

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR
DE SALVATIERRA**



**ANÁLISIS DE TRES DIFERENTES
DOSIS DE FERTILIZACIÓN LÍQUIDA EN
PIMIENTO MORRÓN (*Capsicum annuum* L.)
BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO.**

**TITULACIÓN INTEGRAL
(TESIS)**

**Elaborada por:
MARIA ENGRACIA GARCIA TOLEDO**

**Para obtener el título de:
INGENIERA EN INNOVACIÓN AGRÍCOLA SUSTENTABLE**

**Director de Tesis:
M.E. WALTER MANUEL ZÚÑIGA MALDONADO**

Salvatierra, Gto.

Junio, 2025



ANEXO XXXIII.
FORMATO DE LIBERACIÓN DE PROYECTO PARA LA TITULACIÓN INTEGRAL

C. ING. LIZBETH ESTEFANÍA ESCOBAR PANIAGUA
Jefe del Departamento de Servicios Escolares ITESS
PRESENTE

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto de titulación integral para para su impresión y realización del acto de examen profesional:

Nombre del estudiante y/o egresado:	María Engracia García Toledo
Carrera:	INNOVACIÓN AGRÍCOLA SUSTENTABLE
No. de control:	AG20110237
Nombre del proyecto:	Análisis de tres diferentes dosis de fertilización líquida en Pimiento morrón (<i>Capsicum annuum</i> L.) bajo condiciones de invernadero.
Producto:	Tesis

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica

M.E WALTER MANUEL ZÚÑIGA MALDONADO
Coordinador de Ing. Innovación Agrícola

ME. Walter Manuel Zuñiga Maldonado	M.E. Maribel Ramos Aguilar	M.E. Jaime Iván Melesio Enríquez
DIRECTOR	REVISOR 1	REVISOR 2

* solo aplica para el caso de tesis o tesina

c.c.p. Expediente



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Manuel Gómez Morín #300 Comunidad de Janicho, Salvatierra,
Guanajuato, Méx. C.P. 38900 Tels. 466 663 98 00 Ext. 112
e-mail:marosas@itess.edu.mx www.itess.edu.mx





Educación

Secretaría de Educación Pública

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE SALVATIERRA**

COORDINACIÓN DE INNOVACIÓN EN AGRÍCOLA SUSTENTABLE

**TITULACIÓN INTEGRAL
(TESIS)**

Presentada por:

MARIA ENGRACIA GARCIA TOLEDO

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial
para obtener el título de

INGENIERO EN INNOVACIÓN AGRÍCOLA SUSTENTABLE

Aprobado por

M.E Walter Manuel Zuñiga Maldonado
Director de Tesis

M.E. Maribel Ramos Aguilar
Revisor

M.E. Jaime Iván Melesio Enríquez
Revisor

M.E Walter Manuel Zuñiga Maldonado
Coordinador de Innovación en Agrícola Sustentable

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a mis padres por creer en mí, motivarme, por su inmenso apoyo y su grato amor. A mis hermanos, por demostrarme su apoyo durante esta etapa y ayudarme a cumplir esta meta a su lado.

Agradezco la oportunidad de crecimiento laboral a la empresa Santi-Agro, a todas las personas que han sido parte fundamental de mi crecimiento profesional, de forma especial le agradezco a mis asesores de tesis Walter Manuel Zuñiga y Leopoldo Solano Suarez por compartir su conocimiento, experiencia y sobre todo por su apoyo incondicional en este trabajo.

DEDICATORIAS

A mi madre, Maria Amparo Toledo Lara con todo mi cariño y respeto. Alimentaste todos mis sueños y me regalaste tus mejores años, hoy logramos esto juntas.

A mi padre, José Garcia Prieto por darme la oportunidad que una vez él no tuvo, con todo mi amor y agradecimiento.

A mis hermanos; Tere y José, por compartir momentos como este y ayudarnos mutuamente.

A mi cuñado Noe, por compartir sus ideas y conocimientos conmigo.

A mi amiga incondicional Adriana Collí, por acompañarme durante toda esta etapa en mi vida.

ÍNDICE

RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Planteamiento del problema	4
1.4 Justificación.....	5
1.5 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo General	6
1.4.2 Objetivos específicos	6
1.6 Hipótesis	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	7
2.1 Generalidades del pimiento morrón.....	7
2.1.1 Origen	7
2.1.2 Usos.....	7
2.1.3 Propiedades nutritivas	8
2.1.4 Importancia económica	8
2.1.4.1 Internacional	8
2.1.5 Taxonomía	9
2.2 Morfología	10
2.2.1 Planta.....	10

2.2.2 Raíz	10
2.2.3 Hoja	10
2.2.4 Flor.....	10
2.2.5 Fruto	11
2.2.6 Tallo principal.....	11
2.3 Requerimientos edafoclimáticos	11
2.3.1 Temperatura	11
2.3.2 Suelo.....	12
2.3.3 Humedad.....	12
2.3.4 Riego.....	12
2.3.5 Fertilización	13
2.4 Prácticas culturales	14
2.4.1 Tutorado.....	14
2.4.2 Poda de formación	14
2.4.3 Poda de brotes laterales	14
2.4.4 Destallado.....	15
2.4.5 Aclareo del fruto.....	15
2.5 Plagas	15
2.6 Enfermedades	16
2.7 Cosecha	18
2.3 Fertilizantes agrícolas	18
2.3.1 Tipos	19
2.7.2 Nitratos.....	20
2.7.3 Calcium + Boro	20
2.7.4 Magnesium	21

2.7.5 Black Root	21
2.7.6 00-33-53.....	21
2.7.7 MKP.....	22
CAPÍTULO III. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES	23
3.1 Descripción del área de estudio	23
3.2 Diseño experimental.....	24
3.3 Establecimiento del experimento.....	24
3.3.1 Limpieza del terreno	25
3.3.2 Preparación del terreno	25
3.3.3 Desinfección del suelo	25
3.3.4 Prueba de fitotoxicidad	26
3.3.5 Establecimiento del cultivo	26
3.3.6. Análisis de suelo	26
3.4 Aplicación de tratamientos	26
3.5 Parámetros a evaluar	29
3.5.1 Altura de la planta	30
3.5.2 Número de flores.....	30
3.5.3 Número de frutos.....	30
3.5.4 Rendimiento.....	30
3.5.5 Concentración de iones en suelo	31
3.5.6 Muestras de peciolo (ECP)	31
3.5.7 Toma de datos	31
3.8 Análisis estadístico.....	32
CAPITULO IV. RESULTADOS	33
4.1.1 Altura promedio.....	33

4.1.2 Número de frutos.....	35
4.1.3 Peso promedio	37
4.1.4 Número de flores.....	37
4.1.5 Rendimiento.....	39
4.1.6 Costos.....	40
4.1.7 Estimación Costo Beneficio	41
4.1.8 Concentración de iones en el suelo	42
4.1.9 Resultados de ECP	44
4.2 Discusión.....	48
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
5.1 Conclusiones	50
5.2 Recomendaciones	50
FUENTES DE INFORMACIÓN	52
CAPITULO 6. ANEXOS	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Producción de pimienta a nivel mundial.	8
Tabla 2. Principales estados productores de chile morrón en México.	9
Tabla 3. Taxonomía del chile morrón.	9
Tabla 4. Temperaturas óptimas para pimienta morrón.	12
Tabla 5 Lamina de riego para pimienta morrón.	13
Tabla 6. Principales plagas en el cultivo de pimienta.	16
Tabla 7 Principales enfermedades en el cultivo de pimienta.	17
Tabla 8. Diseño en franjas comparativas.	24
Tabla 9 Aporte de nutrientes (Meq) para la solución nutritiva.	27
Tabla 10 Dosis inicial para la preparación de los tanques establecidos en la nave... ..	28
Tabla 11 Inyecciones fitosanitarias.	29
Tabla 12 Resultados promedio de las variables evaluadas.	33
Tabla 13 Resultados promedio de las variables evaluadas.	34
Tabla 14 Resultado de comparación de medianas mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.	34
Tabla 15 Mediana de número de frutos registrados por tratamiento semanalmente.	36
Tabla 16 Clasificación de medias para la variable “Número de flores”.....	38
Tabla 17 Rendimiento total de los tratamientos.	39
Tabla 18. Estimación aproximada costo-beneficio de los tratamientos.	41
Tabla 19. Resultados de iones en el suelo del testigo convencional.	42
Tabla 20. Resultados de iones en el suelo de los tratamientos con dosis de fertilizantes líquidos.....	43

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Resultado de altura promedio entre los tratamientos.	35
Gráfico 2. Resultado del promedio de frutos amarrados por tratamiento.	36
Gráfico 3. Promedio de peso del fruto por tratamiento.	37
Gráfico 4. Promedio de número de flores por tratamiento.	38
Gráfico 5. Diferencia entre ganancias por tratamiento.	40
Gráfico 6. Costos totales por tratamiento	40
Gráfico 7. Resultados del ECP de pH por tratamiento.	45
Gráfico 8. Resultados promedio del NO_3^- por tratamiento.	45
Gráfico 9. Resultados semanales del ECP de K^+ por tratamiento.	46
Gráfico 10. Resultados promedio de Na^+ por tratamiento.	47
Gráfico 11. Resultados promedio de °Brix.	47

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1 Ubicación de la empresa Santi-Agro.	23
Figura 2 Distribución de tratamientos en campo.	25
Figura 3. Combos HORIBA LQUAtwin.	31

RESUMEN

En la actualidad los fertilizantes líquidos permiten un suministro de nutrientes a las plantas de forma rápida y eficaz debido a que su formulación. Además, facilitan la preparación de mezclas que contengan los diferentes nutrientes con las proporciones específicas para cubrir las necesidades de las plantas de un cultivo particular. Debido a esto, el objetivo de este proyecto fue evaluar la respuesta de crecimiento y desarrollo de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) a la aplicación de diferentes dosis de fertilizantes líquidos en la solución nutricional. El proyecto se llevó a cabo en uno de los invernaderos de la empresa Santi-Agro Maravatío S.A de C.V, ubicada en el municipio de Santiago Maravatío, Guanajuato. Se eligieron tres diferentes dosis de fertilización y un testigo, se realizaron análisis de suelo y extracto de peciolo, así como medición de diferentes parámetros fisiológicos. Los resultados mostraron que no existe una diferencia significativa en cuanto a crecimiento y desarrollo del cultivo en cuanto a las dosis de fertilización, además no existieron diferencias significativas en cuanto a rendimiento, sin embargo, si existió una diferencia en costos de producción siendo los fertilizantes líquidos (Newbauer) los más costosos, por lo que el uso de fertilizante soluble se definió como el más rentable para la nutrición del cultivo de pimiento morrón.

Palabras clave: Fertilizantes, Pimiento Morrón, Crecimiento, Rendimiento y Costos.

ABSTRACT

Currently, liquid fertilizers allow a quick and effective supply of nutrients to plants due to their formulation. In addition, they facilitate the preparation of mixtures that contain different nutrients with specific proportions to meet the needs of the plants of a particular crop. Due to this, the objective of this project was to evaluate the growth and development response of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) to the application of different doses of liquid fertilizers in the nutritional solution. The project was carried out in one of the greenhouses of the company Santi-Agro Maravatío S.A de C.V, located in the municipality of Santiago Maravatío, Guanajuato. Three different fertilization doses and a control were chosen, soil and petiole extract analyzes were carried out, as well as measurement of different physiological parameters. The results showed that there is no significant difference in terms of growth and development of the crop in terms of fertilization doses, in addition there were no significant differences in terms of yield, however, there was a difference in production costs with liquid fertilizers (Newbauer) being the most expensive, so the use of soluble fertilizer was defined as the most profitable for the nutrition of the bell pepper crop.

Keywords: Fertilizers, Bell Pepper, Growth, Yield, Costs.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Introducción

México se ha ubicado en los últimos años como el principal país exportador de pimientos frescos con una participación mundial del 29%, siendo Estados Unidos, Canadá y Reino Unido los principales destinos del producto mexicano. El volumen de producción en México en el año 2022 fue de aproximadamente 562,075 toneladas con un valor aproximado a los 8,540 millones de pesos. Los estados con mayor superficie sembrada de pimiento en México son Sinaloa con 3,876 ha, Sonora con 1,377 ha, Guanajuato con 554.86 ha, Jalisco con 472 ha, Baja California Sur con 228.50 ha y Coahuila con 193 ha (SIAP, 2022).

El pimiento morrón requiere grandes cantidades de nutrientes. Como verdura perenne-anual, puede tener varios ciclos de cosecha desde el cuajado hasta el tamaño y la madurez del fruto. Por lo tanto, el crecimiento vegetativo y generativo se produce al mismo tiempo después de la primera fructificación. (Pimiento, 2024).

Es importante preparar un programa de fertilización para cada siembra de pimiento tomando en consideración los siguientes factores: tipo de suelo, población de plantas por cuerda, cantidad y frecuencia de aplicación del agua de riego o precipitación, ciclo de crecimiento de la cosecha, método de aplicación y frecuencia de fertirrigación; además de las diferencias regionales o estacionales y las prácticas variables de cultivo entre una finca y otra. En el mercado actual existe una gran diversidad de fertilizantes líquidos que son utilizados en diferentes cultivos tanto hortícolas, cultivos extensivos y cultivos frutales. La cantidad y tipo de fuentes disponibles dependen del sistema de producción, nivel de tecnificación y del desarrollo del mercado de fertilizantes. (Melgar et al., 2014).

En la empresa Santi-Agro Maravatio S.A de C.V. se ha optado por dar un cambio en fertilización, manejo integrado y producción, por lo que se planteó el objetivo de evaluar fertilizantes líquidos NEWBAUER en el cultivo. Se establecieron cuatro tratamientos en la nave Hortalizas y a partir de esto se evaluó semanalmente parámetros

fisiológicos y iones en suelo. Se realizó un diseño de franjas comparativas para determinar las diferencias entre tratamientos con una prueba de Kruskal-Wallis. Los resultados obtenidos indicaron que no existe diferencia significativa entre tratamientos por lo que no es una opción viable en cuanto costos.

1.2 Antecedentes

De acuerdo al análisis de Bustos, et al; (2021), Los efectos de los fertilizantes líquidos de ortofosfato y polifosfato en la papa se ven reforzados por la adición de ácido fúlvico al suelo. Se realizó un estudio en papa los efectos de fertilizantes líquidos de fósforo en el desarrollo y rendimiento de un cultivo de papa en un Andisol en el sur de Chile. Se aplicaron diez tratamientos antes y / o después de emergencia, incluyendo fertilizantes a base de ortofosfato o polifosfato de amonio, aplicados solos o en combinación con sustancias fúlvicas y fertilizantes granulares; además, se incluyó un control no fertilizado (T0). Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de fertilizantes en cuanto a rendimiento, número total de tallos y tamaño de los tubérculos. El contenido de P foliar fue similar entre los fertilizantes líquidos probados, pero el número de tallos fue mayor en el tratamiento de combinación de polifosfato de amonio / ácido fúlvico. Además, se obtuvo una mayor producción de papas (38%) y proporción de tubérculos grandes (17%) mediante la aplicación de fertilizantes líquidos de fósforo.

La aplicación de fertilizantes líquidos es un componente vital en la agricultura, debido a que aportan a las plantas los nutrientes esenciales para su desarrollo y producción. De acuerdo con Arana (2024) menciona la eficacia y sinergias entre fertilizantes líquidos y orgánicos en la productividad agrícola. Se desarrolló a través de la recopilación de información de sitios web, artículos científicos, fuentes y repositorios bibliográficos que son accesibles a través de plataformas digitales.

Por lo tanto, Arana concluyo que los biofertilizantes son una alternativa prometedora a los fertilizantes químicos, y su combinación adecuada puede mejorar el rendimiento

de los cultivos y potenciar el desarrollo vegetal, siempre que se apliquen en el momento y forma correctos.

De acuerdo con León, Varela, Amarillas & Lightbourn (2021), en comparación el extracto saturado de pasta del suelo, con el tratamiento Nubiotek, se presentó un mejor control del contenido de nutrientes y de compuestos que pueden ser dañinos para el cultivo, tales como sodio y bicarbonatos. El contenido nutricional a nivel foliar de pimiento morrón var. Mozart se mostró similar para ambos tratamientos. La fertilización Coloidal Nubiotek indujo un mejor desarrollo vegetativo del pimiento morrón var. Mozart incluyendo mayor área foliar y presentó un mayor rendimiento de frutos de pimiento morrón con mayor calidad de tamaño e incluso °Brix, lo que influye en una mejor rentabilidad para el productor.

En los ensayos realizados por Spinell et al (2004) en arroz (campana 2004/05, Entre Ríos, Argentina), se compararon distintas fuentes y momentos de aplicación de fertilizantes nitrogenados líquidos y sólidos. Los resultados mostraron que el UAN y la urea granulada presentaron eficiencias similares en la utilización del nitrógeno. Aunque no hubo diferencias significativas, la urea mostró una leve mejor eficiencia, especialmente en aplicaciones únicas. La adición de tiosulfato de amonio mejoró la respuesta, posiblemente por el aporte de azufre o por reducir pérdidas de nitrógeno por volatilización.

Por su parte, Ferraris y Couretot (2006), evaluaron diferentes dosis de aplicación de nitrógeno y su interacción con el azufre utilizando fuentes líquidas, en el cultivo de maíz. En el trabajo los autores observan que la combinación de los fertilizantes líquidos azufrados y nitrogenados, permitieron incrementar significativamente los rendimientos del cultivo. El efecto N fue independiente de la dosis. Si bien no determinó interacción N x S estadísticamente significativa, los resultados del ensayo confirman el efecto muy importante del S como elemento que, a través de un efecto aditivo, permite maximizar la eficiencia del uso del nitrógeno (EUN).

1.3 Planteamiento del problema

En los últimos años, el uso de fertilizantes se ha consolidado como uno de los principales factores de contaminación ambiental. Su aplicación indiscriminada afecta tanto a las aguas superficiales como subterráneas, y deteriora la estructura del suelo, reduciendo su fertilidad a largo plazo. En particular, los fertilizantes solubles impactan negativamente la biodiversidad de los ecosistemas agrícolas.

El nitrógeno, uno de los nutrientes esenciales para la agricultura por su papel en la composición de enzimas, proteínas, ADN y clorofila, es también uno de los más problemáticos cuando se aplica en exceso. Sus principales impactos ambientales incluyen la eutrofización de cuerpos de agua, acidificación del suelo y toxicidad para organismos acuáticos y terrestres, lo que contribuye a una aceleración del deterioro ambiental. (Ulibarry, 2019)

Actualmente, se estima que más del 50% del fertilizante convencional aplicado en los cultivos se pierde antes de ser absorbido por las plantas, debido a múltiples factores. Además, una fracción significativa de los nutrientes queda retenida en el suelo sin ser aprovechada, lo que representa no solo una pérdida económica, sino también un obstáculo para una nutrición vegetal eficiente. La forma en que se aplican la mayoría de los fertilizantes contribuye al deterioro del suelo, obligando a las plantas a gastar más energía para absorber los escasos nutrientes disponibles.

La agricultura convencional depende en gran medida del uso de fertilizantes minerales solubles para maximizar el rendimiento de los cultivos. Sin embargo, su uso excesivo ha provocado graves consecuencias ambientales, como eutrofización, toxicidad en cuerpos de agua, contaminación de aguas subterráneas y del aire, degradación del suelo, desequilibrios ecológicos y pérdida de biodiversidad.

Los principales impactos negativos de los fertilizantes sobre los recursos hídricos incluyen la lixiviación y la contaminación de aguas subterráneas y superficiales. En el suelo, estos impactos se manifiestan en alteraciones del pH, deterioro de la estructura

física y reducción de la microfauna benéfica. Por su parte, la contaminación del aire se relaciona directamente con prácticas inadecuadas de fertilización.

1.4 Justificación

El uso de fertilizantes tradicionales ha demostrado generar impactos negativos significativos cuando se aplican en exceso o de manera inadecuada. Entre los principales problemas asociados se encuentran la contaminación de cuerpos de agua por lixiviación de nutrientes, la alteración del pH del suelo, la degradación de su estructura, la fitotoxicidad por exceso de sales, la corrosión en sistemas de riego y la disminución de la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas (Camargo & Alonso, 2006; FAO, 2019). Estas consecuencias no solo afectan la productividad agrícola, sino que también comprometen la sostenibilidad de los sistemas de producción.

Como respuesta a estas problemáticas y ante la necesidad de una agricultura más eficiente y sustentable, han surgido alternativas como el uso de fertilizantes líquidos. Este tipo de fertilización, aplicada vía foliar o a través del sistema de riego, permite una absorción más rápida y eficiente por parte de las plantas en comparación con los fertilizantes granulados tradicionales (Fernández & Eichert, 2009). Además, su facilidad para disolverse en agua facilita una aplicación más precisa y homogénea, garantizando una distribución equitativa de nutrientes y reduciendo el riesgo de deficiencias o excesos localizados.

Otra ventaja relevante de los fertilizantes líquidos es su capacidad de personalización. Según las características del suelo, el historial del cultivo y los requerimientos específicos de la planta, se puede formular una mezcla adecuada en términos de pH y concentración de nutrientes, lo cual optimiza la eficiencia nutricional y mejora el rendimiento agrícola (Mengel & Kirkby, 2001).

En el caso específico del cultivo de pimiento, existe escasa información científica relacionada con el uso de fertilizantes líquidos. Esta falta de datos limita la toma de

decisiones informadas por parte de los productores. Por ello, se considera fundamental realizar investigaciones que permitan evaluar y comparar el desempeño agronómico y económico de esta técnica frente a la fertilización convencional. Los resultados obtenidos contribuirán al desarrollo de recomendaciones técnicas adaptadas a las condiciones locales, facilitando una mayor rentabilidad y sostenibilidad para los agricultores de la región.

1.5 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Analizar tres dosis de fertilización en la producción de Pimiento Morrón (*Capsicum annuum* L.).

1.4.2 Objetivos específicos

- Evaluar la respuesta de crecimiento, desarrollo y rentabilidad en la aplicación de diferentes dosis de fertilización.
- Determinar la rentabilidad en costos de producción de diferentes dosis de fertilizantes en la producción de pimiento morrón.
- Obtener el extracto de peciolo para determinar los nutrientes esenciales en la planta de pimiento.

1.6 Hipótesis

Hipótesis nula: No existe diferencia significativa entre los tratamientos en el desarrollo, crecimiento y rentabilidad en la producción de Pimiento Morrón.

Hipótesis alterna: Si existe diferencia significativa entre los tratamientos en el desarrollo, crecimiento y rentabilidad en la producción de Pimiento Morrón.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Generalidades del pimiento morrón

2.1.1 Origen

El pimiento es un alimento que tiene su origen en el continente americano, principalmente en la zona Centro y norte de Sudamérica (Gobierno de México, 2019). La planta es originaria de México, Bolivia y Perú, donde además del *Capsicum annum* L. se cultivaban por lo menos, cuatro especies más. Fue traído al Viejo Mundo (Europa, Asia, África y las islas circundantes) por Cristóbal Colón en su primer viaje. Los indígenas americanos identificaban el fruto por el nombre de chili, pero los españoles y portugueses, lo etiquetaron con el nombre de pimiento de Brasil. Ya en el siglo XVI, su cultivo se había extendido por toda España, desde donde se distribuyó a Italia y luego Francia, hasta alcanzar el resto de Europa y del mundo. La introducción del cultivo de pimiento en Europa generó un avance importante en las costumbres culinarias, reemplazando en gran medida a la pimienta negra (Larrazabal, 2021).

2.1.2 Usos

En México es utilizado como especia o condimento, posee alto valor nutritivo y bajo contenido en grasas, así como gran cantidad de agua, rico en vitaminas, minerales, carbohidratos y fibra. (SADER, 2022)

El pimiento es una importante materia prima para la producción de jugos y extractos, tanto líquidos como en polvos, por su alto contenido de antioxidantes y de carotenoides específicos como la capsantina/capsorubina. Estos compuestos son sustancias que le otorgan el picor a los pimientos picantes ampliamente utilizados en la industria de alimentos, farmacéutica y cosméticos, teniendo alta demanda en países como Estados Unidos, Japón, Corea y Europa. Así, la agregación de valor y diversificación de productos a partir de pimiento podrían no sólo mejorar su competitividad, sino mejorar el abanico de productos para el mercado de exportación, ya sea en las categorías de

semi procesados, procesados y refinados como ingredientes y aditivos especializados. (Pino, 2022)

2.1.3 Propiedades nutritivas

El pimienta destaca por su alto contenido en vitamina C, vitamina B2, B6, beta carotenos y vitamina E. Por ello, es adecuado para prevenir enfermedades degenerativas y crónicas. Específicamente, la beta caroteno ayuda a prevenir el cáncer, hemorragias cerebrales, las cataratas y enfermedades cardiacas. (Martínez *et al* 2016).

2.1.4 Importancia económica

2.1.4.1 Internacional

China ocupa el primer lugar a nivel mundial en producción de pimienta con un total de 16, 650, 855 toneladas, seguido por México con una producción de 2, 818, 443 toneladas e Indonesia se posiciona en tercer lugar con una producción de 2, 772, 594 toneladas (Tabla 1).

Tabla 1 Producción de pimienta a nivel mundial.

Lugar	País	Producción (Ton)	Superficie (Ha)	Rendimiento (Kg/m ²)
1	China	16, 650, 855	734,961	2.22
2	México	2, 818, 443	157, 911	1.99
3	Indonesia	2, 772, 594	314, 772	0.90
4	Turquía	2, 636, 905	91, 491	3.95
5	España	1, 472, 850	21, 750	6.89
6	Egipto	1, 055, 605	58, 402	1.76
7	Nigeria	762, 174	101, 350	0.75
8	Argelia	717, 659	22, 152	3.24
9	EE. UU.	715, 220	19, 668	3.64
10	Países Bajos	430, 000	1530	28.1

Fuente: FAO (2022)

2.1.4.2 Nacional

Entre los principales estados productores de chile morrón en México se encuentra Sinaloa y Sonora con una producción de 272,791.10 y 104,518.50 toneladas. Mientras que Guanajuato ocupa el tercer lugar a nivel nacional con una producción total de 54,219.13 toneladas (Tabla 2).

Tabla 2. Principales estados productores de chile morrón en México.

Lugar	Entidad	Superficie sembrada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (udm/ha)
1	Sinaloa	387,600	272, 791.1	70.42
2	Sonora	137700	104, 518. 50	75.9
3	Guanajuato	554.86	54, 219.13	97.72
4	Jalisco	472	52, 504. 72	111.24
5	Querétaro	108.35	22, 737.14	209.85
6	Coahuila	193	18, 595.7	96.35
7	Baja California Sur	228.5	16, 397.35	71.76
8	Hidalgo	42	5, 174.8	123.21

Fuente: SIAP (2022)

2.1.5 Taxonomía

Tabla 3. Taxonomía del chile morrón.

Reino	<i>Plantae</i>
Clase	<i>Magnoliopsida, Angiospermae</i>
Subclase	<i>Dicotyledoneae</i>
Orden	<i>Solanales</i>
Familia	<i>Solanaceae</i>
Genero	<i>Capsicum</i>
Especie	<i>Capsicum annuum L.</i>
División	<i>Spermatophyta</i>

Fuente: Vázquez (2007)

2.2 Morfología

2.2.1 Planta

Herbácea perenne, con ciclo de cultivo anual de porte variable entre los 0,5 metros (en determinadas variedades de cultivo al aire libre) y más de 2 metros (gran parte de los híbridos cultivados en invernadero). (UNAN, 2015).

2.2.2 Raíz

La raíz de la planta de pimiento es pivotante y tiene muchas raíces adventicias ramificadas. Estas raíces pueden alcanzar hasta un metro de profundidad, pero en cultivos grandes suelen estar a unos 25 o 30 centímetros. (Quintero, 2000).

2.2.3 Hoja

Entera, lampiña y lanceolada, con un ápice muy pronunciado (acuminado) y un pecíolo largo y poco aparente. El haz es glabro (liso y suave al tacto) y de color verde más o menos intenso (dependiendo de la variedad) y brillante. El nervio principal parte de la base de la hoja, como una prolongación del pecíolo, del mismo modo que las nerviaciones secundarias que son pronunciadas y llegan casi al borde de la hoja. La inserción de las hojas en el tallo tiene lugar de forma alterna y su tamaño es variable en función de la variedad, existiendo cierta correlación entre el tamaño de la hoja adulta y el peso medio del fruto. (Cuevas, 2016).

2.2.4 Flor

Las flores aparecen solitarias en cada nudo del tallo, con inserción en las axilas de las hojas. Son pequeñas y constan de una corola blanca. La polinización es autógama, aunque puede presentarse un porcentaje de alogamia que no supera el 10%. (InfoAgro, 2023).

2.2.5 Fruto

El fruto es hueco, con innumerables semillas agrupadas en el centro y adheridas a la membrana blanca a lo largo de las paredes. Todos los pimientos morrones verdes comienzan siendo verdes en la planta. El color de los pimientos cambia de verde a amarillo, naranja y rojo cuanto más tiempo se les permite madurar en la planta. Los pimientos verdes presentan un perfil de sabor más amargo. Los pimientos anaranjados y amarillos son más dulces, siendo el más dulce el pimiento rojo (Masterclass, 2023).

2.2.6 Tallo principal

Tallo irregularmente angular, de hasta 1 cm de diámetro, muy ramificado, de color verde a marrón verdoso, a menudo con manchas violáceas cerca de los nudos (CABI, 2019).

2.3 Requerimientos edafoclimáticos

2.3.1 Temperatura

Oscila entre 18 y 28 °C. A temperaturas mayores de 32 °C y en condiciones de baja humedad relativa o del ambiente, se provocan abortos o caída de botones florales y flores, así como la reducción de la capacidad del polen para la fecundación de las flores. Como se muestra en la tabla 4, las temperaturas nocturnas mayores a 30 °C pueden causar el aborto de todas las flores y botones florales; por el contrario, la polinización aumenta cuando la temperatura diaria baja de 20 °C, siendo esta la temperatura óptima para el cuaje. (DANE, 2015).

Tabla 4. Temperaturas óptimas para pimiento morrón.

Fases del cultivo	Temperatura C°		
	Óptima	Mínima	Máxima
Germinación	20-25	13	40
Crecimiento vegetativo	20-25 (Día) 16-28 (Noche)	15	32
Floración y fructificación	26-28 (Día) 18-20 (Noche)	18	35

Fuente: Alcántar-González (2016)

2.3.2 Suelo

Los suelos adecuados para el pimiento son los franco-arenosos, profundos y principalmente bien drenados. Los valores de pH óptimos oscilan entre 6.5 y 7 (Aunque puede resistir ciertas condiciones de acidez). En cuanto al agua de riego el pH óptimo es de 5.5 a 7.

2.3.3 Humedad

La humedad relativa optima oscila entre el 50% y el 70%, humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades y dificultan la fecundación. La coincidencia de altas temperaturas y baja humedad relativa puede ocasionar la caída de flores y de frutos. (Alcántar González, 2016)

2.3.4 Riego

De acuerdo con la FAO (2018), los requisitos totales de agua en el pimiento (ET_m) fluctúan entre 600 a 900 mm y hasta 1.250 mm para variedades con largos períodos de crecimiento y cosecha escalonada. El coeficiente del cultivo (kc) que relaciona la evapotranspiración de referencia (ET_o) con la evapotranspiración máxima (ET_m) es 0,4 después del trasplante, 0,95 a 1,1 durante la cobertura total y para pimientos frescos 0,8 a 0,9 durante la cosecha. Según Condés Rodríguez (2017), el pimiento al

aire libre requiere hasta 4.500 m³ de agua/ha, y en invernaderos hasta 8.000 m³ de agua/ha.

Tabla 5 Lamina de riego para pimiento morrón.

Época	Litros/ m ²	Litros/Ha	No° De riegos	m ² /Ha
Antes de la plantación	-		1	250,00
Tras la plantación	-		1	75,00
Septiembre-Octubre-Noviembre	1-2	15,000	35	525,00
Diciembre-Enero-Febrero	2-2.5	22,500	45	1,012,50
Marzo-Abril-Mayo	2-5.3	27,500	45	1,237,50
Total	-	-	127	3,100,00

Fuente: Proain (2020)

2.3.5 Fertilización

Teniendo en cuenta que las extracciones del cultivo a lo largo del ciclo guardan una relación de 3,5-1-7-0,6 de N, P205, K20 y MgO, respectivamente, las cantidades de fertilizantes a aportar variarán notablemente en función del abonado de fondo y de factores como: calidad del agua de riego, tipo de suelo, climatología, etc. Tras el cuajado de los primeros frutos se riega con un equilibrio N-P-K de 1-1-1, que va variando en función de las necesidades del cultivo hasta una relación aproximada de 1,5-0,5-1,5 durante la recolección (InfoAgro, 2003)

Para obtener un rendimiento de 21 ton/Ha de pimiento rojo es necesario extraer del suelo un total de 410 kg de N, 120 kg de P205, 675 kg de K2 y 54 kg de MgO. (Del Pino, 2022)

2.4 Prácticas culturales

2.4.1 Tutorado

El tutorado de las plantas de pimiento se realiza a los 25 días después del trasplante, con la finalidad de mantener la planta erguida y facilitar la entrada de luz a través del dosel de las plantas para favorecer el proceso fotosintético. Se utiliza rafia blanca la cual se sujeta con anillos en la parte basal de la planta y en el otro extremo con el alambre galvanizado colocado a una altura de 3 m de alto. Se dejan dos tallos por planta por lo que se utilizan dos hilos por planta. (Almeida, 2023)

2.4.2 Poda de formación

Con la poda se delimita el número de tallos con los que se desarrollará la planta (normalmente 2 o 4). El fruto de la bifurcación principal “Y” también debe ser eliminado de lo contrario la producción se retardará. (Del Castillo, *et al.*, 2004). En los casos necesarios se realizará una limpieza de las hojas y brotes que se desarrollen bajo la “Y” principal. (Infoagro, 2023)

A esta labor también se le conoce como desbrote de piso cero. El cual consiste en retirar el primer brote que genera la planta, cuando la planta empieza a crecer se elimina cualquier ramificación debajo de la cruz con el objetivo de llevar la energía a las ramas principales que darán lugar a los frutos.

2.4.3 Poda de brotes laterales

Cuando el tallo principal empieza a crecer y engrosar, es común que broten más tallos secundarios debajo de la bifurcación, sin embargo, estos tienden a ser muy delgados y no formarán frutos grandes y de buena calidad, por lo cual tienen que eliminarse lo más pronto posible únicamente realizando un pinchado con las manos. Generalmente se hace sólo una vez al inicio del crecimiento de las plantas.

En este punto se retiran los brotes de los laterales con el objetivo de mejorar la aireación de la planta, se eliminan las hojas y hojas tupidas, al realizar esta labor se evitan enfermedades y condiciones desfavorables para la planta. Además de aumentar el crecimiento y rendimiento. (Almeida, 2023)

2.4.4 Destallado

El destallado de la planta consiste en eliminar los tallos inferiores, y por tanto los más antiguos del pimiento para permitir airear la planta. (Sordo, 2022)

2.4.5 Aclareo del fruto

Normalmente es recomendable eliminar el fruto que se forma en la primera “cruz” con el fin de obtener frutos de mayor calibre, uniformidad y precocidad, así como mayores rendimientos. En plantas con escaso vigor o endurecidas por el frío, una elevada salinidad o condiciones ambientales desfavorables en general, se producen frutos muy pequeños y de mala calidad que deben ser eliminados mediante aclareo. (InfoAgro, 2012)

2.5 Plagas

Es importante la prevención y control de plagas dentro de la unidad de producción, se prepara un manejo con enfoque en manejo integrado y la implementación de prácticas de cultivo sostenibles. Entre las principales plagas del pimiento morrón se encuentra la araña roja, blanca, minador, mosca blanca y pulgón. (Tabla 6)

Tabla 6. Principales plagas en el cultivo de pimienta.

Nombre común/nombre científico	Daño	Control
Araña roja <i>Tetranychus urticae</i>	Se ubican en el envés de las hojas y se cubre la planta con telas y se alimenta de la savia. rojizo como puntos pequeños en ambos lados de las hojas	Entre los acaricidas más usados se encuentra: <i>bifentrin</i> 10%, polvo mojable 30-40gr/hl.
Araña blanca <i>Polyphagotarsonemus latus</i> (Banks).	Daños a la vegetación, frutos y tallos.	• Trampas de feromonas • <i>Bacillus thuringiensis kurstaki</i> • Cipermetrina • Clorpirifos • Diazinon
Minador <i>Liriomyza trifolii</i>	Penetran en los tejidos de las hojas haciendo túneles o galerías de forma irregular, en la cara de las hojas.	• Trampas de color amarillo o azul • 25-50cm³/Hl de Abamectin • Diazinón 25%
Mosca blanca <i>Trialeurodes vaporariorum</i> , <i>Bemisia tabaci</i>	Provocan manchas en las hojas, decoloración, reducción del crecimiento y de la producción. Secretan sustancias melosas que favorecen el desarrollo de la fumagina.	• Encarsia Formosa • Metomilo 20%, en dosis de: 150-250cm³/Hl. • Trampas amarillas
Pulgón <i>Myzus persicae</i> , <i>Aphis gossypii</i> , <i>Aphis fabae</i>	Constituyen colonias en la parte inferior de las hojas, en los brotes nuevos y en los tallos.	• Dimetoato 20% WP, Dosis 200 G/Hl • Acefato • Etofenprox

Fuente: Di Fabio, Lozoya y Dos Santos (2017)

2.6 Enfermedades

Los pimientos pueden ser afectados por hongos, bacterias y virus en cualquier etapa de su desarrollo. Las enfermedades que afectan los cultivos generalmente reducen su rendimiento y calidad. Un diagnóstico rápido de la causa de la enfermedad y la

implementación de un manejo adecuado de la misma son pasos esenciales para asegurar la protección y el desarrollo del cultivo. (Rosa, 2005). A continuación, se describen las enfermedades más comunes que pueden afectar al pimiento y las posibles prácticas de control. (Tabla 7).

Tabla 7 Principales enfermedades en el cultivo de pimiento.

Nombre común/nombre científico	Daño	Control
Podredumbre (<i>Pythium spp</i>)	Los trasplantes infectados se desarrollan lentamente, tardan en enraizarse y establecerse y en circunstancias extremas, se marchitan y mueren lentamente.	Ciprodinil + Fludioxonil Iprodiona
Tizón tardío (<i>Phytophthora capsici</i>)	Causa pudriciones a nivel de raíces y cuello de la planta. Ésta presenta una marchitez de evolución rápida, sin que aparezcan manchas o una coloración amarillenta.	Esta enfermedad se controla mediante el uso de variedades resistentes, de semillas sanas o tratadas y mediante desinfecciones con fungicidas como los ya citados para antracnosis.
Marchitez <i>Fusarium</i> , <i>Fusarium oxysporum f. sp. capsici</i> .	El sistema vascular se decolora en el tallo y en la raíz. El ataque se observa en áreas locales del cultivo, en las cuales un alto porcentaje de plantas muere.	Desinfectar la semilla: remojar en ácido clorhídrico diluido al 1% por 20 minutos.
Cenicilla (<i>Leveillula taurica</i>)	• Decoloraciones amarillas • Punteado necrótico en el envés • Defoliación	• Benomil • Triforina • Tiofanato
Moteado del pimiento (PeMV)	• Mosaico con moteado de las hojas apicales, producción y el tamaño de frutos disminuye.	• Eliminación de malas hierbas. • Eliminación de plantas afectadas.

Fuente: Gobierno de Alberta Canadá (2024) Di Fabio, Lozoya y Dos Santos (2017) Scherer., et al (2019)

2.7 Cosecha

La recolección de los frutos se realiza cuando estos han alcanzado la madurez. En el hemisferio sur, la colecta comienza a partir del mes de febrero y se extiende hasta mayo. Los frutos para la industria del pimentón y extracción de oleorresina deben recolectarse con una mayor gradación de color y con el menor contenido de agua, hecho que facilita la posterior deshidratación de los mismos. (Di Fabio, et al, 2019).

El pimiento generalmente se cosecha cuando las frutas se han desarrollado completamente en tamaño, y están fisiológicamente según interese. Éstas deben sentirse firmes y crujientes al apretarlas levemente, y con su piel brillante. Algunos mercados, particularmente para el pimiento tipo “campana”, las prefieren cuando están completamente rojas al madurar (amarillas, anaranjadas, púrpuras o marrón en algunas variedades). Para éstas se recomienda como índice de cosecha un mínimo de 50% de coloración. Las frutas de color verde que todavía no están fisiológicamente hechas se consideran de calidad pobre por tener todavía la pared blanda y perder humedad fácilmente (se marchitan y arrugan). Para simplificarles la selección de las frutas a los cosechadores, independientemente del color de fruta a cosechar, muchas veces se les indica que cosechen frutas consideradas “grandes y firmes” dentro de la variedad producida. (Fornaris, 2005)

2.3 Fertilizantes agrícolas

El trabajo en el campo requiere de esfuerzo y dedicación para que las cosechas sean exitosas y se logren rendimientos suficientes que permitan que las y los productores vivan con bienestar. Para ello, el uso de fertilizantes es una opción que ayuda a que se produzcan más alimentos y de mejor calidad pues proveen nutrientes que los cultivos necesitan. Además, con los fertilizantes se puede mejorar la baja fertilidad de los suelos que han sido sobreexplotados. Todo esto promoverá el bienestar de los pueblos, comunidades y de la nación. (SADER, 2022)

2.3.1 Tipos

La correcta clasificación de fertilizantes es fundamental para maximizar el rendimiento de los cultivos y garantizar su salud a largo plazo. Además, una correcta selección nos permitirá determinar la dosis y correcta aplicación para nuestros cultivos.

Dentro de la clasificación de fertilizantes, los orgánicos se destacan por ser esenciales para quienes buscan prácticas agrícolas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Estos fertilizantes se derivan de residuos naturales como estiércol, restos de cosechas, compost y otros materiales biodegradables, contribuyendo a mejorar la calidad del suelo y promoviendo un ecosistema agrícola más equilibrado.

Los sintéticos se encuentran en el otro extremo del espectro. Se fabrican industrialmente y contienen nutrientes en proporciones precisas y fácilmente disponibles para las plantas. Estos fertilizantes son conocidos por su eficacia y rapidez en la corrección de deficiencias nutricionales, lo que los hace muy populares entre los agricultores que buscan resultados inmediatos. (Gonzáles, 2022)

Por otro lado, los fertilizantes mixtos combinan las propiedades de los fertilizantes orgánicos y sintéticos, ofreciendo un equilibrio entre eficiencia y sostenibilidad. Esta opción es ideal para agricultores que buscan maximizar el rendimiento de sus cultivos sin comprometer la salud del suelo.

Los fertilizantes líquidos son conocidos por su rápida absorción y facilidad de aplicación, ideales para sistemas de riego por goteo y cultivos hidropónicos. (Gonzáles, 2022)

Los fertilizantes granulares son una forma popular y eficaz de proporcionar nutrientes a los cultivos. (COMPO EXPERT, 2025)

2.7.1 Fertilizantes NEWBAUER

Los fertilizantes líquidos se aplicaron vía fertirriego utilizando un sistema exclusivo para la inyección de estos. Los fertilizantes utilizados Newbauer cuentan con materias

primas de primera calidad, libres de metales pesados (arsénico, plomo, mercurio, cromo y cadmio), no presentan arrastre de toxicidad por “Inertes” no declarados además de ser 100% solubles, proporcionan un equilibrio químico molecular y no presentan daños al medio ambiente. (Newbauer, 2024)

2.7.2 Nitratos

Fertilizante en forma líquida de reacción química, fuente de calcio, potasio, magnesio y zinc en forma de nitrato, ionizado con nitrógeno nítrico, libre de amonio, sulfatos y cloruro, define el color, sabor, aroma y peso de los frutos, aumentando su vida de anaquel. (Newbauer, 2024)

- Favorece la inducción de floración.
- Diferenciación de tamaño, forma y textura.
- Detallado del fruto.

2.7.3 Calcium + Boro

Fuente de calcio en forma de nitrato más boro formando un efecto sinérgico entre los tres nutrientes. Incrementa la actividad de la polinización y fructificación, así como el contenido de azúcares, promueve el alargamiento celular y aumenta la vida de anaquel de todos los frutos. Favorece el llenado y calidad de los frutos, al mismo tiempo que provoca un crecimiento vegetativo moderado. (Newbauer, 2024)

- Favorece la estructura de la pared celular.
- Forma compuestos de calcio (cementante).
- Reemplaza el sodio y previene daño estructural del suelo.
- Aumenta la síntesis de proteína uracilo.
- Aumenta la formación de celular nuevas.
- Aumenta la eficiencia de la polinización y fructificación.

2.7.4 Magnesium

Es una fuente de magnesio en forma de nitrato. Es base de la estructura molecular de la clorofila dentro del proceso de la fotosíntesis siendo el puente para la biosíntesis celular y obtención de energía metabólica. (Newbauer, 2024)

- La absorción del magnesio está dominada por la absorción pasiva impulsada por la corriente de transpiración.
- Juega un rol como base de la estructura molecular de la clorofila dentro del proceso de la fotosíntesis, aumentando el color verde en las hojas.
- Incrementa la resistencia a enfermedades y aumenta el rendimiento en las plantas. Interviene en las síntesis de xantofilas.
- Mejora la absorción y transporte del Fósforo.

2.7.5 Black Root

Complejo bioquímico a base de Nitrógeno y Fósforo aminoácidos específicos y ácidos orgánicos la suma de sus componentes inducen una respuesta metabólica integral. los ácidos orgánicos estimulan los procesos biológicos para la formación de agregados y mejorar la estructura del suelo, fortalece la quelación con iones metálicos facilitando la absorción de nutrientes ya que los toma de manera inmediata, el propósito es evitar pérdidas por lixiviación, fijación y formación de puentes químicos El fósforo es esencial en la formación de raíces, transferencia de energía en forma de ATP, respiración celular, formación de flores y frutos. El nitrógeno favorece la producción de clorofila, fotosíntesis activa, crecimiento de tejidos vegetativos como hojas y tallos. (Newbauer, 2024)

2.7.6 00-33-53

Fertilizante a base de fósforo (P) y potasio (K+), es libre de nitrógeno, cloruros y sulfatos este fertilizante favorece la formación de flores y frutos, promueve raíces saludables y robustas, influye además en aspectos como el tamaño color sabor y vida

útil de los frutos. Su aplicación contribuye a una maduración más uniforme de la cosecha. (Newbauer, 2024)

2.7.7 MKP

Fuente de fósforo y potasio, también llamado fosfato monopotásico, incrementa el contenido de azúcares y calidad de los frutos. Protege de mejor manera a los vegetales contra estrés hídrico. (Newbauer, 2024)

CAPÍTULO III. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES

3.1 Descripción del área de estudio

La empresa Santi-Agro está ubicada en la comunidad de Santiago Maravatío con coordenadas $20^{\circ} 11' 15''$ N, $-100^{\circ} 59' 51''$ W. Tiene una superficie de 22 hectáreas, la tecnología de las naves es media-baja. Los suelos son de estructura blocoso angular, consistencia firme, textura arcilloso limosa a arcillo arenosa, con pH de 6.8 a 8.9 y de origen aluviocoluvial, el 61.32% de la superficie municipal está destinado a la agricultura, el 0.55% a pastizales, y el 38.13% a matorrales, (Figura 1). Por lo regular el clima es semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad. La temperatura media anual es de 17.7° C, registrándose temperaturas máximas y mínimas de 33° C y 2.2° C respectivamente. La precipitación total anual es de 665.5 milímetros. (Albiz, 2025)

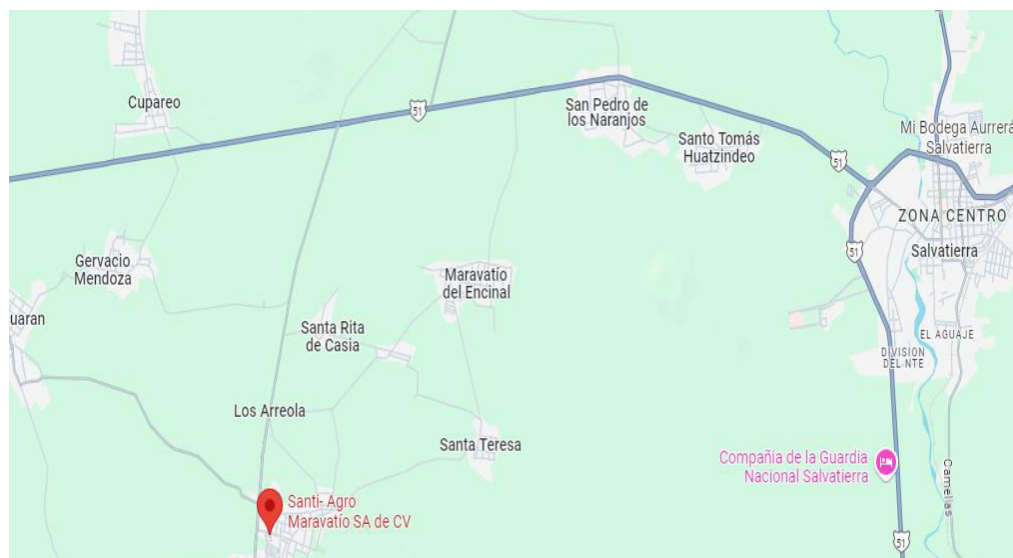


Figura 1. Ubicación de la empresa Santi-Agro.

Fuente: Google Maps (2024).
Figura 1 Ubicación de la empresa Santi-Agro.

Fuente: Google Maps (2024).

3.2 Diseño experimental

Se estableció un diseño en franjas comparativas, seleccionando 30 plantas por tratamiento. El experimento consta de cuatro tratamientos, tomando veinte plantas por tratamiento. El experimento consta de cuatro muestras independientes (Surcos) donde se implementó una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para comparar la distribución de las variables, utilizando un valor crítico de chi-cuadrado, con 4-1 grados de libertad y un nivel alfa de 0,05 para determinar si existe una diferencia significativa entre los tratamientos. Se utilizó esta prueba debido a que los datos obtenidos no siguen una distribución normal, no requiere homogeneidad de varianzas y se utiliza para comparar grupos con diferentes tamaños de muestra. Los fertilizantes se aplicaron vía riego utilizando un sistema de riego convencional para la inyección de fertilizantes. (Richardson, 2018).

Tabla 8. Diseño en franjas comparativas.

<i>Unidad productiva</i>	<i>Superficie (Ha)</i>	<i>Repeticiones</i>	<i>Población</i>	<i>TRATAMIENTOS (Dosis)</i>			
Hortalizas	1.5	4 (Periodos)	120	T1= 100% Soluble	T2= 25% Líquido	T3= 50% Líquido	T4= 75% Líquido
				0% Líquido Testigo	75% Soluble	50% Soluble	25% Soluble

Fuente: Elaboración propia (2025)

3.3 Establecimiento del experimento

Se estableció la variedad Tamayo en la unidad de producción “Hortalizas” Un híbrido naranja de alto rendimiento con buen vigor, calidad y producción temprana. (Bayer, 2023).



Figura 2 Distribución de tratamientos en campo.

Fuente: Propia, (2024)

3.3.1 Limpieza del terreno

Como primer paso para el establecimiento del cultivo se realizó la limpieza del terreno, con el objetivo de eliminar los residuos vegetales y plásticos dentro de la unidad productiva.

3.3.2 Preparación del terreno

Se realizó el subsolado con un arado de picos a una profundidad de 80 centímetros, posterior a ello se realizó el rastreo mediante uso de una rastra y se procedió a realizar el surcado a una distancia de 1.6 metros resultando un total de seis camas por túnel. Después se realizó la colocación de cintillas de riego, seguido el acolchado y finalmente se procedió al riego pesado para permitir llevar al terreno a capacidad de campo.

3.3.3 Desinfección del suelo

Al llegar a capacidad de campo se deja reposar el terreno durante cinco días con la finalidad de activar la microfauna del suelo y se procede a realizar una desinfección

del suelo realizando una inyección de metam sodio a través del sistema de riego. Por lo que la unidad de producción deberá permanecer totalmente cerrada durante 20 días, esto con la finalidad de preparar el suelo para el trasplante y mantenerlo libre de patógenos.

3.3.4 Prueba de fitotoxicidad

Una vez concluida la desinfección, se procedió al trasplante de al menos cuatro plantas por cada medio túnel para realizar una prueba de fitotoxicidad y determinar si el suelo está disponible para el trasplante general.

3.3.5 Establecimiento del cultivo

Una vez pasado cinco días después de la prueba de fitotoxicidad, se corroboró que el suelo estaba apto para el trasplante, se comenzó con el marcado y estacado de camas para el trasplante del cultivo, las plantas se establecieron a una distancia de 20 centímetros aproximadamente obteniendo una densidad de 26,029 plantas.

3.3.6. Análisis de suelo

El análisis solución de suelo por extracción con lisímetro se realizó para determinar los parámetros de fertilidad en el suelo de la unidad de producción asignada y conocer la calidad del agua de riego.

3.4 Aplicación de tratamientos

La primera preparación se realizó el 4 de septiembre, consistió en un volumen de 200 litros y se dividió el riego en tres pulsos de 15 minutos, de acuerdo a las condiciones y respuesta del cultivo tanto la dosis como el volumen de preparación se modificaron. Para la solución nutricional se tomó como base el modelo Steiner y se calculó de acuerdo a los parámetros que se muestran en la Tabla 9. El inicio de la aplicación de la fertilización comenzó durante la semana 36 en base a los meq (miliequivalente) aportados por los fertilizantes líquidos y solubles y consistió en las dosis que se

muestran a continuación en la Tabla 10. Es importante mencionar que la solución nutricional de los tratamientos no se modificó en ningún momento.

La preparación de la solución nutritiva en el cultivo de pimiento se aplicó diariamente por un lapso de doce semanas. Posterior al primer riego con las dosis establecidas se continuó realizando la toma de datos semanal, constantemente se revisó la conductividad eléctrica y pH de la solución, esto con el fin de asegurar la correcta preparación de la solución. A cada tratamiento se le colocó un señalamiento para ser revisados de forma semanal.

Tabla 9 Aporte de nutrientes (Meq) para la solución nutritiva.

APORTE DE NUTRIENTES (MEQ)													
Tratamientos	% Fertilizante líquido	NO ₃	KH ₂ PO ₄	SO ₄	HCO ₃	Cl	NH ₄	K	Ca	Mg	Na	pH	C.E
T1	0%	8.1	1.0	10.3			0.3	5.0	4.7	3.1		5.5	1.8
MEQ APORTADO POR FERTILIZANTES LIQUIDOS					0.0	0.0						5.5	2.2
T2	25%	2.0	0.3	2.6	0.0	0.0	0.1	1.3	1.2	0.8	0.0	5.5	2.2
T3	50%	4.1	0.5	5.2	0.0	0.0	0.2	2.5	2.4	1.6	0.0	5.5	2.2
T4	75%	6.1	0.8	7.7	0.0	0.0	0.3	3.8	3.5	2.3	0.0	5.5	2.2

Fuente: Elaboración propia (2025)

Tabla 10 Dosis inicial para la preparación de los tanques establecidos en la nave.

SOLUCION NUTRICIONAL				
Fertilizante	T1	Gr/ml/preparación		
		Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
CaNO ₃	70	50.8	39.2	19.6
KNO ₃	20. 2	16.9	11.3	5.6
MKP	17. 7	14.2	9.53	4.7
SOP	43. 6	36.6	24.4	12.2
MgSO ₄	3.5	36.1	24.1	12.06
MgNO ₃	19. 2	16.1	10.7	5.3
Mix Micros	1.5	0.17	0.17	0.17
Ultraferro	0.8	0.08	0.08	0.08
Calcium + Boro	0	15.4	30.8	46.2
Magnesium		11.9	23.8	35
00-33-53		4.2	4.2	7
Black Root		14	35	53.2
MKP		28	56	98
Nitratos		14	14	21

Fuente: Elaboración propia (2025)

Los tratamientos fitosanitarios se aplicaron semanalmente a los cuatro tratamientos por igual, a continuación, en la Tabla 11 se muestran los productos aplicados y dosis totales. Para el riego de los tratamientos se establecieron tres temporizadores digitales STEREN (Anexo 3), permitiendo el riego programado durante toda la semana, se establecieron dos programas automáticos por tratamiento. El temporizador fue programado para regar en intervalos de quince minutos, dependiendo las necesidades del cultivo. La programación se revisó constantemente para asegurar la correcta función de los temporizadores los fines de semana. De acuerdo a esto se realizaron bitácoras de preparación para obtener un registro del consumo y preparaciones por semana.

Tabla 11 Inyecciones fitosanitarias.

Fecha	Semana	Producto	Ingrediente act.	Cantidad total Kg-Lts	Dirigido a
15/07/2024	29	Verango prime	Floupyram	0.2	Nematicida
22/07/2024	30	Uniform	Azoxistrobin	0.1	Fungicida
02/09/2024	36	Nemadie	Quitosano	1	Nematicida
03/09/2024	36	Kastelo	Quitosano	1	Inoculante
09/09/2024	37	Nemadie	Quitosano	1	Nematicida
10/09/2024	37	Kastelo	Quitosano	1	Inoculante
01/10/2024	40	Murato	Aceite de ajo	1	Insecticida
01/10/2024	40	Prolux	Poliéter	0.5	Coadyuvante
02/10/2024	40	Kastelo	Quitosano	1	Inoculante
04/10/2024	40	Nemadie	Quitosano	1	Nematicida
18/10/2024	42	Verango prime	Floupyram	0.1	Fungicida
22/10/2024	42	Kastelo	Quitosano	1	Inoculante
23/10/2024	43	Nemadie	Quitosano	1	Nematicida
29/10/2024	44	Nemadie	Quitosano	1	Nematicida
30/10/2024	44	Kastelo	Quitosano	1.5	Inoculante
05/11/2024	45	Nemadie	Quitosano	1	Nematicida
22/11/2024	47	Nemadie	Quitosano	1	Nematicida
26/11/2024	48	Kastelo	Quitosano	1	Nematicida
04/12/2024	49	Nemadie	Quitosano	1	Nematicida
09/12/2024	50	Best ultra s	Bacillus spp	1	Biofungicida
13/12/2024	50	Kastelo	Quitosano	1	Nematicida
30/12/2024	52	Kastelo	Quitosano	1	Nematicida
03/01/2025	52	Apolo	Bacillus subtilis	1	Insecticida

Fuente Propia (2024)

3.5 Parámetros a evaluar

Se seleccionaron 5 plantas para su evaluación, las cuales se identificarán con un plástico de color al inicio de cada tratamiento. La periodicidad de la evaluación de las variables de desarrollo y crecimiento dependerá de la naturaleza de cada una de ellas, las variables se enuncian a continuación:

- ✓ Altura
- ✓ Número de flores

- Número de frutos
- Peso de fruto
- ✓ Rendimiento
- ✓ Concentración de iones en el suelo

3.5.1 Altura de la planta

Para determinar la altura de la planta, se midió desde la tercera semana las primeras semanas de diciembre, utilizando una cinta métrica, con la que se medirá desde la base del tallo, hasta la parte más alta de la planta, evitando en medida de lo posible la excesiva manipulación de la planta.

3.5.2 Número de flores

Se realizó un conteo semanal del número de flores por tallo de manera visual. Se tomaron en cuenta únicamente las flores completamente abiertas.

3.5.3 Número de frutos

Se contaron los frutos de manera visual por piso, es decir los que estén amarrados en cada entrenudo, la determinación de esta variable se realizará semanalmente, registrando los datos en la base de datos de Excel.

3.5.4 Rendimiento

Se pesaron los frutos cosechados en bruto (caja) de cada tratamiento así mismo se registró el conteo de chiles por caja, así como peso promedio por chile. Los datos se registraron desde la primera cosecha hasta los 120 días. Los resultados se registraron en una base de datos en Excel para determinar el rendimiento final para cada tratamiento.

3.5.5 Concentración de iones en suelo

El monitoreo para determinar la concentración de iones en suelo en el cultivo de pimiento se realizó de forma semanal por un lapso de ciento 120 días, con el uso de los combos HORIBA LQUAtwin, (Figura 3), centrados en medir parámetros como lo son: pH, C.E, NO₃, Ca⁺, K⁺, Na⁺, además se tomaron muestras de ECP para conocer °Brix..



Figura 3. Combos HORIBA LQUAtwin.

Fuente: Propia (2025)

3.5.6 Muestras de peciolo (ECP)

Para la toma de muestras de peciolo se tomaron 15 hojas por cada tratamiento, se seleccionaron a partir del último fruto amarrado, este parámetro se tomó cada 15 días y nos permitió conocer la cantidad de nutrientes que asimilaba la planta, además se obtuvieron parámetros como pH y conductividad eléctrica.

3.5.7 Toma de datos

Las plantas se midieron semanalmente y se contó el número de frutos y flores por semana, además se revisó constantemente el estado de las plantas y posibles deficiencias o toxicidades.

3.8 Análisis estadístico

Se utilizó el programa informático Excel para generar una base de datos con los datos obtenidos. El análisis estadístico se realizó por medio de un análisis de varianza y una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para determinar si existe una diferencia significativa entre los grupos. Se eligió esta prueba debido a que a diferencia del análisis de varianza (ANOVA), el cual asume que los datos siguen una distribución normal y tienen varianzas iguales, la prueba de Kruskal-Wallis no hace suposiciones sobre la distribución de los datos y es adecuada para datos ordinales o no distribuidos normalmente (Nwobi y Akanno, 2021)

CAPITULO IV. RESULTADOS

4.1.1 Altura promedio

Para la variable de altura promedio se rechaza la hipótesis nula y se concluye que todas las medianas son diferentes al existir una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre la altura registrada de los tratamientos. Estadísticamente existe una diferencia significativa en altura de tratamientos, sin embargo, numéricamente (Tabla 12) no existe una diferencia significativa.

Los datos obtenidos reflejan que los tratamientos no presentan diferencia significativa. El tratamiento 4 se posiciona en primer lugar con una altura promedio de 106.15 cm como se muestra en la gráfica 4.1, mientras que el tratamiento 3 obtuvo un promedio de 105.8 cm, seguido del tratamiento 2 que presentó un promedio de 103 cm y finalmente el tratamiento 1 una altura promedio de 100 cm.

Tabla 12 Resultados promedio de las variables evaluadas.

TRATAMIENTO	Altura promedio de planta	Número promedio de frutos	Número promedio de flores
1	100	46	78.1
2	103	40	70.2
3	105.8	45	77.8
4	106.15	42	75.8
General	414.9	173	301.9

Fuente: Minitab (2025)

Tabla 13 Resultados promedio de las variables evaluadas.

TRATAMIENTO	Altura promedio de planta	Número promedio de frutos	Número promedio de flores
1	549.7	479.7	523.2
2	619.6	485.3	501.6
3	626.8	494.6	550.1
4	604	490.4	497.2
General	600	480	518

Fuente: Elaboración propia (2025)

Prueba

Hipótesis nula H_0 : Todos los tratamientos presentan la misma altura.

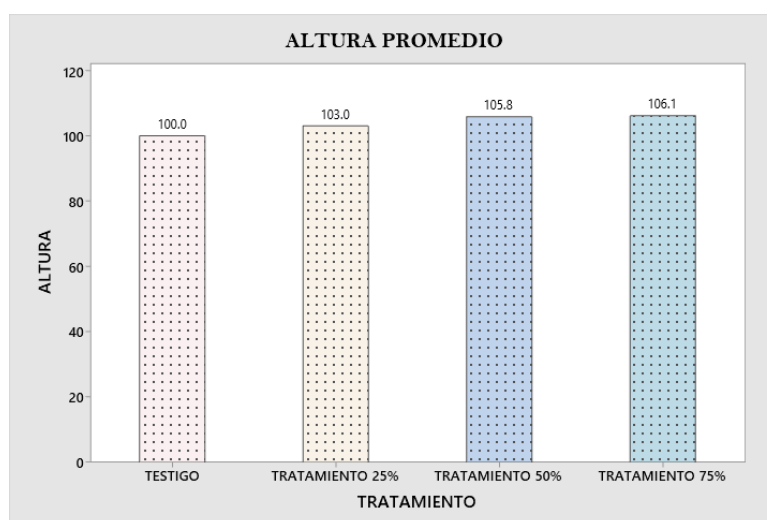
Hipótesis alterna H_1 : Al menos un tratamiento presenta una diferencia en altura.

Tabla 14 Resultado de comparación de medianas mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

TRATAMIENTO	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
1	300	100.05	549.7	-2.91
2	299	103.00	619.6	1.13
3	300	105.85	626.8	1.55
4	300	106.15	604.0	0.23
General	1199		600.0	

Fuente: Minitab (2025)

Gráfico 1. Resultado de altura promedio entre los tratamientos.



Fuente: Minitab (2025)

4.1.2 Número de frutos

Para la variable de número de frutos se acepta la hipótesis nula al no existir una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre el número de frutos por tratamiento en base a las diferentes dosis de fertilización.

Prueba

Hipótesis nula H_0 : Todos los tratamientos tienen el mismo efecto en cuanto al número de flores.

Hipótesis alterna H_1 : Al menos un tratamiento presentó un efecto diferente en cuanto al número de flores.

De acuerdo con los datos obtenidos se determinó que los cuatro tratamientos presentaron un promedio similar en cuanto al número de chiles amarrados. Ocupando el primer lugar el tratamiento 3 obtuvo una media de 494.6 seguido del tratamiento 4 con 490.4 por lo tanto, el T3 y T4 fueron los tratamientos con el mayor número de frutos. En la semana 18 el tratamiento 4 alcanzó 120 chiles teniendo así el mayor número de frutos amarrados. el tratamiento alcanzó hasta los 112 chiles amarrados en la semana 13 y 16 respectivamente, seguido del tratamiento 1, obteniendo el mismo resultado en la semana 12 y 15.

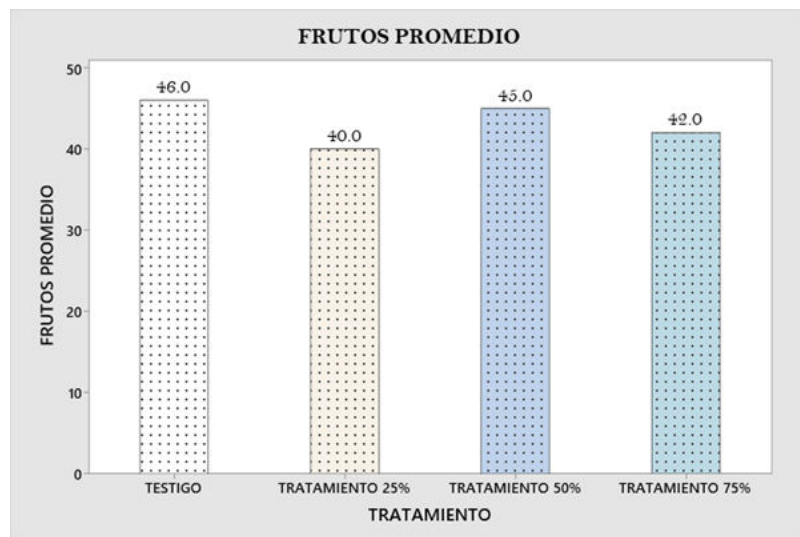
Tabla 15 Mediana de número de frutos registrados por tratamiento semanalmente.

TRATAMIENTO	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
1	239	8	479.7	-0.02
2	240	8	485.3	0.34
3	240	8	494.6	0.95
4	240	8	490.4	-1.27
General	959		480.0	

Fuente: Minitab (2025)

Una vez analizados los resultados se concluye que todos los tratamientos presentaron promedios similares en cuanto al número de frutos, la frecuencia de frutos amarrados se muestra a continuación, donde se registró el número de frutos y se obtuvo que el testigo presentó un promedio de 46 frutos seguido del tratamiento 3 con un promedio de 45 frutos amarrados, el tratamiento 2 y 4 presentaron de 40 y 42 frutos promedio respectivamente como se observa en el grafico 2.

Gráfico 2. Resultado del promedio de frutos amarrados por tratamiento.

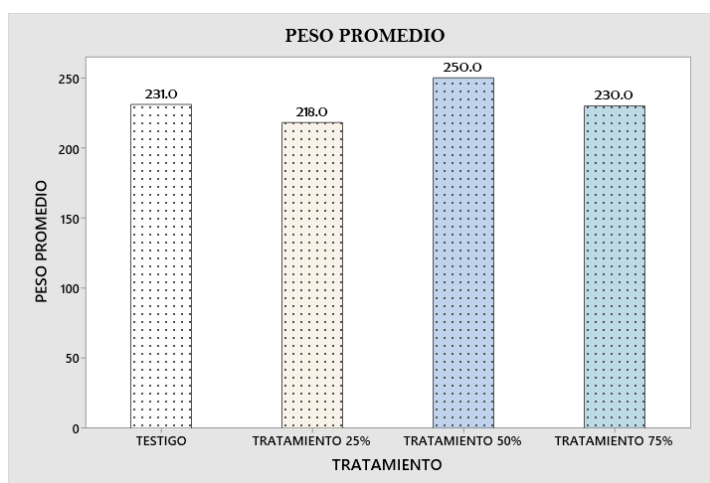


Fuente: Minitab (2025)

4.1.3 Peso promedio

Para esta variable se obtuvo que el tratamiento con un resultado mayor en cuanto al peso del fruto fue el tratamiento al 50%, con un promedio de 250 gr, seguido del tratamiento 1 con un promedio de 231gr por chile, el tratamiento 4 obtuvo un promedio de 230 gr promedio por fruto y finalmente el tratamiento al 25% presentó un promedio de 218 gr por fruto cosechado (como se muestra en el grafico 3). Por lo que se concluye que no existe una diferencia significativa entre los tratamientos.

Gráfico 3. Promedio de peso del fruto por tratamiento.



Fuente: Minitab (2025)

4.1.4 Número de flores

Para la variable de numero de flores se acepta la hipótesis nula al no presentarse una diferencia entre las medias. De acuerdo a los resultados registrados, el tratamiento 1 presentó un promedio mayor de 78.10 flores, seguido del tratamiento 3 con 77.84, el tratamiento 4 obtuvo un promedio de 75.56 flores promedio y finalmente el tratamiento 2 presentó un promedio de 70.22 flores promedio. (Grafico 4). Sin embargo, se presentaron varios problemas en el amarre de frutos en algunos de los tratamientos, como el caso del T4 y T3. Por lo que se concluye que el T2 obtuvo el mayor número de flores.

Prueba

Hipótesis nula H_0 : El número de flores entre los tratamientos es igual en cuanto a la fertilización líquida y soluble.

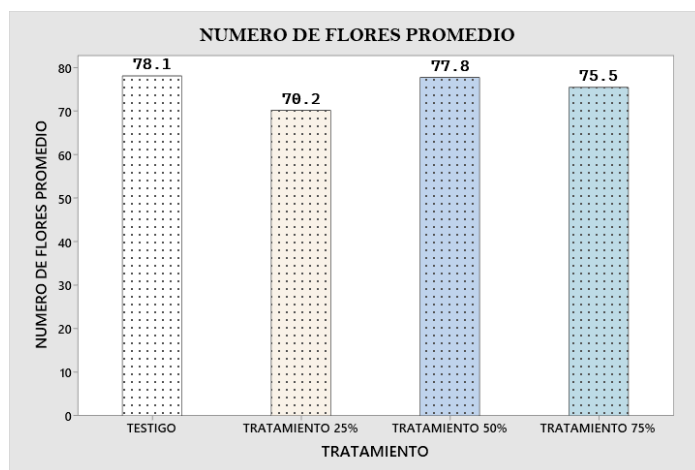
Hipótesis alterna H_1 : El número de flores entre los tratamientos es diferente en cuanto a la fertilización líquida y soluble.

Tabla 16 Clasificación de medias para la variable “Número de flores”.

TRATAMIENTO	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
T1	255	2	523.2	0.32
T2	260	2	501.6	-1.02
T3	260	2	550.1	2.00
T4	260	2	497.2	-1.29
General	1035		518.0	

Fuente: Minitab (2025)

Gráfico 4. Promedio de número de flores por tratamiento.



Fuente: Minitab (2025)

4.1.5 Rendimiento

Las aplicaciones con fertilizantes líquidos presentaron un rendimiento similar en cuanto a rendimiento con el T1. Por lo que únicamente se obtuvo una diferencia de 31 pesos MXN entre el T1 y T3 (Dosis con mayor rendimiento) como se muestra en la tabla 17. Es importante mencionar que los tres tratamientos con una dosis de fertilización líquida presentaron un mayor costo a comparación de los fertilizantes soluble, sin embargo, no se presentó una diferencia significativa en rendimiento entre los tratamientos. (Grafica 5).

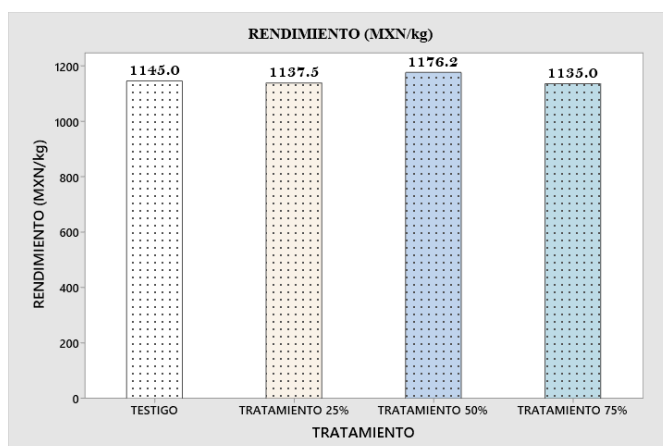
Tabla 17 Rendimiento total de los tratamientos.

RENDIMIENTO					
NEWBAUER 25%	NEWBAUER 50%	NEWBAUER 75%	TESTIGO	Precio promedio (Kg)	Rendimiento (MXN/Kg)
Cantidad de frutos	Cantidad de frutos	Cantidad de frutos	Cantidad de frutos		
190	219	211	216		1145
RENDIMIENTO Kg				25	1137.5
45.5	47.05	45.4	45.8		1176.25
					1135

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en el grafico 5 el testigo presentó un promedio de 216 frutos cosechados, por lo que se calcula un aproximado de 187, 408 en rendimiento para la unidad productiva “Hortalizas” en base a la solución nutritiva a base fertilizantes solubles. El T2 es el tratamiento con menor rendimiento con un total de 164, 850 frutos estimados, aproximadamente el T4 produciría 183, 070 frutos en base a la aplicación de la dosis al 75% y el T3 presenta un mayor rendimiento con 190, 011 frutos aproximadamente de acuerdo al calculo que se muestra a continuación.

Gráfico 5. Diferencia entre ganancias por tratamiento.

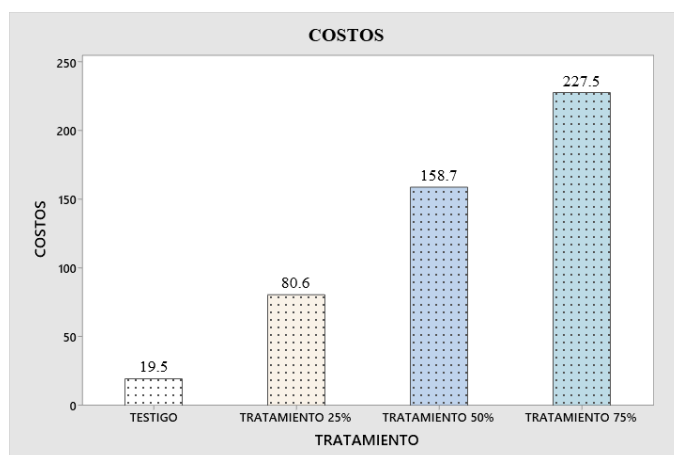


Fuente: Minitab (2025)

4.1.6 Costos

Para el testigo se calculó un total de 14 preparaciones a partir de la semana 34, en la cual se invirtió un total de 19.46 pesos (MXN) para la preparación de 30 plantas. Para los tratamientos con dosis de fertilizantes líquida se registraron 16 preparaciones. Para el tratamiento con una dosis al 25% se invirtió un total de 80.65 pesos, presentando una diferencia de 61 pesos en comparación con el testigo. El tratamiento 3 generó una inversión de \$158.7 pesos duplicando así los costos del testigo. Finalmente, el tratamiento 4 generó un total de 227.5 en costos de fertilizante, por lo que se calculó un gasto 11 veces más caro a comparación con el testigo. (Grafico 6).

Gráfico 6. Costos totales por tratamiento



Fuente: Minitab (2015)

Es importante mencionar que las preparaciones para los tratamientos 2, 3 y 4 cambiaron debido al volumen de preparación, problemas de taponamiento o incluso por el gasto, es decir, que la solución madre llegó a terminarse primero en alguno de los tanques debido a la calibración de las presiones.

4.1.7 Estimación Costo Beneficio

A continuación, se realizó una estimación del rendimiento y costos de producción de los tratamientos, siguiendo la metodología de Bioteksa (2024), se tomó en cuenta el promedio en rendimientos y el costo de las preparaciones semanales. Como se muestra en la tabla 18, se estima que el testigo recuperaría la inversión de 16, 884 pesos (MXN) además generaría una ganancia de 4, 668, 316 pesos, siendo así la opción más viable entre los tratamientos. Se estima una ganancia de 4, 051, 276 pesos para el T2, generando así la menor ganancia entre los tratamientos. El T3 presenta una mayor estimación en rendimiento, sin embargo, la alta inversión de los fertilizantes líquidos genera una ganancia de 4, 612, 582 pesos, presentando una diferencia de 55, 734 pesos en comparación del testigo, el T3 se posiciona como la segunda opción más rentable para la unidad productiva. Finalmente se estima que el T4 genere una ganancia de 4, 576, 750 pesos, sin embargo, se estima una considerable inversión de 197, 447 pesos, la ganancia final del T4 sería 4, 379, 303 pesos.

Tabla 18. Estimación aproximada costo-beneficio de los tratamientos.

Tratamiento	Inversión (MXN/Ha)	Rendimiento (MXN/Ha)	Inversión estimada (MXN/Ha)	Rendimiento estimado	Ganancia (MXN/Ha)	Ganancia (MXN/Ha)
Testigo	19.46	1145	16, 884	187, 408	4, 685, 200	4, 668, 316
T2 25%	80.65	1137.5	69, 974	164, 850	4, 121, 250	4, 051, 276
T3 50%	158.7	1176.25	137, 693	190, 011	4, 750, 275	4, 612, 582
T4 75%	227.57	1135	197, 447	183, 070	4, 576, 750	4, 379, 303

Fuente: Elaboración propia (2025)

4.1.8 Concentración de iones en el suelo

Con respecto a la concentración de iones en el suelo, se realizó un análisis continuo a través de una sonda de succión instalada en cada cama por tratamiento, el análisis se realizó con equipos portátiles, ionómetros para NO_3 , Ca^{2+} , K, Na y un Como Hanna que mide pH Y CE. Se tienen que tomar en cuenta los minerales que se encuentran en el agua y tienen que ser cuantificados para determinar la concentración de iones, puesto que algunos de los presentes en el agua, son potencialmente absorbidos por las plantas. (Martínez, 2018).

Una vez instalados los lisímetros, se comenzó a tomar muestras semanalmente por cada tratamiento a partir de la semana 33, los resultados se compararon con los parámetros establecidos que dependen de la etapa fisiológica y las condiciones climáticas. De acuerdo con Martínez, (2018). Se debe mantener una CE en la solución del suelo de 1.8 a 3 dSm, una relación sinérgica entre cationes y aniones y niveles adecuados de nitratos.

Como se muestra a continuación el testigo presentó variaciones en la CE, debido a esto presentó abortos florares y debido a este resultado se comenzaron a realizar modificaciones en la solución nutricional para mantener una CEss de 2.2 a 2.5, a partir de la semana 41 se mantuvo la CE deseada, sin embargo es importante aclarar que no siempre este factor se ve afectado por el aporte excesivo de nutrientes sino por la sequedad del suelo que dificulta el transporte de sales. Los aportes de N/K generaron problemas de floración y variaciones en la CE.

Tabla 19. Resultados de iones en el suelo del testigo convencional.

* Testigo convencional en base a Meq/L								
Semana real	Nave	TRATAMIENTO	pH	CE	NO_3^-	Ca^{+2}	K^+	Na^+
39	Hortalizas	TESTIGO	6.8	3.8	7.90	26.00	9.74	20.86
41			7.7	2.4	5.81	20.50	3.33	4.78
43			7.9	3.7	4.52	21.00	4.87	9.57
44			8.1	1.8	5.48	7.5	2.82	4.78
45			7.8	1.5	5.65	13	10.51	13.04

Fuente: Elaboración propia (2025)

En los resultados del tratamiento del 25% se observó un buen desarrollo inicial, vigoroso y plantas robustas, sin embargo, las primeras cosechas presentaron frutos deformados o bien frutos “galleta”. Esta dosis presentó desbalance de nutrientes debido al exceso de calcio (proveniente del agua del cárcamo) lo que afectó el crecimiento y desarrollo de frutos. Debido al exceso de calcio se redujo la absorción de nutrientes lo que llevo al tratamiento a obtener el rendimiento más bajo. (Tabla 19).

Tabla 20. Resultados de iones en el suelo de los tratamientos con dosis de fertilizantes líquidos.

Datos generales			NUTRIENTE PPM SS						
Semana	Nave	SECCION	pH	CE	NO ₃ ⁻	Ca ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Mg ⁺²
3.00	Hortalizas	T2 R3	5.6	1.7	3.55	7.50	5.38	4.78	0.00
3.00	Hortalizas	T4 R1	3.8	1.4	3.06	11.00	5.64	5.65	0.00
4.00	Hortalizas	T4 R1	5.3	2.1	3.23	7.50	6.67	6.96	0.00
5.00	Hortalizas	T2 R1	7.0	3.6	2.26	25.50	8.97	7.83	0.00
5.00	Hortalizas	T3 R1	6.8	3.8	1.94	21.50	7.95	6.52	0.00
5.00	Hortalizas	T3 R1	7.3	3.1	3.06	23.50	7.18	13.91	0.00
6.00	Hortalizas	T2R1	7.4	3.5	5.48	34.50	7.95	7.39	0.00
7.00	Hortalizas	T3R1	6.8	2.5	6.77	21.00	7.18	6.96	0.00
8.00	Hortalizas	T2R1	6.8	2.4	2.42	18.00	5.64	7.83	0.00
8.00	Hortalizas	T3R1	5.8	2.2	2.26	25.00	9.74	11.30	0.00
9.00	Hortalizas	T1R2	6.8	3.8	7.90	26.00	9.74	20.87	0.00
9.00	Hortalizas	T3R2	8.2	3.7	10.32	26.50	7.18	11.30	0.00
9.00	Hortalizas	T2R1	8.1	3.6	11.77	33.50	7.69	10.00	0.00
10.00	Hortalizas	T2R1	8.1	3.3	51.61	20.50	5.13	10.87	0.00
10.00	Hortalizas	T3R2	0.0	2.4	48.39	17.50	5.64	11.30	0.00
10.00	Hortalizas	T4 R1	7.9	2.8	43.55	22.00	5.13	10.87	0.00
11.00	Hortalizas	T1R2	7.7	2.4	5.81	20.50	3.33	4.78	0.00
11.00	Hortalizas	T2R1	8.4	3.2	25.81	39.00	7.18	11.74	0.00
11.00	G12	T3R1	8.6	2.4	38.71	18.50	4.10	6.52	0.00
13.00	Hortalizas	T1R3	7.9	3.7	4.52	21.00	4.87	9.57	0.00
13.00	Hortalizas	T2R4	7.5	4.0	14.03	23.50	4.36	7.39	0.00
13.00	Hortalizas	T3R1	7.9	2.8	9.84	19.50	5.64	7.39	0.00

14.00	Hortalizas	T1R3	8.1	1.8	5.48	7.50	2.82	4.78	0.00
14.00	Hortalizas	T2R1	8.1	1.1	11.13	19.50	5.13	8.26	0.00
14.00	Hortalizas	T3R2	8.3	2.0	10.00	20.50	4.36	8.26	0.00
14.00	Hortalizas	T4R1	8.1	1.8	7.90	22.50	7.18	7.83	0.00
0.00	Hortalizas	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia (2025)

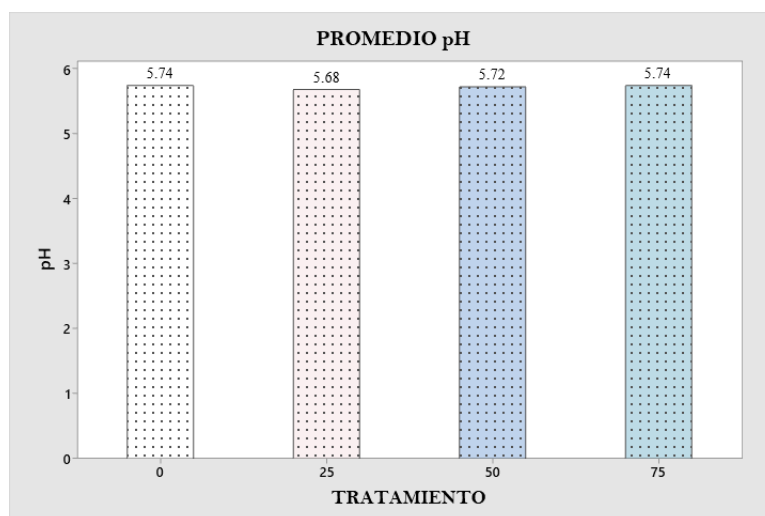
Por otro lado, el tratamiento al 50% presentó similitudes en cuanto al tratamiento al 75%, en los resultados obtenidos de los análisis se presentaron algunas anomalías sin embargo fisiológicamente no existió ninguna deficiencia o toxicidad. El tratamiento tres presentó niveles altos de sodio debido a problemas con la compactación del suelo. (Tabla 20). Además, es importante mencionar que la solución nutricional no se modificó en ninguno de los cuatro tratamientos ya que toda anomalía o deficiencia se resolvió con aportes especiales vía riego.

4.1.9 Resultados de ECP

Durante la semana 38 se comenzó con las muestras de peciolo por cada tratamiento, cada 15 días. La periodicidad de este análisis cambia de acuerdo a las respuestas fisiológicas del cultivo.

Para la variable pH no existió diferencia ni anomalía alguna en ninguno de los tratamientos, el rango para esta variable variaba entre 5.5 a 5.8. A continuación, se muestra que el tratamiento al 0% y al 75% presentaron un pH promedio de 5.74, mientras que el tratamiento al 25% un promedio de 5.68 y el tratamiento 4 un pH de 5.72 respectivamente.

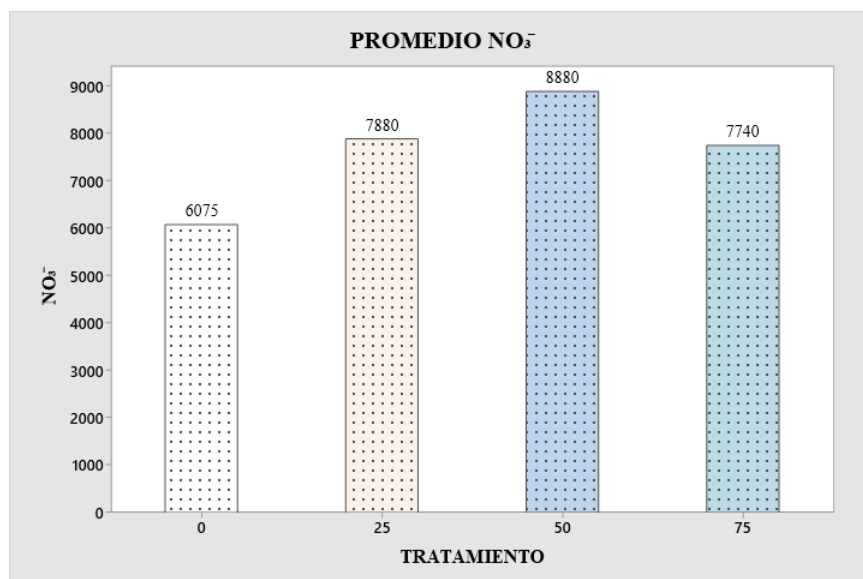
Gráfico 7. Resultados del ECP de pH por tratamiento.



Fuente: Minitab (2025)

En general los tratamientos presentaron tendencias a plantas vegetativas altas, los resultados arrojados confirmaron esta respuesta por lo que se estuvo aportando cloruro de potasio vía riego para bajar los niveles de nitrógeno en la planta, la planta se sometió a un estrés para bajar ppm de nitratos ya que el nivel máximo es de 950 de N en pimienta. (Gráfico 8).

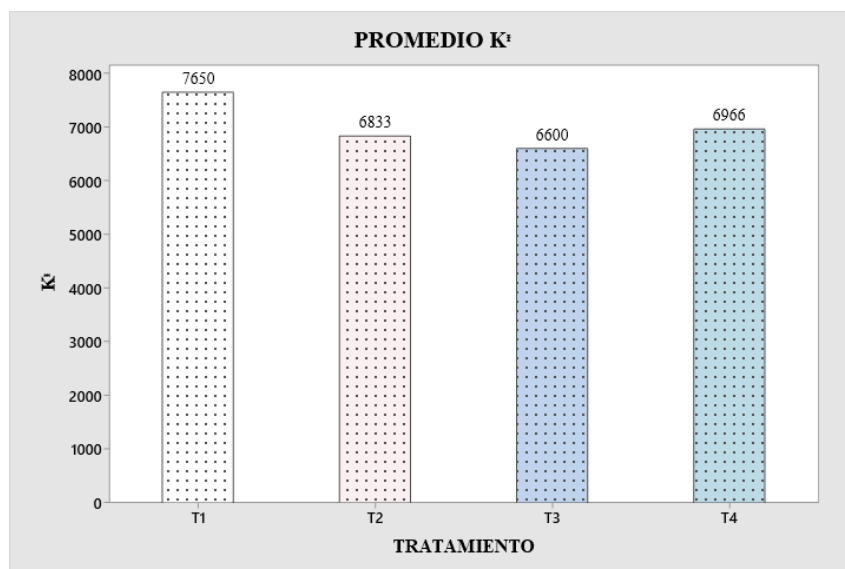
Gráfico 8. Resultados promedio del NO_3^- por tratamiento.



Fuente: Minitab (2025)

Los rangos de K⁺ varían entre 5000 a 6000 ppm, de acuerdo a esto algunos de los tratamientos presentaron variaciones en los resultados. (Grafico 9). A partir de la semana 43, los tratamientos indujeron un resultado mayor a los parámetros establecidos, esto debido a la etapa fenológica y demanda de nutrientes.

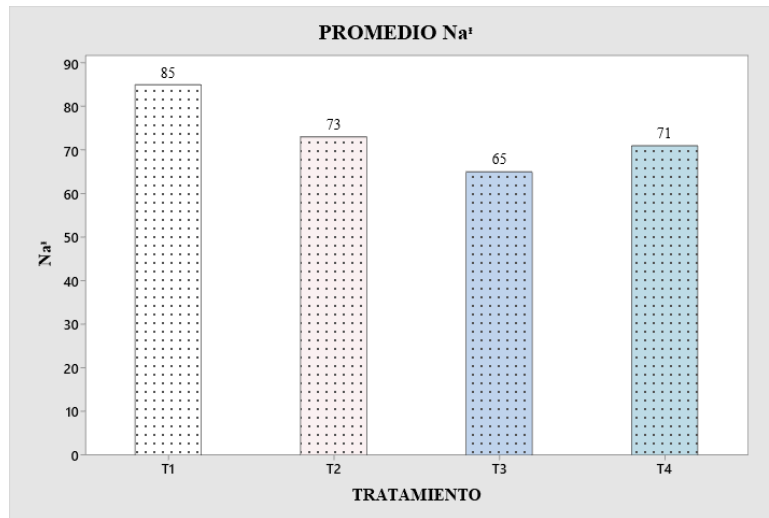
Gráfico 9. Resultados semanales del ECP de K⁺ por tratamiento.



Fuente: Minitab (2025)

En la semana 38, el testigo y el tratamiento dos y cuatro indujeron resultados altos en sales por lo que se presentaron algunos problemas de desarrollo anormal en algunos frutos, (que afectó directamente en peso y rendimiento), además de reducir la calidad. Para la semana 43, presentaron una reducción significativa por lo que la producción mejoró considerable y se logró una mayor calidad en frutos. (Grafico 10).

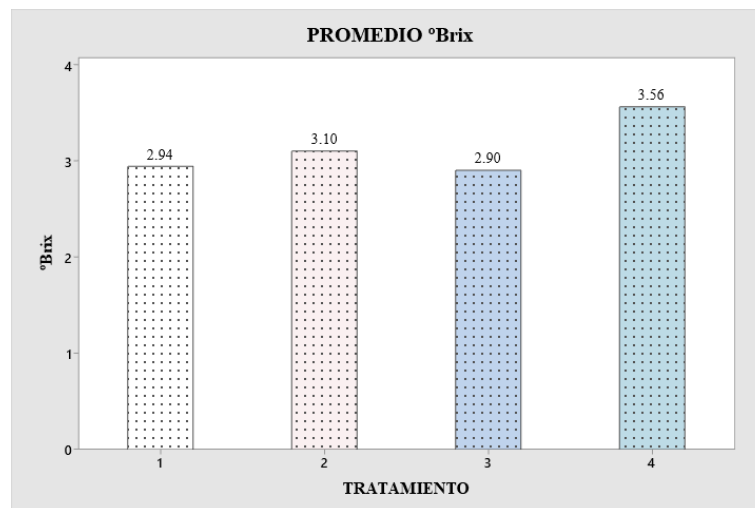
Gráfico 10. Resultados promedio de Na⁺ por tratamiento.



Fuente: Minitab (2025)

Para la variable de °Brix, los tratamientos presentaron un rango entre 2.5 a 3° sobre pasando el rango de azúcares permitido. Este parámetro debe oscilar entre 2 a 2.5 por lo que estos resultados nos arrojaron deficiencias de calidad, posibilidad de madurez temprana en frutos y variaciones en dulzura y sabor. (Gráfico 11). El tratamiento cuatro llegó a presentar 4.4 en la semana 43, lo que se vio reflejado en el rendimiento en cosechas, la mayoría de los frutos de la semana 43 a la 44 en el tratamiento cuatro, presentaron problemas en crecimiento anormal y deformaciones (Frutos galleta).

Gráfico 11. Resultados promedio de °Brix.



Fuente: Minitab (2025)

4.2 Discusión

Tomando la investigación de Araya et al., (2015) menciona que el mayor efecto de neutralización de la acidez del suelo por los fertilizantes líquidos está relacionado con la naturaleza química y física de la fuente. En esta investigación el testigo presentó los valores más bajos de absorción de la mayoría de los nutrimentos, principalmente Ca y Mg, sin embargo, no presentó diferencias significativas con los tratamientos de fertilizantes con Si, con excepción del K y Fe. La baja producción de materia seca en el testigo fue una de las causas de su menor absorción de nutrimentos.

De acuerdo con los resultados obtenidos por León et., al (2024) se obtuvo un mayor número de frutos, y con ello mayor peso con la aplicación del tratamiento *BNFT Coloidal Nubiotek (fertilizantes líquidos). Por lo que con el tratamiento de Bioteksa, se presenta un mayor rendimiento en términos generales, Las aplicaciones de productos Nubiotek indujeron un mayor contenido de °Brix en los frutos de pimiento morrón, manifestando diferencias estadísticamente significativas en algunas de las semanas respecto al tratamiento testigo. Lo anterior puede influir en una mayor vida de anaquel.

En ambas investigaciones se obtuvo una respuesta favorable a fertilizantes líquidos pero en general, si existió una diferencia en cosechas, esto de acuerdo a la dosis de fertilización. Los fertilizantes solubles presentaron un buen rendimiento y costo de producción a comparación de los fertilizantes NewBauer, que presentaron un buen rendimiento, pero los costos de producción fueron 11 veces mayores en comparación a los fertilizantes solubles.

En este experimento se compararon tres dosis de fertilización líquida (25%, 50% y 75%) y un testigo en fertirriego por un lapso de cuatro meses, lo cual difiere de las dosis evaluadas por Araya et al., (2015) quienes evaluaron fertilizantes líquidos con silicio, calcio o magnesio sobre el crecimiento del sorgo en invernadero en dosis de 2 y 4 ml.pote-1, y un testigo.

A pesar de que no existe una gran variedad de experimentos similares a este trabajo se determinó que el uso de fertilizantes líquidos Newbauer para solución nutricional en sistemas de agricultura protegida es una opción viable en fertirriego debido a su rápida

absorción y asimilación además de su fácil aplicación, pero a pesar de su rápido efecto el costo es muy alto a comparación de otros fertilizantes tradicionales, por lo que no es una inversión recomendable para pequeñas empresas y productores.

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos durante este trabajo no se observaron diferencias significativas en el rendimiento de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.). Sin embargo, si hubo diferencias significativas en los costos de producción del T1 al resto de los tratamientos. Es importante mencionar que el T2 y T1 presentaron problemas por taponamientos, a diferencia del T3 y T4 en los cuales se presentaron con menor frecuencia, además el consumo del T4 fue mayor a comparación del T2 y T3, a pesar de calibrar constantemente la presión de cintillas.

Los tratamientos al 50% y 75% generaron un ahorro en peróxido además de tiempo y mano de obra, debido a la facilidad de preparación. Sin embargo, el consumo de este sí tiene una diferencia en comparación a los fertilizantes solubles, en cuanto a rendimiento, El T1 presentó un número de frutos amarrados similar al del T2, T3 y T4. Sin embargo, el T3 presentó un mayor rendimiento en cosecha, pero el costo de producción fue mayor en los tres tratamientos preparados con fertilizantes líquidos, por lo que el rendimiento de los fertilizantes de New Bauer no justifica el costo de inversión.

5.2 Recomendaciones

Considero la importancia de este trabajo en el ámbito económico para la empresa, además de la importancia en rendimiento, en función de los resultados obtenidos se pudo concluir que el costo de los fertilizantes líquidos de la empresa Newbauer es catorce veces mayor al costo de los fertilizantes solubles por lo que el costo beneficio es mayor en la fertilización soluble establecida anteriormente. Sin embargo, es importante mencionar el ahorro de peróxido mediante la aplicación de los fertilizantes líquidos, además de mano de obra y facilidad de preparación. Debido a esto, es recomendable seguir evaluando el efecto de los fertilizantes líquidos en el cultivo de pimiento debido a las incontables ventajas con las que cuentan, a partir de sistemas exclusivos para la fertilización líquida con la finalidad de obtener datos certeros sobre

la respuesta del cultivo, además se recomienda realizar muestras de extracto de peciolo para obtener un resultado aún más certero en cuanto a respuestas fisiológicas.

.

FUENTES DE INFORMACIÓN

AgroExcellence Magazine, Labores culturales en el cultivo de pimiento. (2022) <https://agroexcellence.com.mx/labores-culturales-en-el-cultivo-de-pimiento/#:~:text=El%20destallado%20consiste%20en%20la%20eliminaci%C3%B3n%20de%20los,los%20tallos%20seleccionados%20en%20la%20poda%20de%20formaci%C3%B3n.>

Aguilar, R. M., et al. (2018). Efecto de la fertilización con abono orgánico en el crecimiento y producción de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

Alcántar, G., et al. (2016). Nutrición de cultivos (Segunda edición).

Almeida, R.G., Nuñez, H.G., Ruiz, G.M., Beltrán P.I., Mejía, M.A. (2020). Manual de producción de pimiento morrón en invernadero. Recuperado de https://www.ugto.mx/investigacionyposgrado/veranos/images/manuales2022/157-MANUAL_Hector-Gordon-Nuez.pdf

Álvarez, F. (2018). Aspectos generales del manejo agronómico del pimiento en Chile Recuperado de <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/c4e66f00-c03a-4d3c-bd57-4adcf049161/content>

Ambiental, A. P. (2022, 28 octubre). El daño que provocan los fertilizantes químicos a los suelos. Ambientum Portal Lider Medio ambiente. Recuperado de <https://www.ambientum.com/ambientum/suelo/dano-provocan-los-fertilizantes-quimicos-a-los-suelos.asp>

Arana, A. J. (2020). Eficacia y sinergias entre fertilizantes químicos y orgánicos en la productividad agrícola. Recuperado de <https://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/17186>

Araya, A. M., et al. (2015) Evaluación de fertilizantes líquidos con silicio, calcio o magnesio sobre el crecimiento del sorgo en invernadero. Recuperado de

https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242015000200047

Camargo, J. A., & Alonso, Á. (2006). Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. *Environment International*, 32(6), 831-849. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.05.002>

COMPO EXPERT, 2025. Fertilizantes granulados y estabilizados. Recuperado de <https://www.compo-expert.com/es-MX/grupos-de-productos/fertilizantes-granulados-y-estabilizados>

Cuevas, (2016), El cultivo de pimiento. Recuperado de <https://www.fruteco.es/pdf/el%20cultivo%20del%20pimiento.pdf>

Cuevas, J. L., Olivas, A. C., (2016). Comportamiento de variables de crecimiento, desarrollo y producción de chiltoma (*Capsicum annum* L.) bajo tratamientos orgánicos y convencional en la estación experimental El Limón, Junio-Agosto 2015. Recuperado de <https://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/5979/1/17899.pdf>

Del Pino, M. (2022). GUIA DIDACTICA: CULTIVO Y MANEJO DEL PIMIENTO (*Capsicum annum* L.). CURSO DE HORTICULTURA Y FLORICULTURA. Recuperado de: <https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/mod/resource/view.php?id=25036>

DANE, (2015). El cultivo del pimentón (*Capsicum annum* L) bajo invernadero. INSUMOS Y FACTORES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA. Recuperado de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_jul_2015.pdf

Di Fabio, A., Lozoya, E y Dos Santos, F. (2017). PRODUCCIÓN Y MANEJO DE CULTIVO. Recuperado de <https://intercoonecta.aecid.es/Gestin%20de1%20conocimiento/00293%20Cultivo%20de%20pimientos.pdf>

FAO. (2019). Fertilizer and plant nutrition bulletin. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Fernández, V., & Eichert, T. (2009). Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: Current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28(1-2), 36-68. <https://doi.org/10.1080/07352680902743069>

Fornaris, G. J. (2005). Conjunto Tecnológico para la Producción de Pimiento COSECHA Y MANEJO POSTCOSECHA. Recuperado de <https://www.upr.edu/eea/wp-content/uploads/sites/17/2016/03/PIMIENTO-Cosecha-y-Manejo-Postcosecha-v2005.pdf>

González, H. J., et al. (2020). Evaluación de la fertilización nitrogenada en el cultivo de pimiento morrón en condiciones de invernadero. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrícolas*

Heike Vibrans (2009), Malezas de México, 2024., *Capsicum annuum* L. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/solanaceae/capsicum-annuum/fichas/ficha.htm#:~:text=Categor%C3%ADas%20taxon%C3%B3micas%20superiores,%3A%20Asteridae%3B%20Orden%3A%20Solanales>.

Hernández, L., Murillo, A., Chiquito, C., Zuñiga, C. (2020). Respuesta morfo-productiva de plantas de pimiento morrón biofertilizadas con *Pseudomonas putida* y dosis reducida de fertilizantes sintéticos en invernadero. Recuperado de <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v38n3/2395-8030-tl-38-03-583-en.pdf>

HORTOINFO, 2022. Récord histórico en la producción mundial de pimiento, con un volumen de 36.972'49 millones de kilos, recuperado de <https://hortoinfo.es/record-historico-en-la-produccion-mundial-de-pimiento-con-un-volumen-de-36-97249-millones-de-kilos/>

InfoAgro. (2023). El cultivo de pimiento (1ª parte). Recuperado de <http://www.abccagro.com/hortalizas/pimiento2.asp>

Larrazabal, M. (2021), Tipos de Pimientos. Clasificación, Variedades y Características. Plagas y Enfermedades. Recuperado de <https://www.bialarblog.com/tipos-de-pimientos-clasificacion-variedades-caracteristicas/>

León, R. Varela, M, C. Amarillas, L, A. Lightbourn, L, A. (2021). Efecto de un Tratamiento *BNFT Coloidal Nubiotek en el Cultivo de Pimiento Morrón (*Capsicum annum* L.) Var. Mozart en la Región de Yurécuaro Michoacán. Recuperado L0hDLuRX5fRJmsRdNoNGZJojEY4.pdf

Martínez, J. A., et al. (2020). Efecto de la fertilización nitrogenada y potásica en la producción y calidad de pimiento morrón. Revista de Investigación Agrícola

Martínez, L. A. (2018), Manejo nutricional en el cultivo de pimiento, bajo condiciones de invernadero. Cuatitlán Izcalli, Estado de México.

Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2001). Principles of Plant Nutrition (5th ed.). Springer.

New Bauer, (2024). Innovación continua en fertilizantes líquidos. Recuperado de <https://www.newbauer.mx/>

PROAIN, (2020). El riego en la producción de pimiento. Recuperado de <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/el-riego-en-la-produccion-de-pimiento>

Rosa, 2005. Conjunto Tecnológico para la Producción de Pimiento. Recuperado de <https://www.upr.edu/eea/wp-content/uploads/sites/17/2016/03/PIMIENTO-Enfermedades-v2005.pdf>

Rubén, G., Nancy, V., Amarillas, L., Lightbourn, L., Aguilera, M., (2020). Efecto de un Tratamiento *BNFT Coloidal Nubiotek en el Cultivo de Pimiento Morrón (*Capsicum annum* L.) Var. Mozart en la Región de Yurécuaro Michoacán. Recuperado de <https://bioteksa.com/research/crops/pimiento>

SADER. (2022). México, principal exportador mundial de pimientos frescos: Agricultura. Recuperado de <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/mexico-principal->

exportador-mundial-de-pimientos-frescos-agricultura?idiom=es#:~:text=En%20M%C3%A9xico%20es%20utilizado%20como%20especia%20o%20condimento%2C,agricultura%20protegida%20%28invernadero%20C%20malla%20sombra%20o%20macro%20t%C3%BAnel%29

Sánchez, A. (2009). Comportamiento de Pimiento Morrón (*Capsicum annuum* L.) en dos sustratos bajo condiciones de Invernadero Región Lagunera 2008. Recuperado de <https://repositorio.uaaan.mx/bitstream/handle/123456789/2408/ARACELI%20S%c3%81NCHEZ%20P%c3%89REZ.pdf?sequence=1>

SIAP. (2019). Servicio de información Agroalimentaria y pesquera. Recuperado de <https://agroproductores.com/evolucion-produccion-pimiento-morron-mexico/>

SIAP. (2019). Servicio de información Agroalimentaria y pesquera. Recuperado de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Spinelli, et al. (2006). Evaluación de fertilizantes líquidos como fuentes de nitrógeno en el cultivo de arroz. Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER. Grupo de Investigación y Desarrollo Agropecuario Independiente. Recuperado de https://www.sosbai.com.br/uploads/trabalhos/evaluacion-de-fertilizantes-liquidos-como-fuentes-de-nitrogeno-en-el-cultivo-de-arroz_573.pdf

Sordo 2022, ¿Cómo cuidar y cultivar pimientos? Recuperado de <https://www.leroymerlin.es/ideas-y-consejos/consejos/como-cuidar-y-cultivar-pimientos.html#:~:text=El%20destallado%20de%20la%20planta,para%20permitir%20airear%20la%20planta.>

Quintero, J. J. EL CULTIVO EXTENSIVO DEL PIMIENTO PARA INDUSTRIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA. Recuperado de https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1980_09.pdf

CAPITULO VI. ANEXOS

Anexo 1 Lisímetro colocado en uno de los tratamientos.



Fuente: Propia (2025)

Anexo 2. Programación de riego para la solución madre



Fuente: Propia (2025)

Anexo 3. Temporizador STEREN.



Fuente: Propia (2025)

Anexo 2. Primera cosecha de los tratamientos.



Fuente Propia (2025)

Anexo 6. Registro de preparaciones semanales.

[illegible]

59

Anexo 7. Resultados de análisis de peciolo.



Fuente: Propia (2025)

Anexo 8. Grados brix.



Fuente: Propia (2025)

Anexo 9. Extracción de la dosis de fertilizantes líquidos.

