria como yogurt, mermelada y más.

La intensidad de la luz es un factor importante para mejorar la producción de frutillas, ya que influye en el peso, diámetro y grados Brix del fruto en sistemas hidropónicos (Alvarado *et al.*, 2020), mientras que Miranda *et al.* (2014) señalan que la producción y calidad del fruto están afectadas por el fotoperiodo y la temperatura. Las variedades de día neutro no requieren una duración específica del día para iniciar la floración, lo que permite producir normal durante el verano. Además, se sugiere que la frutilla sin suelo podría lograr altos rendimientos con una conductividad eléctrica cercana a 1.4 dS/m. Por su parte, Sánchez (2011) citado por INTAGRI (2018) destaca que la CE a 1.5 dS/cm puede perder hasta un 10% de rendimiento. Estos datos se relacionan con los resultados

obtenidos en la presente investigación, donde la conductividad eléctrica entre 1100 a 1500 mS/cm permitió que la variedad Albión tuviera el mejor rendimiento por planta bajo el sistema hidropónico NFT.

De acuerdo con AGRONOTIPS (2024), cuando la raíz está bien desarrollada, la planta puede absorber más agua y nutrientes, lo que podría resultar en un mejor rendimiento. Esto podría explicar por qué la variedad Albión alcanzó el mayor rendimiento de fruto, ya que también presentó un mayor peso seco de raíz bajo el sistema hidropónico NFT. El desarrollo de raíz bajo este sistema favoreció una mejor absorción de nutrientes y agua, lo que resultó en un mayor rendimiento. Por lo tanto, se puede decir que existe una correlación entre el peso de la raíz y el rendimiento del fruto, a mayor peso radicular, mayor producción de frutos.

#### **5.4. Análisis de costos parciales del cultivo de frutilla**

Este análisis de los tratamientos evaluados se realizó mediante el cálculo de costos parciales, con el objetivo de comparar qué tratamiento resulta más rentable económicamente. Para ello se consideraron el costo, rendimiento ajustado, beneficio bruto y beneficio neto, lo que permitió obtener información válida acerca de la rentabilidad de cada variedad de frutilla bajo el sistema hidropónico NFT y aportar una alternativa de producción para el cultivo de frutilla (CYMMYT, 1988).

**Cuadro 21. Costos, rendimiento y beneficio neto de la producción hidropónica de frutilla.**

Tratamientos	Costos (Bs)	Rendimiento (kg)	Rendimiento ajustado al 5% (kg)	Precio (Bs/kg)	Beneficio Neto
$T_1$ (Albión)	590,97	25,83	24,54	50	1.226,93
$T_2$ (San Andrea)	577,67	19,00	18,05	50	902,50
$T_3$ (Monterrey)	587,17	20,20	19,19	50	959,50

En el cuadro 21, se muestran los costos parciales de los tratamientos evaluados junto con su rendimiento por metro cuadrado. El precio de venta por cada kg fue un valor de 50 Bs para todos los tratamientos. A partir de allí, se calculó el beneficio neto, donde la variedad Albión alcanzó resultados altos con 1.226,93 Bs, esto favoreció debido que la variedad presentó altos rendimientos bajo el sistema hidropónico NFT, seguida de la variedad

Monterrey con 959,50 Bs y por último la variedad San Andrea con un beneficio bajo de 902,50 Bs.

### **5.5. Análisis de dominancia**

En el Cuadro 22, se presenta el análisis de dominancia para los tres tratamientos, comparando los costos totales y beneficios netos, lo que permite seleccionar según lo propuesto por CYMMYT, donde menciona que un tratamiento se considera dominado cuando tiene mayor costo y menor o igual beneficio neto que otro más económico.

**Cuadro 22. Análisis de dominancia de la producción hidropónica de frutilla.**

Tratamientos	Costo (Bs)	B/N
$T_2$ (San Andrea)	577,67	902,50
$T_3$ (Monterrey)	587,17	959,50
$T_1$ (Albión)	590,97	1.229,93

De acuerdo con lo descrito por el autor, se observó que el  $T_2$ , la variedad San Andrea es dominado por presentar un costo variable y beneficio neto bajo, lo cual no le generaría al productor un beneficio alto que los de mayor beneficio, por lo que se puede calcular la tasa de retorno marginal con los tratamientos no dominados.

### **5.6. Tasa de retorno marginal**

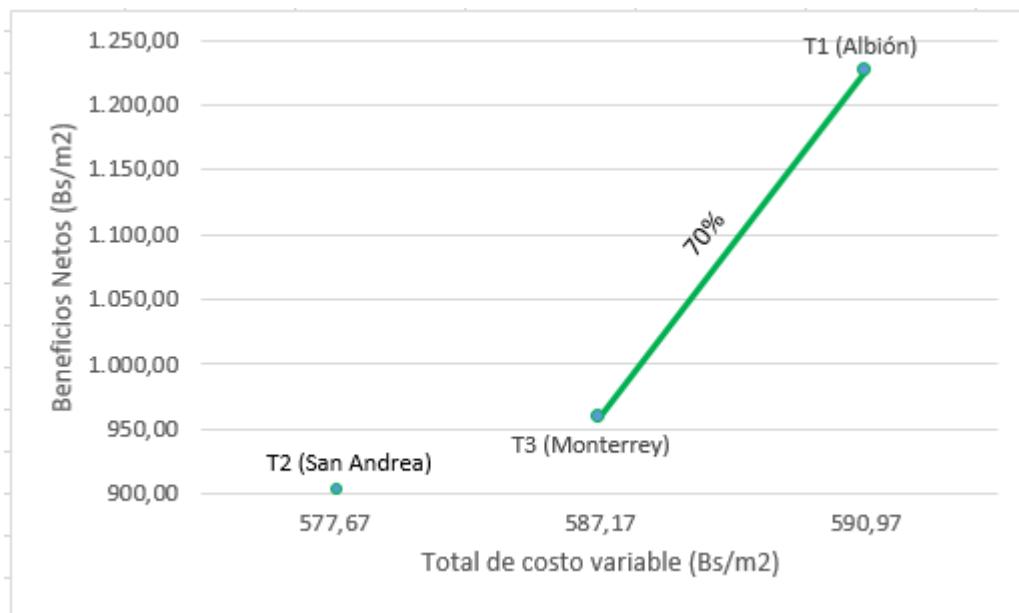
En el Cuadro 23, se muestra la tasa de retorno marginal para los tratamientos no dominados, mostrando la relación entre los costos variables y los beneficios netos. El análisis marginal revela cómo los beneficios netos de una inversión aumentan al incrementar la cantidad invertida.

**Cuadro 23. Tasa de retorno marginal de la producción de frutilla hidropónica.**

Tratamientos	Costos (Bs)	Beneficio Neto	TRM
$T_1$ (Albión)	590,97	1.226,93	70,37
$T_3$ (Monterrey)	587,17	959,50	

Esto significa que al pasar de la variedad Monterrey a Albión, por cada 1 Bs invertido se recupera su 1 Bs y se ganará 0,70 Bs. Por lo tanto, Albión es una alternativa más rentable para aumentar la inversión, debido a que ofrece un retorno por cada boliviano adicional invertido bajo el sistema hidropónico NFT, pero solo se puede presentar como alternativa si es superior a la tasa de retorno marginal mínima (TRMM).

La curva de beneficios netos (Figura 22), muestra la relación entre los costos totales y los beneficios netos de los dos tratamientos no dominados, donde se nota que la pendiente del tratamiento 3 al 1 es más pronunciada.



**Figura 22. Curva de beneficios netos para el cultivo de frutilla.**

## 6. CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos planteados y los resultados obtenidos en la presente investigación, se llegó a las siguientes conclusiones:

- Los resultados demuestran que bajo el sistema hidropónico NFT en ambiente atemperado, la variedad San Andrea presentó un mejor desarrollo vegetativo en cuanto al número de hojas con 27 hojas. Por otra parte, la variedad Monterrey, mostró un buen crecimiento vegetativo, alcanzando el mayor peso seco de la parte aérea con 5,90 gramos lo cual destaca su desarrollo vigoroso en peciolos y hojas en comparación con la variedad Albión.
- En cuanto a la producción, la variedad Albión presentó el mejor desarrollo productivo bajo el sistema hidropónico NFT en ambiente atemperado, alcanzando los mayores promedios en número de flores con 30,23, número de frutos con 27,33, peso de fruto con 37,58 g y diámetro de fruto con 4,60 cm a diferencia de las variedades Monterrey y San Andrea, que también obtuvieron buenos resultados posicionándose en segundo lugar en diferentes variables evaluadas. Además, Albión mostró resultados mayores en el peso seco de fruto y raíz con 3,67 g y 1,95 g, lo que confirma que es una alternativa recomendable para el productor al tener una buena producción en este sistema. Sin embargo, la variedad Monterrey destacó en grados Brix con 10,23 °Brix, superando en contenido de azúcar a Albión.
- Al comparar los rendimientos de fruto por planta y metro cuadrado bajo el sistema hidropónico NFT se presentó que la variedad Albión obtuvo el mayor rendimiento de fruto con promedios de 1,03 kg/planta y 25,83 kg/m<sup>2</sup> a diferencia de Monterrey con 0,81 kg/planta y 20,20 kg/m<sup>2</sup>, y San Andrea con 0,76 kg/planta y 19 kg/m<sup>2</sup>, lo que muestra que bajo este sistema hidropónico y en condiciones de ambiente controlado favorece la producción de frutilla.
- Dentro del análisis de costos parciales se compararon los tratamientos evaluados bajo el sistema hidropónico NFT, mostrando un índice de rentabilidad positivo en todas las variedades, lo que indica que se recupera la inversión. Sin embargo, la variedad Albión demostró ser la más rentable, al presentar una tasa de retorno de 70,37, lo que significa que por cada boliviano invertido se recupera el capital y se genera una ganancia de 0,70 Bs.

## 7. RECOMENDACIONES

Sobre la base de los objetivos, resultados y conclusiones del presente trabajo de investigación, se pueden formular las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda la variedad Albión para el sistema hidropónico NFT, ya que presentó una buena producción y mayores rendimientos, si el objetivo es obtener una alta producción. Pero es la que menor contenido de azúcar tiene.
- Se recomienda cultivar la variedad Monterrey si el objetivo es obtener frutos con mayor contenido de azúcar, ya que mostró un mejor comportamiento al mantener un alto dulzor bajo el sistema hidropónico NFT.
- Se recomienda trabajar con diferentes fertilizantes en cada fase del cultivo, ya que los rendimientos de las variedades estudiadas respondieron directamente a las condiciones de la solución nutritiva. Además, es importante controlar parámetros como pH, conductividad eléctrica y temperatura para tener un desarrollo óptimo de las plantas.
- Como las tres variedades respondieron de manera positiva en ambiente atemperado, se recomienda mantener condiciones controladas dentro del invernadero, evitando las altas temperaturas y humedad.
- A partir de los resultados obtenidos del análisis de costos parciales en la producción de frutilla bajo el sistema hidropónico NFT, se recomienda realizar estudios de un segundo y tercer ciclo de producción para evaluar y mejorar tanto los beneficios económicos como la productividad bajo este sistema.
- Se recomienda realizar más investigaciones con diferentes variedades y en distintas épocas de producción bajo el sistema hidropónico NFT, debido a que las variedades estudiadas se adaptaron bien a las épocas frías del altiplano.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdallah, F. 2015. Algunos aspectos sobre nutrición de la fresa hidropónica. Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería / SUNII (Sistema Unificado de Información Institucional) / Instituto Nacional de Aprendizaje / Fundación para el Fomento / Promoción de la Investigación / Transferencia de Tecnología en Costa Rica. s. p. (Folleto informativo).
- Agrícola Llahuen. 2017. Variedades de frutilla: Universidad de California. 2 ed. Paine, Chile, AGRÍCOLA LLAHUE. 8 p.
- AGRONOTIPS. 2024. Tipos de tropismos y su relación con el rendimiento de los cultivos. (en línea, Sitio web). Ciudad de México. ANEC. Consultado 13 de octubre 2025. Disponible en <https://www.anec.org.mx/tipos-de-tropismos-y-su-relacion-con-el-rendimiento-de-los-cultivos/#:~:text=Relaci%C3%B3n%20con%20la%20productividad:%20Una%20planta%20con,el%20manejo%20del%20iego%2C%20promueven%20este%20crecimiento>.
- AGROPINOS. 2021. ¿Cómo cultivar fresas en invernadero?: Los cultivos de fresa en invernadero son una opción inteligente de muchos productores para garantizar una excelente cosecha y la calidad del producto. Hoy le hablamos en qué consiste este método, sus características y ventajas. (en línea, Blog). s.l. Agropinos. Disponible en <https://www.agropinos.com/blog/cultivo-de-fresas-en-invernadero>
- AGROTONOMY. 2021. El mejor sistema de cultivo hidropónico de fresas. (en línea, Blog). s.l. Agrotonomy. Consultado 28 de mayo 2025. Disponible en <https://agrotonomy.com/es/el-mejor-sistema-de-cultivo-hidroponico-de-fresas/>
- Akon, M.; Ahsan, S.; Howlader, J.; Ahsan, M. y Mollah, M. 2020. Efecto de la conductividad eléctrica sobre el crecimiento y el rendimiento de las fresas cultivadas en un sistema aeropónico. *J. Patuakhali Sci. and Tech. Uni.* s.l. 9(1 y 2): 239-250 p.
- Alvarado, J.; Gómez, A.; Lara, A.; Díaz, J. y García, E. 2020. Rendimiento y calidad de fruto de fresa cultivada en invernadero en sistema hidropónico piramidal. *Revista*

*Mexicana Ciencias Agrícolas.* México. 11(8): 1737-1748 p. Consultado  
<https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2460>

Alves, L.; Gheyi, H.; Silva, M. y Paz, V. 2021. Producción de biomasa y contenido y composición de aceites esenciales en sistemas hidropónicos de albahaca utilizando efluentes domésticos tratados. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas.* Colombia. 15(2): 6-12 p.

Amina; Rashid, M.; Rashid, M. y Rashid, A. 2024. Comparison of variability in exotic genotypes of strawberry (*Fragaria × Ananassa* duch.) in climatic conditions of Pakistán. [Comparación de la variabilidad en genotipos exóticos de fresa (*Fragaria × Ananassa* duch.) en las condiciones climáticas de Pakistán]. *Sarhad Journal of Agriculture.* Pakistán. 40(1): 94-99 p.  
<https://dx.doi.org/10.17582/journal.sja/2024/40.1.94.99>

Apaza, L. 2014. Clima: El Alto. El Alto, La Paz, Scribd. 70 p. (en línea). Consultado 25 de junio 2025. Disponible en <https://es.scribd.com/document/350092521/CLIMA-El-Alto>

Ariza, M.; Miranda, L.; Gómez, J.; Medina, J.; Lozano, D.; Gavilán, P.; Soria, C. y Martínez, E. 2021. Yield and Fruit Quality of Strawberry Cultivars under Different Irrigation Regimes. [Rendimiento y calidad del fruto de cultivares de fresa bajo diferentes regímenes de riego]. *Agronomía.* Hueva, España. 11(2): 261 p.  
<https://doi.org/10.3390/agronomy11020261>

Bañados, M.; Bonomelli, C.; Figueroa, R.; Gambardella, M.; Zaviero, T.; Ávila, B.; Sallato, B.; Cordovez, G.; Villagra, D. y Grey, J. 2015. Frutillas. In Marina Gambardella y Javiera Grez. ed. Manual del cultivo de frambuesas y frutillas en Chile. Chile. Pontifica Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal / Instituto de Desarrollo Agropecuario. p. 8-33.

Barrera, C. 2024. "El clima en la producción agrícola del altiplano de Bolivia; 1998–2021". Tesis Desarrollo Productivo. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 138 p.

Beltrano, J. y Gimenez, D. 2015. Cultivo en hidroponía. Buenos Aires, Argentina, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 180 p.

- Benavides, Á.; Cisne, J.; Morán, J. y Duarte, H. 2022. Producción orgánica de fresa (*Fragaria spp.*), Las Sabanas, Madriz, Nicaragua. Managua, Nicaragua, Dirección de Investigación, Extensión y Postgrado. 36 p. (Guía Técnica N° 34).
- Birgi, J. y Gargaglione, V. 2021. Producción y calidad de dos variedades de frutilla (*Fragaria x ananassa* Duch) en hidroponía en Santa Cruz. Santa Cruz, Argentina. 13(1): 95-106 p. <http://doi.org/10.22305/ict-unpa.v13.n1.791>
- Bolda, M. 2015. Manual de producción de fresa para los agricultores de la Costa Central. 2 ed. CRCD (Cachuma Resource Conservation District) (ed.). California, RCD (Distritos de Conservación de Recursos de la Costa Central) / UCCE (Universidad de California Extensión Cooperativa) / FSA (Agencia de Servicios Agrícolas) / NRCS (Servicio de Conservación de Recursos Naturales). 80 p. (Manual informativo).
- Bonet, J. 2010. Desarrollo y caracterización de herramientas genómicas en *Fragaria* diploide para la mejora del cultivo de fresa. Tesis Doctorado en Biotecnología. Bellaterra, Barcelona. Universidad Autónoma de Barcelona. 231 p.
- Bronwyn, A. 2023. Productores comerciales de frutas y verduras: Observaciones sobre la producción hidropónica de fresas de día neutro. (en línea, Blogs). s.l. illinois. Consultado 26 de junio 2025. Disponible en <https://extension.illinois.edu/blogs/commercial-fruit-and-vegetable-growers/2023-10-27-hydroponic-day-neutral-strawberry>
- Cabezas, R. 2018. Hidroponía manual práctico: Una guía para aprender de forma rápida. 2 ed. Bolivia, IiiTAM (Instituto de Investigación e Innovación Tecnológica en Agricultura Moderna). 103 p. (Manual Práctico).
- Cabezas, R. 2021. Manual especializado en instalación y producción de cultivos hidropónicos: Preparación, control y monitoreo de soluciones nutritivas. 3 ed. Bolivia, IiiTAM (Instituto de Investigación e Innovación Tecnológica en Agricultura Moderna). 106 p.
- Calleros, G.; Ramírez, W.; Beral, J. y Iñiguez, G. 2020. Composted Agave Bagasse for Growing Strawberries and Tomatoes. [Bagazo de agave compostado para el]

- cultivo de fresas y tomates]. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*. México. 9(2): 70-76 p. <https://doi.org/10.15640/jaes.v9n2a9>
- Castañares, J. 2020. El ABC de la hidroponía. Buenos Aires, Argentina, INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) / Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca Argentina. 15 p. (Informe técnico).
- Ccahuana, R. 2019. Soluciones nutritivas y biol en producción de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) mediante sistema hidropónico recirculante NFT en K'ayra – Cusco. Tesis Ingeniero Agrónomo. Cusco, Perú. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. 131 p.
- Cerero, L.; Velasco, V.; Sandoval, M.; Ruiz, J. y Valle, J. 2023. Cultivo de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) en sistemas hidropónicos con mezclas de sustratos. *Acta Agronómica*. Estado de Oaxaca, México. 72(1): 70-77 p. <https://doi.org/10.15446/acag.v72n1.110426>
- Chiomento, J.; Ferreira, A.; Costa, R.; Trentin, N.; Trentin, T. y Calvete, E. 2020. Phyllochron, and root system development of six strawberry cultivars with different photoperiodic flowering responses. [Filochron y desarrollo del sistema radicular de seis cultivares de fresa con diferentes respuestas fotoperiódicas a la floración]. *Scientia Agraria Paranaensis*. s.l. 19(4): 368-373 p. <https://doi.org/10.18188/sap.v19i4.25536>
- Condori, M. 2024. Evaluación del comportamiento agronómico de tres variedades de frutilla (*fragaria x ananassa*), bajo el sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique), en carpa solar, en la ciudad de El Alto, del departamento de La Paz. Tesis Ingeniera Agrónoma. El Alto, Bolivia. Universidad Pública de El Alto. 53 p.
- Copetti, C.; Borges, G.; Barcelos, J.; Gonzaga, L.; Fett, R. y Bertoldi, F. 2012. Antioxidant activity and productivity of different strawberry cultivars (*Fragaria x ananassa* Duch.) produced in a hydroponic system. [Actividad antioxidante y productividad de diferentes cultivares de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) producidas en un sistema hidropónico]. *Acta Horticultae*. 947 367-374 p. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.947.47>

- Cortez, G. 2008. Comportamiento agronómico de variedades de frutilla (*Fragaria virginiana* Duch) bajo niveles de fertilización orgánica en sistema walipini provincia Murillo (Ventilla), La Paz Tesis Ingeniero Agrónomo. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 85 p.
- Cuellas, M. 2019. Cultivo sin suelo: Una alternativa innovadora para las producciones intensivas. CEI Gorina (Centro de Educación e Investigación Gorina) (ed.). La Plata, Argentina, Ministerio de Agroindustria de la Provincia de Buenos Aires / Dirección Provincial de Agricultura Familiar / Tierra Fértil / INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) / Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. 18 p. (Jornada Técnica).
- Cueva, O. s.f. Fenología Fresa (en línea, Diapositivas de PowerPoint). s.l. Scribd. 1 diapositiva. color. Disponible en <https://es.scribd.com/doc/263286261/fenologia-fresa-pptx>
- CYMMYT, (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. México D. F., CIMMYT. 79 p.
- Dávalos, A.; Aguilar, G.; Jofre, A.; Hernández, A. y Vázquez, M. 2011. Tecnología para sembrar viveros de fresa. Celaya, GTO., México, INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) 147 p. (Libro Técnico Núm. 3).
- Dubey, N. y Nain, V. 2020. Hydroponic— The Future of Farming. [Hidroponía: El futuro de la agricultura]. *Internacional de Medio Ambiente, Agricultura y Biotecnología*. s.l. 5(4): 857-864 p. <https://doi.org/10.22161/ijeab.54.2>
- Ferreira, J.; Xuan, L. y Suarez, D. 2019. Fruit yield and survival of five commercial strawberry cultivars under field cultivation and salinity stress. [Rendimiento de frutos y supervivencia de cinco cultivares comerciales de fresa bajo cultivo de campo y estrés salino]. *Scientia Horticulturae*. California, Estados Unidos. 243 401-140 p. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.07.016>
- Fischer, G.; Ramírez, F. y Almanza, P. 2012. Inducción Floral, Floración Y Desarrollo Del Fruto. In Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Bogotá, Colombia. PODUMEDIOS. p. 120-140.

- Flores, V. 2023. Evaluación del comportamiento productivo de dos variedades de frutilla (*Fragaria sp.*), bajo un sistema de producción hidropónica NFT, en el municipio de Viacha. Tesis Ingeniera en Producción y Comercialización Agropecuaria. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 73 p.
- Flores, V. y Mendoza, R. 2023. Evaluación del comportamiento productivo de dos variedades de frutilla (*Fragaria sp.*), bajo un sistema de producción hidropónica NFT, en el municipio de Viacha. *Cibum Scientia*. Bolivia. 2(1): 40-48 p. <https://doi.org/10.53287/xnfb6997ws33w>
- Garcés, E. 2022. Determinación de una tecnología de producción orgánica en cuatro variedades del cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa* D.) semi-hidropónico, bajo cubierta. Tesis Ingeniero Agrónomo. Riobamba, Ecuador. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 106 p.
- Gilsanz, J. 2007. Hidroponía para todos. Montevideo, Uruguay, INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria). 31 p.
- Google Earth. 2025. Ubicación del trabajo de investigación. El Alto, La Paz. Eart google. en línea. Consultado 25 de junio 2025. Disponible en <https://earth.google.com/web/search/cuidad+de+el+alto/@-16.48723369,-68.23445227,4031.18838583a,6551.85268722d,35y,-0h,0t,0r/data=CiwiJgokCWQArCdDhUJAEWQArCdDhULAGUbuS-O6RkxAIWAjLUBTU03AQgIIATIpCicKJQohMXZSQjZQMWCWU1WSG15OWZF WVdVckZHRkRLallzbFZIIAE6AwoBMEICCABKCAiDjNjNBxAB?authuser=0>
- Grijalba, C.; Pérez, M.; Ruiz, D. y Ferrucho, A. 2015. Strawberry yields with high-tunnel and open-field cultivations and the relationship with vegetative and reproductive plant characteristics. [Rendimiento del cultivo de fresa bajo macrotúnel y a campo abierto y su relación con aspectos vegetativos y reproductivos de la planta]. *Agronomía Colombiana*. Colombia. 33(2): 147-154 p. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v33n2.52000>
- GroHo Hidroponía. 2024. Cultivar fresas en hidroponía: Una guía completa. (en línea, Artículo). s.l. Linkedin. Consultado 28 de junio 2025. Disponible en

<https://es.linkedin.com/pulse/cultivar-fresas-en-hidropon%C3%ADA-na-una-g%C3%ADa-%C3%ADa-completa-sm8mf>

Hamidon, M.; Aziz, S.; Ahamed, T. y Mahadi, M. 2019. Diseño y desarrollo de un sistema de jardín vertical inteligente para la iniciativa de agricultura urbana en Malasia. *Jurnal Teknologi. Malasia.* 81(1): 19-27 p.

Hatipi, N.; Sarnin, S.; Tan, M.; Dohad, M.; Kamaruzaman, N.; Naim, N. y Idris, A. 2025. IoT-Based Smart Vertical Hydroponic System for Chili Plant. [Sistema hidropónico vertical inteligente basado en IoT para plantas de Chile]. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology.* s.l. 43(2): 124-133 p. <https://doi.org/10.37934/araset.43.2.124133>

Huacon, R. 2020. Desarrollo morfológico y rendimiento de tres variedades de fresa mediante un sistema hidropónico NFT cantón Guayaquil, Guayas. Tesis Ingeniero Agrónomo. Guayaquil, Ecuador. Universidad Agraria del Ecuador. 76 p.

Hutchinson, G.; Nguyen, L.; Ames, Z.; Nemali, K. y Ferrarezi, R. 2025. Substrate system outperforms water-culture systems for hydroponic strawberry production. [El sistema de sustrato supera en rendimiento a los sistemas de cultivo acuático para la producción hidropónica de fresas]. *Frontiers in Plant Science.* Georgia, Estados Unidos. 16 15 p. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1469430>

Hydroponic Systems. 2023. Cultivo hidropónico de fresas: una guía completa. (en línea, Blog). s.l. Hydroponic systems. Consultado 27 de mayo 2025. Disponible en <https://hydroponicsystems.eu/guide-of-hydroponic-strawberry-farming/>

Ibadango, F. 2017. Eficiencia y rentabilidad del sistema hidropónico vertical frente al convencional en la producción de tres variedades de fresa (*Fragaria vesca* L.), en la granja experimental Yuyuocha, Imbabura. Tesis Ingeniero Agropecuario. Ibarra, Ecuador. Universidad Técnica del Norte. 62 p.

ICL Growing Solutions. 2025. Fertilizantes para fresas consejos de nutrición para cultivos: Conoce todo lo que debes saber acerca de fertilización de fresas, mejores prácticas, productos adecuados, pruebas de campo y más. (en línea, Ensayos). ICL growing solutions. Consultado 28 de mayo 2025. Disponible en <https://iclgrowingsolutions.com/es-mx/agriculture/crops/strawberry/>

- INE, (Instituto Nacional de Estadística). 2024. Bolivia - Producción del año agrícola por departamento, 1984-2024. (en línea, Datos estadísticos). Bolivia. INE. Consultado 24 de junio 2025. Disponible en <https://www.ine.gob.bo/index.php/estadisticas-economicas/agropecuaria/agricultura-cuadros-estadisticos/>
- INTAGRI, (Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura). 2018. Producción hidropónica de fresa. INTAGRI (ed.). México, 6 p. (Artículos Técnicos de INTAGRI (Serie Frutillas)).
- ITSC, (Instituto Tecnológico Superior de Coalcomán). 2018. Manual de producción de fresa en Coalcomán Michoacán. Coalcomán, Michoacán, México, Instituto Tecnológico Superior de Coalcomán. 49 p.
- Kaur, S. y Dewan, B. 2023. Hydroponics: A Review on Revolutionary Technology for Sustainable Agriculture. [Hidroponía: Una revisión sobre la tecnología revolucionaria para la agricultura sostenible]. *Agricultural and Horticultural Research*. s.l. 10(4): 297-302 p. 10.9734/ajahr/2023/v10i4270
- Kessel, A. 2012. Mejora genética de la fresa (*Fragaria ananassa* Duch.), a través de métodos biotecnológicos. *Cultivos tropicales*. La Habana. 33(3): 34-41 p.
- III Simpósio Nacional do Morango; II Encontro sobre Pequenas Frutas e Frutas Nativas do Mercosul – Palestras (Pelotas, Brasil). Kirschbaum, D.; Borquez, A. 2006. Nutrición mineral de la frutilla (*Fragaria x ananassa* Duch.). 117-120 p.
- Kirschbaum, D.; Vicente, C.; Cano, M.; Gambardella, M.; Veizaga, F. y Antunes, L. 2017. La fresa en Sudamérica: del Caribe a la Patagonia. *Acta Horticultae*. s.l. 1156 947-952 p. 10.17660/ActaHortic.2017.1156.140
- Kumar, P. y Saini, S. 2020. Nutrients for Hydroponic Systems in Fruit Crops. [Nutrientes para sistemas hidropónicos en cultivos frutales]. In *Urban Horticulture - Necessity of the Future*. London, UK. IntechOpen. p.s. Consultado 15 de junio 2025. Disponible en <https://www.intechopen.com/chapters/7095710.5772/intechopen.90991>
- Ledesma, M. y Kawabata, S. 2016. Responses of two strawberry cultivars to severe high temperature stress at different flower development stages. [Respuestas de dos

cultivares de fresa al estrés severo por altas temperaturas en diferentes etapas de desarrollo floral]. *Scientia Horticulturae*. s.l. 211 319-327 p. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.007>

Li, R.; Yang, X.; Zang, Z.; Xu, S.; Wei, B.; Zhao, Y.; Xu, C. y Zang, Z. 2025. Optimizing water and fertilizer management for sustainable strawberry production under deficit irrigation. [Optimización de la gestión del agua y los fertilizantes para una producción sostenible de fresas con riego deficitario]. China. s.p. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5163215>

Lira, R. y Ruiz, M. 2023. Producción de plantas de fresa con calidad genética, fisiológica y fitosanitaria. Campo Experimental Uruapan (ed.). Uruapan, Michoacán, México, SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural) / INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) / CIRPAC (Centro de Investigación Regional Pacífico Centro). 36 p. (Folleto Técnico Núm. 37).

Marcellini, M.; Raffaelli, D.; Mazzoni, L.; Pergolotti, V.; Balducci, F.; Armas, Y.; Mezzetti, B. y Capocasa, F. 2023. Effects of Different Irrigation Rates on Remontant Strawberry Cultivars Grown in Soil. [Efectos de diferentes índices de riego en variedades de fresas remontantes cultivadas en suelo]. *Horticulturae*. Italia. 9(9): 1026 p. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9091026>

Martínez, U. 2019. El cultivo de la fresa. Academia.edu. 8 p. Consultado 25 de junio 2025. Disponible en [https://www.academia.edu/40431458/EL\\_cultivo\\_de\\_la\\_Fresa](https://www.academia.edu/40431458/EL_cultivo_de_la_Fresa)

Martins, J.; Welter, P.; Soares, M.; Kavcic, W.; Miranda, B.; Fagherazzi, A.; Regianini, F.; Anneliese, A.; Rufato, L. y Baruzzi, G. 2021. Planting Density Interferes with Strawberry Production Efficiency in Southern Brazil. [La densidad de siembra interfiere con la eficiencia de la producción de fresas en el sur de Brasil]. *Agronomía*. Brasil. 11(3): 408 p. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030408>

Mejía, J. 2023. Desarrollo de un prototipo de invernadero para la producción a pequeña escala de fresa (*Fragaria ananassa*) variedad Albión en cultivo hidropónico NFT (Nutrient Film Technique) con monitoreo de variables físicas y químicas en la vereda Siguineque, Turmequé, Boyacá. Tesis Bioingeniero. Bogotá D.C., Colombia. Universidad El Bosque. 98 p.

- Mendoza, A. 2017. Cultivo de lechuga (*Lactuca sativa L.*) hidropónica en sistema recirculante “NFT” tipo piramidal con tres niveles de aireación. Tesis Ingeniero Agrónomo. Arequipa, Perú. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. 120 p.
- Miranda, F.; Silva, V.; Santos, F.; Rossetti, A. y Silva, C. 2014. Production of strawberry cultivars in closed hydroponic systems and coconut fibre substrate. [Producción de variedades cultivadas de fresa en sistemas hidropónicos cerrados y sustrato de fibra de coco]. *Revista Actualidad Agropecuaria*. Brasil. 45(4): 833-841 p. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000400022>
- Miserendino, E. 2007. Frutilla: Implantación del cultivo bajo cubierta en Patagonia. In Agricultura. Patagonia, Argentina. INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). p. 45-48. (Boletín técnico).
- Mixquititla, G.; Villegas, O.; Andrade, M.; Sotelo, H. y Cardoso, A. 2020. Growth, yield and quality of strawberry by effect of the nutritional regime. [Crecimiento, rendimiento y calidad de fresa por efecto del régimen nutrimental]. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. México. 11(6): 1337-1348 p. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2329>
- Mollisaca, W. 2016. Evaluación del comportamiento agronómico del cultivo de frutilla (*Fragaria x ananassa* Duch), bajo el sistema hidropónico NGS (New Growing System) en ambiente controlado del centro experimental Kallutaca. Tesis Ingeniero Agrónomo. El Alto, Bolivia. Universidad Pública de El Alto. 70 p.
- Morales, C.; Riquelme, J.; Hirzel, J.; France, A.; Pedreros, A.; Uribe, H. y Abarca, P. 2017. Manual de manejo agronómico de la frutilla. INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias) (ed.). Santiago, Chile, INDAP (Instituto de Desarrollo Agropecuario). 100 p. (Boletín INIA N° 382).
- Morgan, M. 1993. Fruit to flower ratios and trade-offs in size and number. [Relación entre frutos y flores y compensaciones en cuanto a tamaño y número]. *Evolutionary Ecology*. s.l. 7(3): 219-232 p. <https://doi.org/10.1007/BF01237740>

- NCAT, (Especialistas Agrícolas del Centro Nacional de Tecnología Apropriada). 2007. Fresas: Producción Orgánica. *Revista Attra* N° 92409. California, Estados Unidos. 2-5 p.
- NOVAGRIC. 2024. Invernaderos de fresas. (en línea, Sitio web). España. Novagric. Consultado 05 de junio 2025. Disponible en <https://novagric.com/cultivos/invernaderos-de-fresas/>
- Oasis Easy Plant. s.f. Hydroponics manual. [Manual de hidroponía]. Estados Unidos, Oasis Easy Plant. 19 p.
- Ochoa, R. 2016. Diseño Completamente al Azar (DCA). In *Diseños Experimentales*. 2 ed. La Paz, Bolivia. Ochoa. p. 43-58.
- Olivera, J. 2012. Cultivo de Fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.). Programa Nacional de Medios y Comunicación Técnica - INIA (ed.). Lima, Perú, Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA. 59 p. (Manual N° 1-12).
- Paikra, S.; Kumar, H. y Chandrakar, S. 2020. Influence of NAA and GA3 on Yield and Yield Attributing Parameters of Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) cv. Sabrina under Net Tunnel. [Influencia del NAA y el GA3 en el rendimiento y los parámetros que lo determinan de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) cv. Sabrina cultivada en túnel de malla]. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. s.l. 9(10): 2473-2478 p. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.910.296>
- Palomino, K. 2008. Hidroponía Comercial (Fresas). Perú, Macro. 96 p.
- Park, Y.; Sethi, R. y Temnyk, S. 2023. Growth, Flowering, and Fruit Production of Strawberry 'Albion' in Response to Photoperiod and Photosynthetic Photon Flux Density of Sole-Source Lighting. [Crecimiento, floración y fructificación de la fresa 'Albión' en respuesta al fotoperíodo y la densidad del flujo de fotones fotosintéticos de la iluminación de una sola fuente]. *Plants*. Mesa, AZ, Estados Unidos. 12(4): 731. <https://doi.org/10.3390/plants12040731>
- Pérez, B. 2020. Evaluación de tres sistemas de producción de fresa (*Fragaria vesca* L.). Tesis Maestro en Ciencias. Montecillo, Texcoco, Estado de México. Colegio de Postgraduados. 84 p.

(Syracuse, Nueva York, EE. UU). Poling, E. 2012. Strawberry Plant Structure and Growth Habit. [Estructura y hábito de crecimiento de la planta de fresa]. Cornell University, Department of Horticulture. s.p.

Poorter, H.; Niklas, K.; Reich, P.; Oleksyn, J.; Poot, P. y Mommer, L. 2012. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. [Asignación de biomasa a hojas, tallos y raíces: meta análisis de variación interespecífica y control ambiental]. *New phytologist*. s.l. 193(1): 30-50 p. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x>

Porro, P. 2017. Caracterización de genes de resistencia a la enfermedad del oídio en *Fragaria x ananassa*, e identificación de posibles marcadores moleculares para selección asistida. Tesis Ingeniero en Biotecnología. Montevideo, Uruguay. Universidad ORT. 53 p.

Preciado, P.; Troyo, D.; Valdez, A.; García, J. y Luna, J. 2020. Interactive effects of the potassium and nitrogen relationship on yield and quality of Strawberry grown under soilless conditions. [Efectos interactivos de la relación potasio-nitrógeno en el rendimiento y la calidad de la fresa cultivada sin suelo]. *Plants*. México. 9(4): 441 p. <https://doi.org/10.3390/plants9040441>

Ramírez, H. 2011. Sistemas de producción de fresa de altas densidades. Tesis Maestro en Ciencias. Montecillo, Téxcoco, Edo, México. Colegio de Postgraduados. 8 p.

Riofrio, E.; Pacheco, K. y Rodríguez, I. 2023. Evaluación de la adaptación y producción de cultivares de fresa con efecto microtunel en el Cantón Chilla. *Revista Científica Agroecosistemas*. Chilla, Ecuador. 11(1): 132-137 p.

Rozbiany, P. y Taha, S. 2023. Respuesta de la floración y el rendimiento de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) al fotoperiodo. In Estudios recientes sobre las fresas. Irak. IntechO. p. 1-9 p.

Safira, M.; Lim, M. y Chua, W. 2022. Diseño de un sistema de control para el sistema de monitorización de la calidad del agua para aplicaciones hidropónicas. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Malasia. 6 p. [10.1088/1757-899X/1257/1/012027](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1257/1/012027)

SAGyP, (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Argentina). 2023. Producción de frutilla en Argentina. Buenos Aires, Argentina, SAGyP. 17 p.

Salguero, J. 2014. Producción de frutilla en Comarapa genera más de 1.200 empleos. (en línea, Sitio web). Santa Cruz, Bolivia. Hoy Bolivia. Consultado 20 de mayo 2025. Disponible en <https://www.hoybolivia.com/Noticia.php?IdNoticia=115345>

Santana, R. 2016. Comportamiento agronómico de seis variedades de espinaca (*Sinacea oleracea* L.) con la técnica hidropónica NFT en el centro experimental de Cota – Cota. Tesis Ingeniero Agrónomo. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 86 p.

Santoyo, J. y Martínez, C. s.f. Paquete tecnológico para la producción de fresa. Sinaloa, México, Fundación Produce Sinaloa, A.C. / SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) / Gobierno del Estado de Sinaloa. 21 p.

Sayol, J.; Azeñas, V.; Quezada, C.; Vigo, I. y Benavides, J. 2022. Is Greenhouse Rainwater Harvesting Enough to Satisfy the Water Demand of Indoor Crops? Application to the Bolivian Altiplano. [¿Es suficiente la captación de agua de lluvia en invernaderos para satisfacer la demanda hídrica de los cultivos de interior? Aplicación al altiplano boliviano]. *Hidrología*. Bolivia. 9(6): 107 p. <https://doi.org/10.3390/hydrology9060107>

Silva, L.; Campos, A.; Moreira, L.; Barral, D.; Andrea, G.; Guimaraes, A.; Silva, I.; Tannure, M.; Pinto, N.; Costa, M. y Zanuncio, J. 2024. Características agronómicas y calidad postcosecha de fresas en un sistema de cultivo semihidropónico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasil. 59 1-8 p. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2024.v59.03384>

Sistemas Hortícolas Almería. 2023. Todo lo que necesitas saber para cultivar fresas. (en línea, Blog). s.l. Sistemas hortícolas Almería. Consultado 25 de junio 2025. Disponible en <https://www.sistemashorticolasalmeria.com/blog/cultivar-fresas/>

Soto, F. 2015. Hidroponía familiar en sustrato: Hágalo fácil sembrando hortalizas, cosechando salud. San José, Costa Rica, MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería) / UCR (Universidad de Costa Rica). 60 p. (Manual práctico).

- Tarquino, R. 2018. Evaluación agronómica de la producción vertical del cultivo hidropónico de frutilla (*Fragaria* sp.) con dos densidades en carpa solar en el centro experimental de Cota – Cota. Tesis Ingeniera Agrónoma. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 115 p.
- Thiesen, L.; Diel, M.; Marques, M.; Cocco, C.; Fontana, D.; Holz, E.; Caron, B. y Schmidt, D. 2018. Filocron y rendimiento productivo de los cultivares de fresa: Impacto de las diferentes regiones de origen en un sistema de cultivo convencional. *Journal of Agricultural Science*. Rio Grande do Sul, Brasil. 10(5): 167-178 p. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n5p167>
- UNALM, (Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral) y UNAM, (Universidad Nacional Agraria La Molina). s.f. Solución hidropónica La Molina. (en línea, Sitio web). Lima, Perú. La molina. Consultado 29 de mayo 2025. Disponible en [https://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/sol\\_presentacion.htm](https://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/sol_presentacion.htm)
- Urrestarazu, M. 2015. Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía. España, Mundiprensa. 227 p.
- Velázquez, R.; García, A.; Ventura, E.; Barceinas, J. y Sosa, J. 2022. Una revisión sobre la hidroponía y las tecnologías asociadas para operaciones a mediana y pequeña escala. *Agriculture*. México. 12(5): 646 p. <https://doi.org/10.3390/agriculture12050646>
- Webler, A.; Diel, M.; Pinheiro, M.; Schmidt, D.; Thiesen, L.; Araújo, G. y Knapp, F. 2024. Strawberry growth and dry matter partitioning due to fertigation systems. [Crecimiento de la fresa y reparto de materia seca gracias a los sistemas de fertirrigación]. *Acta Scientiarum. Agronomy*. Rio Grande do Sul, Brasil. 46(1): 11 p. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v46i1.67591>
- Zeist, A.; Resende, J.; Lima, R.; Gabriel, A.; Henschel, J. y Silva, I. 2019. Phenology and agronomic components of first and second-cycle strawberry. [Fenología y componentes agronómicos de la fresa de primer y segundo ciclo]. *Horticultura Brasileira*. Brasil. 37(1): 29-34 p. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620190104>

## **9. ANEXOS**

### Anexo 1. Presupuesto de costos de producción bajo el sistema hidropónico NFT

Nº	ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	INSUMOS				959,56
	Plantines de frutilla	unidad	57	1	57
	Solución nutritiva				160
	Fungicida e insecticida				50
	Ácido fosfórico – Hidróxido de sodio				12,50
	Vasos plásticos	unidad	54	0,08	4,32
	Fibra de poliéster				10
	Bolsa de muestreo laboratorio	pieza	9	1	9
	Uso de agua	litro	800	0,20	160
	Electricidad	kWh			196,74
	Análisis de agua				300
2	MANO DE OBRA				160,50
	Instalación del sistema NFT	jornal	1	100	100
	Trasplante	hr	3	10	30
	Poda de hojas y flores	hr	0,45	10	4,5
	Monitoreo nutricional	hr	0,30	10	3
	Recolección y cosecha	hr	1,30	10	13
	Muestreo para peso seco	hr	1	10	10
3	SERVICIOS DE ALQUILER				310
	Ambiente atemperado	mes	7	40	280
	Refractómetro digital				30
	TOTAL COSTOS DIRECTOS				1.430,06
	INSTALACIÓN DE LA ESTRUCTURA				908,25
	Listón de madera	metro	20,50	15	307,50
	Fierro de sujeción en U	metro	5,50	4,50	24,75
	Tubos de 3 pulgadas	metro	12	16,50	198
	Tubo de 3/4 pulgadas	metro	5	7,50	37,50
	Tubo de 1 pulgada	metro	1,50	22	33
	Tubo de 1/2 pulgadas	metro	1	5	5
	Tapón hembra de 3 pulgadas	pieza	6	4	24
	Reducción de 3 – 2 pulgadas	pieza	6	3	18
	Codos de 2 pulgadas	pieza	8	2	16
	Codo de 1 pulgada	pieza	2	10	20
	Codo de 3/4 pulgadas	pieza	3	7	21
	Tapón hembra de 3/4 pulgadas	pieza	2	2	4
	Te de 3/4 pulgadas	pieza	2	8	16
	Malla de sombra al 50%	metro	2	45	90
	Llave de paso universal	pieza	2	45	90

	Microtubo 4/6 mm	metro	1	3,50	3,50
5	INSTALACIÓN ELÉCTRICA				255
	Timer (automatización) y Contactor	pieza	1	210	210
	Palanca eléctrica	pieza	1	45	45
6	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS				1.715
	Balanza analítica	pieza	1	50	50
	Termohigrómetro digital	pieza	1	90	90
	Bomba de 0.5 HP	pieza	1	600	600
	Succionador	pieza	1	25	25
	Tanque 200 litros	pieza	1	250	250
	Medidor de pH - CE	pieza	1	700	700
	TOTAL COSTOS INDIRECTOS				2.878,25
					TOTAL COSTOS DE PRODUCCIÓN (C.D + C.I.)
					4.308,31

#### Anexo 2. Depreciación del costo indirecto por 7 meses

Nº	CONCEPTO	TOTAL	VIDA ÚTIL / MESES	7 MESES	POR VARIEDAD
1	Listón de madera	307,50	36 (3 años)	59,79	19,93
2	Fierro de sujeción en U	24,75	96 (8 años)	1,80	0,60
3	Tubos de 3 pulgadas	198	96 (8 años)	14,44	4,81
4	Tubo de 3/4 pulgadas	37,50	96 (8 años)	2,73	0,91
5	Tubo de 1 pulgada	33	96 (8 años)	2,41	0,80
6	Tubo de 1/2 pulgadas	5	96 (8 años)	0,36	0,12
7	Tapón hembra de 3 pulgadas	24	60 (5 años)	2,80	0,93
8	Reducción de 3 - 2 pulgadas	18	60 (5 años)	2,10	0,70
9	Codos de 2 pulgadas	16	60 (5 años)	1,87	0,62
10	Codo de 1 pulgada	20	60 (5 años)	2,33	0,78
11	Codo de 3/4 pulgadas	21	60 (5 años)	2,45	0,82
12	Tapón hembra de 3/4 pulgadas	4	60 (5 años)	0,47	0,16
13	Te de 3/4 pulgadas	16	60 (5 años)	1,87	0,62
14	Malla de sombra al 50%	90	48 (4 años)	13,13	4,38
15	Llave de paso universal	90	36 (3 años)	17,50	5,83
16	Microtubo 4/6 mm	3,50	36 (3 años)	0,68	0,23
17	Timer y Contactor	210	60 (5 años)- 48 (4 años)	26,54	8,84
19	Palanca eléctrica	45	36 (3 años)	8,75	2,92
20	Balanza analítica	50	60 (5 años)	5,83	1,94
21	Termohigrómetro digital	90	60 (5 años)	10,50	3,50
22	Bomba de 0.5 HP	600	84 (7 años)	50	16,67
23	Succionador	25	60 (5 años)	2,92	0,97
24	Tanque 200 litros	250	84 (7 años)	20,83	6,94
25	Medidor de pH - CE	700	60 (5 años)	81,67	27,22
			TOTAL DE DEPRECIACIÓN:	333,77	111,26

**Anexo 3. Cálculo de costos parciales para la variedad Albión (T1)**

Ciclo de producción siete meses					
Nº	ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL T1
1	<b>INSUMOS</b>				325,55
	Plantines de frutilla	unidad	19	1,3	24,70
	Solución nutritiva				53,33
	Fungicida e insecticida				16,67
	Ácido fosfórico – Hidróxido de sodio				4,17
	Vasos plásticos	unidad	18	0,08	1,44
	Fibra de poliéster				3,33
	Bolsa de muestreo laboratorio	pieza	3	1	3
	Uso de agua	litro	266,67	0,20	53,33
	Electricidad	kWh			65,58
	Análisis de agua				100
2	<b>MANO DE OBRA</b>				50,83
	Instalación del sistema NFT	jornal			33,33
	Trasplante	hr	1	10	10
	Poda de hojas y flores	hr	0,15	10	1,50
	Monitoreo nutricional	hr	0,10	10	1
	Recolección y cosecha	hr	0,30	10	3
	Muestreo para peso seco	hr	0,20	10	2
3	<b>SERVICIOS DE ALQUILER</b>				103,33
	Ambiente atemperado	mes	2,33	40	93,33
	Refractómetro digital				10
	<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS</b>				479,71
	<b>TOTAL COSTOS INDIRECTOS (depreciado por 7 meses)</b>				111,26
	<b>TOTAL COSTOS DE PRODUCCIÓN (C.D + C.I.)</b>				590,97

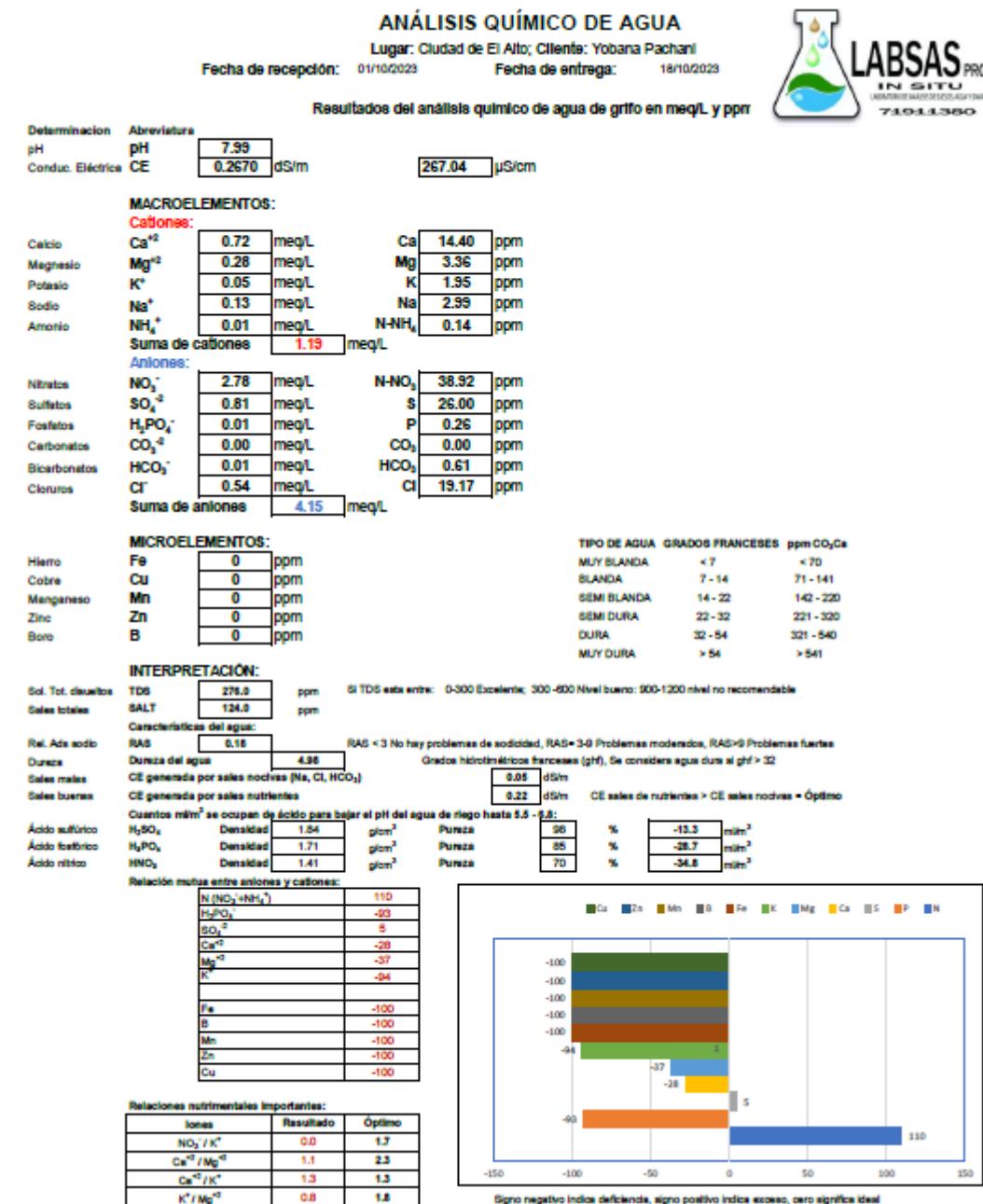
**Anexo 4. Cálculo de costos parciales para la variedad San Andrea (T2)**

Ciclo de producción siete meses					
Nº	ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL T2
1	<b>INSUMOS</b>				312,25
	Plantines de frutilla	unidad	19	0,60	11,40
	Solución nutritiva				53,33
	Fungicida e insecticida				16,67
	Ácido fosfórico – Hidróxido de sodio				4,17
	Vasos plásticos	unidad	18	0,08	1,44
	Fibra de poliéster				3,33
	Bolsa de muestreo laboratorio	pieza	3	1	3
	Uso de agua	litro	266,67	0,20	53,33
	Electricidad	kWh			65,58
	Análisis de agua				100
2	<b>MANO DE OBRA</b>				50,83
	Instalación del sistema NFT	jornal			33,33
	Trasplante	hr	1	10	10
	Poda de hojas y flores	hr	0,15	10	1,50
	Monitoreo nutricional	hr	0,10	10	1
	Recolección y cosecha	hr	0,30	10	3
	Muestreo para peso seco	hr	0,20	10	2
3	<b>SERVICIOS DE ALQUILER</b>				103,33
	Ambiente atemperado	mes	2,33	40	93,33
	Refractómetro digital				10
	<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS</b>				466,41
	<b>TOTAL COSTOS INDIRECTOS (depreciado por 7 meses)</b>				111,26
	<b>TOTAL COSTOS DE PRODUCCIÓN (C.D + C.I.)</b>				<b>577,67</b>

**Anexo 5. Cálculo de costos parciales para la variedad Monterrey (T3)**

Ciclo de producción siete meses					
Nº	ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL T3
1	<b>INSUMOS</b>				321,75
	Plantines de frutilla	unidad	19	1,10	20,90
	Solución nutritiva				53,33
	Fungicida e insecticida				16,67
	Ácido fosfórico – Hidróxido de sodio				4,17
	Vasos plásticos	unidad	18	0,08	1,44
	Fibra de poliéster				3,33
	Bolsa de muestreo laboratorio	pieza	3	1	3
	Uso de agua	litro	266,67	0,20	53,33
	Electricidad	kWh			65,58
	Análisis de agua				100
2	<b>MANO DE OBRA</b>				50,83
	Instalación del sistema NFT	jornal			33,33
	Trasplante	hr	1	10	10
	Poda de hojas y flores	hr	0,15	10	1,50
	Monitoreo nutricional	hr	0,10	10	1
	Recolección y cosecha	hr	0,30	10	3
	Muestreo para peso seco	hr	0,20	10	2
3	<b>SERVICIOS DE ALQUILER</b>				103,33
	Ambiente atemperado	mes	2,33	40	93,33
	Refractómetro digital				10
	<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS</b>				475,91
	<b>TOTAL COSTOS INDIRECTOS (depreciado por 7 meses)</b>				111,26
	<b>TOTAL COSTOS DE PRODUCCIÓN (C.D + C.I.)</b>				<b>587.17</b>

## Anexo 6. Análisis de agua de la ciudad de El Alto



## Anexo 7. Datos del peso fresco para Albión

Muestra	Peso de fruto (g)	Peso de parte aérea (g)	Peso de raíz (g)
1	39,71	17,79	9,25
2	20,35	15,20	7,64
3	18,16	10,58	6,81

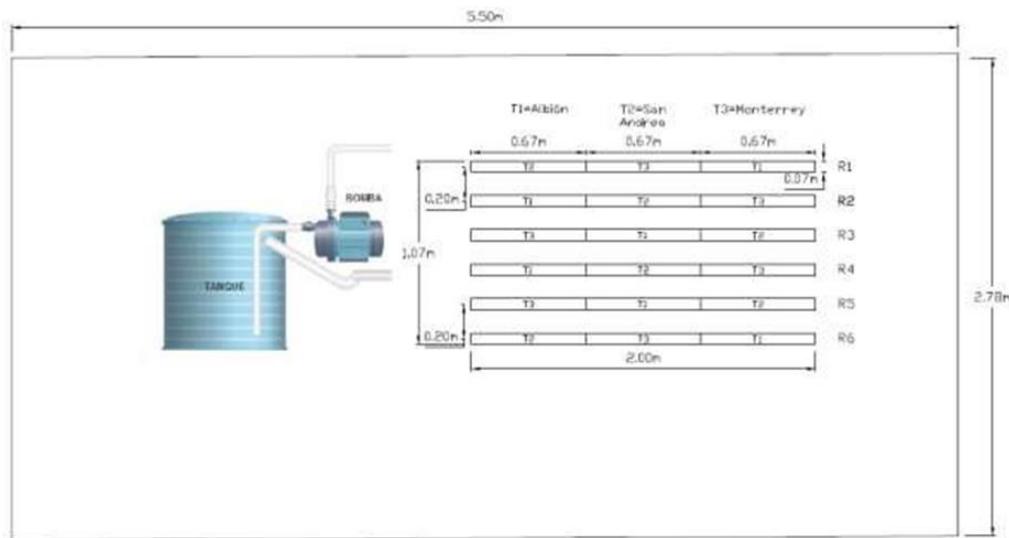
#### Anexo 8. Datos del peso fresco para San Andrea

Muestra	Peso de fruto (g)	Peso de parte aérea (g)	Peso de raíz (g)
1	33,40	19,31	2,05
2	14,41	11,74	1,62
3	13,12	17,05	0,97

#### Anexo 9. Datos del peso fresco para Monterrey

Muestra	Peso de fruto (g)	Peso de parte aérea (g)	Peso de raíz (g)
1	10,35	22,80	1,92
2	12,48	18,61	1,58
3	17,27	17,03	0,89

#### Anexo 10. Diseño del trabajo experimental

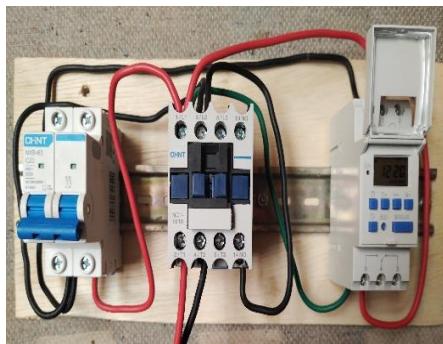


#### Anexo 11. Instalación del sistema hidropónico NFT





#### Anexo 12. Conexión de energía eléctrica para el riego



#### Anexo 13. Trasplante de las tres variedades de frutilla





**Anexo 14. Crecimiento vegetativo bajo el sistema NFT**



**Anexo 15. Floración de la frutilla en el sistema hidropónico**



**Anexo 16. Fructificación bajo el sistema NFT****Anexo 17. Variedad Albión bajo el sistema NFT****Anexo 18. Variedad San Andrea bajo el sistema NFT**

**Anexo 19. Variedad Monterrey bajo el sistema NFT****Anexo 20. Peso fresco del fruto****Anexo 21. Diámetro del fruto**

**Anexo 22. Grados Brix de la frutilla bajo el sistema NFT**



**Anexo 23. Muestras de peso seco del fruto, parte aérea y raíz**



**Anexo 24. Frutillas de las tres variedades en sistema hidropónico NFT**