



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE AGRONOMÍA (REDISEÑO)

Proyecto de Investigación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Agrónomo.

Título del proyecto de investigación:

“Efecto del silicio sobre el desarrollo y rendimiento en el cultivo pimiento (*Capsicum
annuum* L) bajo condiciones controladas”

Autora:

Pilay Cantos Victoria Dalinda

Director del Proyecto de Investigación:

Ing. Llerena Ramos Luis Tarquino MSc.

Quevedo – Los Ríos – Ecuador

2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Pilay Cantos Victoria Dalinda declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Pilay Cantos Victoria Dalinda

C.I.: 092824652-9

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Ing. Luis Llerena Ramos M.Sc.** docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que la egresada **Pilay Cantos Victoria Dalinda**, realizó el proyecto de investigación previo a la obtención del título de **Ingeniera Agrónoma**, titulado **Efecto del silicio sobre el desarrollo y rendimiento en el cultivo pimiento (*Capsicum annuum* L) bajo condiciones controladas**. Bajo mi dirección, habiendo cumplido con todas las disposiciones reglamentarias establecidas.

ING. LUIS TARQUINO LLERENA RAMOS M.Sc.
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

En mi calidad de Director del Proyecto de Investigación de la Sra. PILAY CANTOS VICTORIA DALINDA, titulado “Efecto del silicio sobre el desarrollo y rendimiento en el cultivo pimiento (*Capsicum annuum* L) bajo condiciones controladas”, certifico el cumplimiento de los parámetros establecidos por el SENESCYT, y se evidencia en el reporte de la herramienta de prevención de coincidencia y/o plagio académico (URKUND), con un porcentaje de coincidencia del 9%.



Document Information

Analyzed document	Victoria Pilay proyecto de investigacion.URKUND.docx (D137170571)
Submitted	2022-05-19T14:07:00.0000000
Submitted by	
Submitter email	lillerenamos@uteq.edu.ec
Similarity	9%
Analysis address	lillerenamos.uteq@analysis.urkund.com

**ING. LUIS TARQUINO LLERENA RAMOS M.Sc.
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE AGRONOMÍA (REDISEÑO)

TÍTULO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

Efecto del silicio sobre el desarrollo y rendimiento en el cultivo pimiento (*Capsicum annuum* L) bajo condiciones controladas.

Presentado a la Comisión Académica como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo.

Aprobado por:

Ing. Bermeo Toledo César Ramiro
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Ramos Corrales Pablo César
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Eguez Enriquez Erick Alberto
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Quevedo – Los Ríos- Ecuador

2022

AGRADECIMIENTOS

Agradezco grandemente a Dios por bendecir mi vida y familia día a día a lo largo del camino, por ser el principal apoyo y fortaleza en los momentos más difíciles.

A mis padres: Victor Pilay y Ramona Cantos, quienes son el pilar fundamental e inspiración para superarme profesionalmente, que estuvieron y están siempre apoyando mis propósitos y metas dando los mejores consejos para ser una persona de bien, gracias a mis hermanos Livingston y Vanesa por el apoyo moral y por quienes quiero ser mejor día a día, a mi esposo Henry Cárcamo quien me acompañó en el camino universitario y ahora formamos una gran familia con la dulce espera de nuestro bebé, agradezco a familiares que de una u otra manera me ayudaron durante mi carrera estudiantil.

Agradezco a mi director de tesis Ing. Luis Llerena Ramos por el gran apoyo que me brindó durante el proceso de investigación, a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo por darme la oportunidad de formarme como profesional en sus instalaciones, a docentes, conserjes y demás personal de trabajo que más que enseñanzas nos brindaron su amistad, a los amigos que hice durante mi periodo de estudios, gracias.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de investigación únicamente a Dios con todo mi amor ya que sin él nada sería posible.

Victoria Dalinda Pilay Cantos

RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

El pimiento (*Capsicum annuum* L.) representa un cultivo de importancia económica. En la actualidad, existe una alta demanda de los mercados mundiales de pimientos frescos, sin embargo, los problemas nutricionales y patogénicos reducen la producción. El uso de silicio es una alternativa para mejorar las características fitosanitarias y productivas del cultivo de pimiento. En este contexto, el objetivo del presente estudio es evaluar el efecto del silicio en el desarrollo y rendimiento del cultivo de pimiento bajo condiciones controladas. El estudio se realizó en el invernadero de la finca experimental “La María”, se aplicó un diseño completamente al azar (DCA) donde se aplicó diferentes concentraciones de silicio: T1: 10 g de silicio, T2: 12 g de Si, T3: 14 g, T4: Testigo agricultor y T5: Testigo absoluto. Durante 1,2,3 y 4 semana se evaluaron variables de altura, finalmente a los 90 días se evaluó características productivas. La aplicación de 10 g de Si aumentó el crecimiento de las plantas 12 cm en comparación al testigo absoluto. El grosor de las plantas no presentó diferencias estadísticas. La aplicación de 10 gr de Si incrementó el rendimiento del cultivo de pimiento con valores promedios de 24662 Kg⁻¹ Ha en comparación a los demás tratamientos. La relación B/C y la rentabilidad dentro de los tratamientos varió sustancialmente, a 10 gr Si, con una relación B/C de 2,13 y la rentabilidad de 113,27%. Se concluyó que la dosis de 10 g Si/planta es la apropiada cuyo incremento en las variables morfológicas y de rendimiento.

Palabras Claves: nutrición mineral, elementos benéficos, absorción, producción.

ABSTRACT Y KEYWORDS

Bell Pepper (*Capsicum annuum L.*) represents a crop of economic importance. Currently, there is a high demand from world markets for fresh peppers, however, nutritional and pathogenic problems reduce production. The use of silicon is an alternative to improve the phytosanitary and productive characteristics of the pepper crop. The use of silicon under controlled conditions is currently unknown, in this context the purpose of the study is to evaluate the effect of silicon on the development and yield of pepper crops under controlled conditions. The study was carried out in the greenhouse of the experimental farm "La María", a completely randomized design (DCA) was applied where different concentrations of silicon were applied: T1: 10 g of silicon, T2: 12 g of Si, T3: 14 g, T4: farmer control and T5: absolute control. During 1,2,3 and 4 weeks height variables were evaluated, finally at 90 days productive characteristics were evaluated. The application of 10 g of Si increased plant growth by 12 cm compared to the absolute control. The thickness of the plants did not present statistical differences. The application of 10 g of Si increased the yield of the pepper crop with average values of 24662 Kg-1 Ha compared to the other treatments. The B/C ratio and profitability within treatments varied substantially, at 10 gr Si, with a B/C ratio of 2.13 and profitability of 113.27%. It was concluded that the dose of 10 g Si/plant is the appropriate one whose increase in the morphological and yield variables.

Key words: mineral nutrition, beneficial elements, absorption, production.

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	iii
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO	iv
AGRADECIMIENTOS.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
RESUMEN Y PALABRAS CLAVE.....	viii
ABSTRACT Y KEYWORDS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
CÓDIGO DUBLÍN	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I: CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	
1.1. Problematización	4
1.1.1. Planteamiento del problema	4
1.1.1.1. Diagnóstico.....	4
1.1.1.2. Pronóstico	4
1.1.3. Formulación del problema.....	4
1.1.3.1. Sistematización del problema.....	4
1.2. Objetivos.....	5
1.2.1. Objetivo general	5
1.2.2. Objetivos específicos.....	5
1.2. Justificación.....	6

CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.	Marco Teórico	8
2.1.1.	Importancia del cultivo de pimiento	8
2.1.2.	Origen de pimiento	8
2.1.3.	Morfología	8
2.1.4.	Producción	9
2.1.5.	Requerimientos edafoclimáticos	10
2.1.5.1.	Suelo	10
2.1.5.2.	Altitud	10
2.1.5.3.	Clima	10
2.1.5.4.	Precipitación	10
2.1.5.5.	Luminosidad	10
2.1.5.6.	Viento	10
2.2.	Manejo cultural	11
2.2.1.	Preparación del terreno	11
2.2.2.	Siembra	11
2.2.3.	Aporques	12
2.2.4.	Tutorado	12
2.2.5.	Despunte	13
2.2.6.	Control de arvenses	13
2.2.7.	Riego	13
2.3.	Fertilización	14
2.3.1.	Fertilización inorgánica	14
2.3.2.	Fertilización orgánica	15
2.4.	Plagas	15
2.4.1.	Áfidos / pulgones	15
2.4.2.	Araña roja	15

2.4.3.	Gusano soldado	15
2.4.4.	Minador de hoja.....	16
2.4.5.	Mosca blanca	16
2.4.6.	Trips.....	16
2.5.	Enfermedades	16
2.5.1.	Damping-off y podredumbre de raíces.....	16
2.5.2.	Moho de las hojas	17
2.5.3.	Oidio	17
2.5.4.	Podredumbre bacteriana del tallo	17
2.6.	Requerimientos nutricionales	17
2.6.1.	Nitrógeno.....	18
2.6.2.	Fósforo.....	18
2.6.3.	Potasio	18
2.6.4.	Calcio.....	19
2.6.5.	Magnesio	19
2.6.6.	Azufre.....	19
2.7.	Funciones de micronutrientes.....	19
2.7.1.	Boro	19
2.7.2.	Cobre	19
2.7.3.	Hierro.....	20
2.7.4.	Molibdeno.....	20
2.7.5.	Zinc.....	20
2.8.	Silicio.....	20
2.8.1.	Silicio en el suelo.....	21
2.8.2.	El silicio (Si) en plantas.....	21

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.	Localización de la investigación	23
3.1.1.	Tipo de investigación	23
3.1.2.	Método de investigación.....	23
3.1.3.	Fuente para la recopilación de información	23
3.2.	Diseño de la investigación.....	24
3.2.1.	Factores de estudio	24
3.2.2.	Tratamientos	24
3.2.3.	Diseño experimental y análisis estadístico	24
3.2.4.	Características de las unidades experimentales	25
3.3.	Manejo del experimento	26
3.3.1.	Llenado de fundas.....	26
3.3.2.	Elaboración del sustrato	26
3.3.3.	Elaboración del semillero	26
3.3.4.	Trasplante	26
3.3.5.	Tutorio	26
3.3.6.	Control de malezas	26
3.3.7.	Fertilización.....	27
3.3.8.	Riego.....	27
3.3.9.	Control de insectos y enfermedades	27
3.3.9.1.	Control de insectos	27
3.3.10.	Cosecha.....	27
3.4.	Datos a tomar y formas de evaluación	27
3.4.1.	Altura de planta	27
3.4.2.	Diámetro del tallo	28
3.4.3.	Número de Frutos por Planta.....	28
3.4.4.	Peso del Fruto (g)	28
3.4.5.	Rendimiento (kg ha-1).....	28

3.4.6.	Análisis económico	28
3.5.	Materiales	28
3.5.1.	Materiales de oficina	29
3.5.2.	Materiales de campo	29
3.5.3.	Materiales de laboratorio	29
3.5.4.	Material vegetal	29

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Resultados	31
4.1.1.	Altura de Planta	31
4.1.2.	Diámetro del tallo	32
4.1.3.	Número de frutos por planta	32
4.1.4.	Peso del Fruto	33
4.1.5.	Rendimiento	34
4.1.6.	Análisis económico	35
4.2.	Discusión	36

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	Conclusiones.....	38
5.2.	Recomendaciones	39

CAPÍTULO VI: BILIOGRAFÍA

6.1.	Bibliografía.....	41
------	-------------------	----

CAPÍTULO VII: ANEXOS

7.1.	Anexos.....	48
------	-------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Condiciones climatológicas del lugar experimental	23
Tabla 2: Tratamientos en estudio	24
Tabla 3: Esquema del análisis de varianza	25
Tabla 4: Características de las unidades experimentales.....	25
Tabla 5: Analisis económico de los tratamientos	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Altura de las plantas de pimiento mediante la aplicación de diferentes concentraciones de silicio. Las barras de error indican \pm EE; diferentes letras indican diferencias significativas entre los promedios a $p < 0,05$ (Test de Duncan).....	31
Figura 2: Diametro del tallo del pimiento mediante la aplicación de diferentes concentraciones de silicio.....	32
Figura 3: Número de frutos de pimiento mediante la aplicación de diferentes concentraciones de silicio.....	33
Figura 4: Peso de frutos de pimiento mediante la aplicación de diferentes concentraciones de silicio.....	33
Figura 5: Rendimiento del pimiento mediante la aplicación de diferentes concentraciones de silicio.....	34

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: a) Germinación del pimiento, b y c) trasplante, d y e) aplicación del silicio y f) medición de las variables morfométricas.....	48
Anexo 2: a) Monitoreo de plantas de pimiento, b) toma de datos de diámetro de tallo, c) cosecha de los frutos de pimiento y d) peso de los frutos de pimiento en el laboratorio.....	49
Anexo: 3 Análisis de varianza y test de Duncan de altura de planta a y b) Semana 1 y 2, c) Semana 3, d) Semana 4	50
Anexo: 4 Análisis de varianza y test de Duncan de diámetro de planta a) N° de frutos b) peso de frutos c) rendimiento d)	51

CÓDIGO DUBLÍN

Título:	Efecto del silicio sobre el desarrollo y rendimiento en el cultivo pimiento (<i>Capsicum annuum</i> L) bajo condiciones controladas.
Autor:	Pilay Cantos Victoria Dalinda
Palabras clave:	nutrición mineral, elementos benéficos, absorción, producción.
Fecha de publicación:	Quevedo: UTEQ 2022
Editorial:	
Resumen:	<p>El pimiento (<i>Capsicum annuum</i> L.) representa un cultivo de importancia económica. En la actualidad, existe una alta demanda de los mercados mundiales de pimientos frescos, sin embargo, los problemas nutricionales y patogénicos reducen la producción. El uso de silicio es una alternativa para mejorar las características fitosanitarias y productivas del cultivo de pimiento. En este contexto, el objetivo del presente estudio es evaluar el efecto del silicio en el desarrollo y rendimiento del cultivo de pimiento bajo condiciones controladas. El estudio se realizó en el invernadero de la finca experimental “La María”, se aplicó un diseño completamente al azar (DCA) donde se aplicó diferentes concentraciones de silicio: T1: 10 g de silicio, T2: 12 g de Si, T3: 14 g, T4: Testigo agricultor y T5: Testigo absoluto. Durante 1,2,3 y 4 semana se evaluaron variables de altura, finalmente a los 90 días se evaluó características productivas. La aplicación de 10 g de Si aumentó el crecimiento de las plantas 12 cm en comparación al testigo absoluto. El grosor de las plantas no presentó diferencias estadísticas. La aplicación de 10 gr de Si incrementó el rendimiento del cultivo de pimiento con valores promedios de 24662 Kg⁻¹ Ha en comparación a los demás tratamientos. La relación B/C y la rentabilidad dentro de los tratamientos varió sustancialmente, a 10 gr Si, con una relación B/C de 2,13 y la rentabilidad de 113,27%. Se concluyó que la dosis de 10 g Si/planta es la apropiada cuyo incremento en las variables morfológicas y de rendimiento.</p>
Descripción:	Hojas: dimensiones, 29 x 21 cm
URI:	

INTRODUCCIÓN

Los cultivos de ciclo corto son de importancia porque sirven para la alimentación de los seres humanos, paralelo a ello se destaca que los agricultores que se dedican a producirlo obtienen ganancias económicas en menor periodo de tiempo (3). Según (1), el pimiento (*Capsicum annuum* L.) es una de las hortalizas más demandadas, debido a sus diferentes usos culinarios, sabor y beneficios que brinda esta fruta. Tiene una gran importancia a nivel mundial ya que es considerado el segundo vegetal más consumido y ocupa el quinto lugar en la producción y superficie cultivada entre las principales hortalizas.

El incremento de población a nivel nacional crece cada día más, de manera que urge la aplicación de nuevas técnicas para obtener mayores rendimientos en el cultivo, permitiendo satisfacer la demanda de alimentos de manera efectiva y oportuna. El inadecuado uso de los agroquímicos con el pasar de los tiempos ha afectado a nivel mundial los suelos y en rendimiento de los cultivos. De manera que se busca mejorar utilizando técnicas que puedan incrementar la producción y mejorar la productividad en los cultivos según (2).

El pimiento requiere altas demandas de nutrientes, por lo que se recomienda establecerse en suelos fértiles con aplicaciones de dosis abundantes y balanceadas de fertilizantes minerales (1). El Silicio (Si) como mineral multifuncional en la agricultura, dentro del sistema suelo, planta y ambiente potencia la disponibilidad de nutrientes almacenados en el suelo y los vuelve viables para la nutrición de las plantas; en cuanto a los metales pesados, el Si es un desintoxicante de suelos con problemas de acumulación de éstos, ya sea por elementos como el Hierro (Fe), Aluminio (Al), Cadmio (Cd), entre otros. Respecto a las plantas, el Si actúa como un catalizador de procesos naturales tales como nutrición, autodefensas y buen desarrollo (5).

El silicio tiene varios efectos sobre los vegetales. Las plantas fertilizadas con silicio, al ser infectadas con hongos, presentan una infección menos severa, además de que el silicio retrasa la aparición de la enfermedad y/o reduce su incidencia, modulando y sincronizando mejor la respuesta de la planta al patógeno. El Si es fundamental en cultivos de hortalizas, ya que brinda beneficios de mayor rendimiento productivo (3).

El Si es un fertilizante fundamental en cultivos como son las hortalizas, además de brindar varios beneficios como es dar mayor rendimiento productivo a las plantas, aportar resistencias a factores bióticos como es dar fuerza al tallo para en caso de viento no se tumbe la planta y abióticos dando resistencia a la planta para prevenir ataque de microorganismos patógenos.

Actualmente se desconoce si las diferentes dosis silicio mejora o reducen las condiciones morfológicas y productivas del cultivo de pimiento a nivel de invernadero, en este contexto el objetivo del estudio es evaluar el efecto del silicio en el desarrollo y rendimiento del cultivo de pimiento bajo condiciones controladas. El presente estudio se lo realizó en el invernadero de la finca experimental de “La María”, donde se evaluó las variables morfológicas y rendimiento.

CAPITULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problematización

1.1.1. Planteamiento del problema

Uno de los principales problemas en la producción de los cultivos hortícolas, es que los agricultores desconocen la dosificación de los fertilizantes, pues los mismos tienden a lixiviarse muy rápido; es necesario la aplicación de silicio para la retención en la solución del suelo y sea asimilado por las plantas. La aplicación de silicio es una alternativa para atenuar las deficiencias de minerales en las plantas, disminuir el uso de insecticidas y fungicidas, aumenta la eficiencia de los fertilizantes.

1.1.1.1. Diagnóstico

Los bajos rendimientos y las enfermedades ocasionan bajos rendimientos en el cultivo de pimiento, desanimando a los agricultores que constantemente siembran en sus terrenos agrícolas.

1.1.1.2. Pronóstico

El uso de minerales como el silicio mejorará las características morfológicas y fisiológicas del cultivo de pimiento.

1.1.3. Formulación del problema

¿Los problemas productivos del pimiento (*Capsicum annum* L.) están basados a deficiencias nutricionales, enfermedades y condiciones controladas?

1.1.3.1. Sistematización del problema

¿La aplicación de silicio (Si) incrementará la resistencia de la planta a los efectos abióticos?

¿Qué dosis de silicio en el cultivo de pimiento mejorará en el desarrollo de la planta?

¿Qué efectos presentará el silicio en el incremento del rendimiento del cultivo?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto del silicio en el desarrollo y rendimiento del cultivo de pimiento bajo condiciones controladas.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto del silicio en el desarrollo vegetativo del cultivo.
- Establecer la dosis de silicio más apropiada para el incremento del rendimiento del cultivo.
- Realizar el análisis económico del rendimiento en función de los costos de los tratamientos.

1.3. Justificación

El silicio es un elemento que evita el stress de la planta, en especial sobre el ataque de agentes bióticos (ataque de plagas y enfermedades) y abióticos (salinidad, metales pesados, déficit hídrico, estas características incentivan al uso de silicio para los sistemas productivos de los cultivos en condiciones controladas. La implementación del silicio (Si) en el cultivo de pimiento pretende comprobar los beneficios que le aportaría a la planta siendo un elemento no esencial para ella. Al implementar este método favorecerá no solo en la productividad y producción de pimiento, también al suelo mejorando en su estructura, además los agricultores se verían beneficiados al tener mayor ingreso económico dando una mejor rentabilidad.

La investigación aportará con el desarrollo productivo del sector agrario local, generando datos de suma importancia el uso de Silicio (Si) para mejorar las condiciones morfológicas de la planta, así como también promover la reducción del uso de agroquímicos, que son los principales contaminantes de los recursos no renovables como el agua, suelo y el aire, por consiguiente, asegurar la biodiversidad y salud humana. Facilitando así su control, manejo y bajos costos de producción del cultivo.

CAPÍTULO II
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Importancia del cultivo de pimiento

El pimiento se ha convertido en uno de los vegetales más importantes a nivel mundial, debido fundamentalmente a su versatilidad, que abarca desde usos culinarios hasta fines medicinales. El fruto de pimiento ha demostrado poseer elevadas cantidades de compuestos bioactivos altamente beneficiosos para la salud humana. En el Ecuador es un cultivo de mucha importancia que con el paso de los años se ha convertido en unos de los más explotados por el gran contenido de vitaminas que posee, así como por su amplio rango de adaptabilidad a los suelos del país (6).

2.1.2. Origen de pimiento

El pimiento es originario de la zona centroamericana y fue domesticado en México. El género *Capsicum* contiene cinco especies cultivadas y otras muchas silvestres documentadas. Entre las cultivadas *C. annuum* L., es la más variable y mayoritariamente cultivada, engloba a los pimientos dulces, algunos picantes y a los utilizados para extraer el pimentón. Otras especies menos cultivadas en Europa son: *C. baccatum* con frutos grandes, carnosos y picantes que se utilizan como acompañamiento. *C. pubescens* es el ají o pimiento bravo, de frutos picantes, piel fina y se utilizan como verdura, condimento o en salsas. *C. frutescens* es el chili, guindilla o cayena (7).

2.1.3. Morfología

El pimentón es una planta herbácea anual. Tiene tallos erectos, herbáceos y ramificados de color verde oscuro. El sistema de raíces pivotante llega a profundidades de 0.7 a 1.2 m, y lateralmente hasta 1.2 m, pero la mayoría de las raíces están a una profundidad de 5 a 40 cm. Está provisto y reforzado con un número elevado de raíces adventicias. El tallo es de crecimiento limitado y erecto con un diámetro que puede variar entre 0.5 y 1.5 cm (8).

Cuando la planta adquiere una cierta edad, los tallos se lignifican ligeramente. La altura promedio de la planta es de 60 cm, pero varía según el tipo y/o especie de que se trate. Las hojas son planas, simples, lampiñas, enteras, ovales o lanceoladas con un ápice muy

pronunciado (acuminado) y un peciolo largo o poco aparente y de forma ovoide alargada. Para que se produzca la floración, además de unas condiciones climáticas adecuadas, se requiere una cierta “madurez” de la planta, que en la especie se materializa con la presencia mínima de 8 a 12 hojas (8).

Las flores son perfectas, formándose en las axilas de las ramas; son de color blanco y a veces púrpura. Poseen la corola blanquecina, aparecen solitarias en cada nudo y son de inserción aparentemente axilar. Su fecundación es claramente autógama, no superando el porcentaje de alogamia del 10%). El fruto es una baya semicartilaginosa y deprimida de color rojo o amarillo cuando está maduro, que se puede insertar pendularmente, de forma y tamaño muy variable (8).

Los frutos se presentan en diferentes formas y tamaños, existiendo variedades que dan frutos de 1 o 2 g, frente a otras que pueden formar bayas de más de 300 g. Las semillas son redondeadas y ligeramente reniformes, suelen tener 3-5 mm de longitud, se insertan sobre una placenta cónica de disposición central y son de un color amarillo pálido. En un gramo pueden concentrarse entre 150 y 200 semillas y su poder germinativo es de 3 a 4 años (8).

Aunque el pimentón es una especie que no se considera que posea latencia seminal, con mucha frecuencia se observa, tras una siembra de esta planta, una tardanza mayor de lo normal en producirse la emergencia, una heterogeneidad manifiesta en el nacimiento. Consiguieron estimular el índice de germinación mediante aplicaciones de giberelinas. Cabe señalar que, en la rapidez y homogeneidad de la capacidad de germinación de las semillas del pimentón, además de determinados agentes físicos (temperatura y humedad, principalmente), también tienen influencia otros aspectos, como la variedad, la edad del fruto del que se han tomado las semillas y las condiciones de conservación de las mismas durante el almacenamiento (8).

2.1.4. Producción

El pimiento (*C. annuum* L.) es considerado el segundo vegetal más consumido a nivel mundial y ocupa el quinto lugar en la producción y superficie cultivada entre las principales hortalizas (Camacho 2014). A nivel mundial se producen 31167 millones de kilogramos de pimiento, cultivados sobre 1 914 685 hectáreas. En el caso específico del Ecuador se

producen 5 500 t en 1 700 ha sembradas. Los principales países importadores de pimientos son Estados Unidos, Malasia y en Europa, el principal país productor es España (9).

2.1.5. Requerimientos edafoclimáticos

2.1.5.1. Suelo

Preferentemente suelos altos, sueltos, profundos, con niveles adecuados de materia orgánica (2 a 3 %), fertilidad natural buena y con un pH entre 5,5 a 6,8 (10).

2.1.5.2. Altitud

Es una planta que se adapta bien hasta los 1.800 msnm, alturas superiores tienen sus limitaciones (11).

2.1.5.3. Clima

La temperatura para el buen desarrollo del tallo y las hojas es de 20 a 25°C durante el día y 16 A 18°C a la noche. El crecimiento se paraliza cuando la temperatura desciende a menos de 5°C o sobrepasa los 40°C (10).

2.1.5.4. Precipitación

Los requisitos totales de agua en el pimiento (ETC) fluctúan entre 600 a 900 mm y hasta 1.250 mm para variedades con largos períodos de crecimiento y cosecha escalonada (12).

2.1.5.5. Luminosidad

Es una planta exigente en luminosidad sobre todo en las primeras fases del crecimiento y en la floración, requiriéndose de 6-8 horas/sol/día (11).

2.1.5.6. Viento

Las condiciones atmosféricas alrededor de la planta, la temperatura y la presión de vapor pueden verse afectadas por el viento, es decir la planta responde de manera directa o indirecta de los efectos del viento. En ocasiones el viento causa diferentes lesiones como áreas blanquecinas, necrosis, rasgado, plegado, alteración de las ceras epicuticulares entre otras. Estudios efectuados acerca de los posibles efectos del viento han indicado que puede alterar el comportamiento de desarrollo y retardar el crecimiento de la planta. El cultivo de pimiento se puede ver afectado por fuertes vientos, produciendo volcamiento de las plantas, además que contribuye con la dispersión de conidias de hongos patógenos como el de la podredumbre gris (13).

2.2. Manejo cultural

2.2.1. Preparación del terreno

La finalidad de la preparación del suelo es proporcionar a la planta un medio propicio para el desarrollo de la raíz, mejorando la aireación y la estructura del suelo (20). Se recomienda preparar el suelo antes de instalar la estructura de casa-malla, de lo contrario la estructura dificulta el paso de la maquinaria.

Se recomienda realizar las siguientes labores:

- **Nivelación.** Nivelar el terreno antes de colocar la infraestructura de la casa-malla, con una escrepa, un cuadro metálico o tablón pesado.
- **Barbecho.** Se recomienda dar un paso de arado que alcance de 25 a 30 cm de profundidad.
- **Rastro.** Dar dos pasos de rastra con la finalidad de desmoronar terrones, ésta se realiza entre los 20 a 30 días después del barbecho, si es necesario, dar un tercer paso de rastra.
- **Surcado o borde.** La separación del surcado estará en función a las distancias en que se encuentren los postes de la estructura. La distancia recomendable es de 75 cm.
- **Formación de camas.** La formación de las camas se realiza rajando cada tercer bordo, posteriormente se le da forma a la cama con el equipo acamado (20).

2.2.2. Siembra

- **Método de siembra**

La siembra de pimiento se puede realizar de dos formas: de manera directa en el campo, la cual se utiliza mayormente en explotaciones comerciales de pimiento y por otro lado la siembra indirecta más utilizada en grandes y pequeñas explotaciones (21).

- **Época de siembra**

De acuerdo con Goites (21), indica que la siembra en almácigos se puede realizar en los meses de julio a septiembre, mientras que el trasplante se debe hacer en septiembre y octubre, es decir, de 40 a 60 días después de la siembra. Por motivo de la baja temperatura que se presenta en los meses de julio y agosto, los almácigos deben estar protegidos.

- **Densidad de población**

El trasplante se realiza con una distancia de 1 m, entre hileras y 25 cm entre plantas, colocando una planta por sitio es decir 40000 plantas por hectárea, también se lo puede realizar con 1 m x 0.50m a doble surco, dejando una planta por sitio (40000 p/ha) (22).

2.2.3. Aporques

Esta actividad consiste en aportar suelo de manera superficial en la base del tallo para reforzarlo y darle una buena estabilidad a la planta a medida que va creciendo, esto también favorece al surgimiento de nuevas raíces secundarias, lo cual dará lugar a un sistema radicular más fuerte, además de evitar exceso de humedad en el cuello de la planta, esa actividad se suele realizar 10 días después del trasplante luego del segundo riego (23).

En épocas calurosas y en suelos enarenado esta actividad se la debe realizar en horas de la mañana o al atardecer ya que la arena puede alcanzar altas temperaturas provocando quemaduras en el tallo (23).

2.2.4. Tutorado

El tutorado favorece la luminosidad, la aireación de las plantas, adelanta la maduración y facilita las operaciones culturales y los tratamientos. Con el tutorado se proporciona a las plantas sujeción para que puedan crecer y desarrollarse antes de que se tiendan o se inclinen

por el peso de los frutos, tallo y hojas, además de evitar la posibilidad de quebrarse los tallos por su gran fragilidad. Para ello se emplean pinzas o clips y cinta procedente de la fibra resistente y flexible de la rafia. A veces las cintas utilizadas en la mayoría de los tutorados no son biodegradables y al estar rodeando y liada al tallo no son fácilmente separada en los procesos de formación del compost (23).

Por lo tanto, hay que ir sustituyendo dicho material por otras cintas biodegradables a base de fécula de patata, maíz, yute etc. Con tan buenas características de resistencia y adaptación a todo tipo de tutorado, ya sea para mallas o con cintas. Los alambres colocados por encima de los líneas de plantas se sitúan a suficiente altura, dependiendo de la estructura del invernadero, para no entorpecer el crecimiento de la planta. Estos alambres deben de apoyarse en puntos fijos o apoyos verticales para evitar que la estructura del invernadero corra riesgos a causa del peso de los frutos y plantas, sobre todo cuando se está en plena producción (23).

2.2.5. Despunte

El proceso de despunte en la cuarta ramificación produce un mayor rendimiento por área sembrada, en relación al despunte a la tercera bifurcación sin perjudicar el peso promedio de fruto (22).

2.2.6. Control de arvenses

Indican que hay algunos métodos y técnicas que permiten el control de arvenses sin el uso de herbicidas. Ya sean métodos preventivos que consiste en evitar la dispersión de semillas de especies no deseadas, también métodos culturales tales como la rotación de cultivos, y por último métodos físicos y biológicos de los cuales hay una gran variedad (16).

2.2.7. Riego

El agua útil o aprovechable para las plantas representa el volumen de agua que existe entre la diferencia del punto de capacidad de campo y el punto de marchitez. El requerimiento hídrico en el cultivo de pimiento se encuentra entre 600 y 1 250 mm anuales. El pimiento es sensible al estrés hídrico, tanto por exceso como por déficit de humedad. Un aporte de agua

irregular puede provocar la caída 13 de flores y frutos recién cuajados y la aparición de necrosis apical, siendo aconsejables los riegos poco copiosos y frecuentes (24)

Las plantas extraen del suelo el agua que necesitan, y esa necesidad vendrá determinada por diversos factores tales como la temperatura del ambiente, el clima, intensidad de la luz, el viento, el grado de humedad de la atmósfera y la cantidad de agua que la planta utilice para disolver los aportes minerales y orgánicos que retendrá dentro de su estructura, devolviendo a la atmosfera por la transpiración el agua no necesitada. Agua útil o aprovechable para las plantas Representa el volumen de agua que existe entre la diferencia del punto de capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (24).

En este volumen de agua se encuentra el agua fácilmente aprovechable por las plantas, que básicamente es el volumen de agua que pueden absorber las plantas con fuerzas de succión pequeñas (0,5 -1 atm). Dependiendo del volumen total de agua útil y del cultivo, entre el 30 y el 50% es agua fácilmente aprovechable para las plantas (24).

2.3. Fertilización

2.3.1. Fertilización inorgánica

Un fertilizante rico en nutrientes producido industrialmente a través de procesos químicos, de la extracción de minerales o por molido mecánico (25).

El agricultor tiene la opción de aplicar un 25% como abono base presiembra (equivalente a 50 libras de N por cuerda) o aplicar la totalidad del nitrógeno a través del sistema de micro riego en aplicaciones divididas. El nitrógeno base se debe aplicar presiembra en bandas sobre o incorporado al banco. Como fuente de nitrógeno presiembra se puede aplicar 240 libras por cuerda de sulfato de amonio, que proveen unas 50 libras de N. Si también es necesario aplicar fósforo (P) y potasio (K) se puede aplicar 5 quintales por cuerda de un abono con formulación 10-10-10 para proveer 50 libras de nitrógeno, 50 libras de P₂O₅ y 50 libras de K₂O. Además de esta formulación hay otras en el mercado como: 7-16-16 y 15:15:15 (26).

Fortis (27), menciona que en los últimos años se ha empezado retomar la importancia de utilizar abonos orgánicos a consecuencia del incremento de los precios de los fertilizantes

convencionales y al desequilibrio ambiental que provocan, además de la importancia de conservar la materia orgánica dentro de los sistemas agrícolas, parte fundamental para la sostenibilidad y productividad agrícola.

2.3.2. Fertilización orgánica

El Abono orgánico es un fertilizante que proviene de animales, humanos, restos vegetales de alimentos, restos de cultivos de hongos comestibles u otra fuente orgánica y natural (28). El uso de abonos orgánicos tales como el humus con Jacinto de agua influyen positivamente en el diámetro, largo y peso de los frutos de pimiento durante las primeras cosechas a diferencia de la fertilización convencional. El cultivo de pimiento incrementa su producción con la aplicación del carbón vegetal de preparaciones artesanales (9).

2.4. Plagas

2.4.1. Áfidos / pulgones

Los pulgones son insectos homópteros pertenecientes a la familia *Aphididae*, comúnmente conocidos con el nombre de “piojillos” distribuidos principalmente por las zonas templadas. (23). El daño es más frecuente en las hojas jóvenes del centro de la planta. Su acción ocasiona la reducción de la calidad y de la cantidad de fruta. Las plantas gravemente infestadas se vuelven de color café y mueren (29).

2.4.2. Araña roja

El adulto posee ocho patas y es casi microscópico, pues solamente mide de 0.3 a 0.5 milímetros de largo. La hembra, de forma oval, tiene un color que va del amarillento al verde, con dos o cuatro manchas dorsales oscuras. (29). Típicamente el daño aparece como un moteado amarillo de las hojas, lo que se convierte en un oscurecimiento general de las hojas. Los ácaros son más comunes en climas cálidos y secos (30).

2.4.3. Gusano soldado

El gusano soldado es un devorador general que ataca follaje, tallos y raíces de los cultivos de campo y hortalizas. En el caso de los chiles y pimientos también devora el fruto. Las mudas tempranas del gusano soldado dañan principalmente los brotes tiernos de las plantas (29).

2.4.4. Minador de hoja

El minador de la hoja efectúa en las hojas horadaciones de ondulaciones irregulares. Las galerías tienen generalmente la forma de una “S” y pueden estar agrandadas en el extremo. En las hojas más dañadas, se reduce grandemente la eficacia fotosintética y las plantas pueden perder la mayor parte de sus hojas. (29).

2.4.5. Mosca blanca

La hembra de la mosca blanca deposita sus huevos en el envés de las hojas del pimiento. Aparecen unas esferas apreciables a la vista de color blanco (31). Las plantas infectadas presentan menos vigor y las hojas están cubiertas con mielecilla. La mosca blanca se alimenta del tejido de las hojas, extrayendo la savia de la planta lo cual entorpece su crecimiento (29).

2.4.6. Trips

Los trips son insectos pequeños, la hembra deposita los huevos dentro del tejido vegetal. Dos estados larvales transcurren sobre la planta y los estados de prepupa y pupa transcurren en el suelo. De la pupa emerge el adulto que reinicia el ciclo (32). Los trips se alimentan de los jugos de la planta. Algunas hojas se deforman y enroscan hacia arriba (lo que no se debe confundir con el daño de pulgones que ocasiona el enroscamiento de las hojas hacia abajo). Las infestaciones retardan la maduración de la planta (29).

2.5. Enfermedades

2.5.1. Damping-off y podredumbre de raíces

Producen necrosis, pudrición y pérdidas de raicillas que se reflejan en la parte aérea con amarillamiento de las hojas, oscurecimiento del sistema vascular del tallo, etc. Es fundamental la desinfección de suelo antes del cultivo (33).

2.5.2. *Moho de las hojas*

Este hongo, *Fulvia fulvum* produce manchas cloróticas en la cara superior de las hojas y en coincidencia se forma una vellosidad verde oliva en el envés de las hojas que caracteriza la enfermedad. Las pulverizaciones con Oxiclورو de Cobre y Mancozeb limitan mucho las condiciones para que se manifieste y con condiciones favorables se recomiendan aplicaciones de Clorotalonil (33).

2.5.3. *Oidio*

Afecta a todos los órganos de la planta de pimiento, produciendo una eflorescencia blanca que termina con necrosis de los tejidos afectados. Se aconsejan tratamientos con Azufre micronizado cuando las temperaturas son inferiores a 25°C y recurrir en casos donde no pueda aplicarse a productos de tipo sistémico como Triadimefón, a lo que se agregan tres aplicaciones de Azoxistrobina (33).

2.5.4. *Podredumbre bacteriana del tallo*

Su importancia económica es variable ya que su aparición está fuertemente condicionada a los factores ambientales. Las aplicaciones preventivas posdesbrote o poscosecha con Oxiclورو de Cobre y Mancozeb controlan perfectamente esta bacteria. Es importante la eliminación de las primeras plantas afectadas para evitar la difusión y disminuir el número de pulverizaciones (33).

2.6. Requerimientos nutricionales

El pimiento es exigente en fósforo y nitrógeno en las primeras fases del cultivo, decreciendo las necesidades de nitrógenos tras la recolección de los primeros frutos verdes. La demanda de fosforo es muy importante al momento del inicio de la floración por estar inmerso en papeles importantes como fotosíntesis, respiración, almacenamiento y transferencia de energía, la demanda de potasio es determinante sobre la precocidad, coloración y calidad del fruto. Los requerimientos de magnesio son importantes en su absorción para la maduración (14).

2.6.1. Nitrógeno

Las fuentes de nitrógeno son muy importantes en la nutrición de pimiento, ya que una deficiencia de este elemento da inicio con la pérdida de la tonalidad verde presente en toda la planta, también produce la caída de flores, retardo del crecimiento apical, presencia de puntuaciones negras y además la senescencia de las hojas más bajas (15).

2.6.2. Fósforo

El fósforo está incluido dentro de los elementos considerados como necesarios para el desarrollo de las plantas. Es un elemento primario en los sistemas responsables del almacenamiento y transferencia de energía, además constituye y componente principal en las estructuras de macromoléculas, tales como fosfolípidos y ácidos nucleicos, Es decir que está involucrado en todo proceso fisiológico de la planta (16).

El fósforo desarrolla una utilidad destacable en el desarrollo de: fotosíntesis, respiración, almacenamiento, transferencia de energía y crecimiento de raíces. Producto de esto se ve reflejado en la mejora de calidad de frutas, hortalizas y granos. Las plantas asimilan el P cuando el pH es menor de 7 en forma de anión monovalente fosfato H_2PO_4^- y cuando el pH es superior a 7 está en forma de anión divalente HPO_4^- la cual hace que su proceso se menos rápido. Por consiguiente, la planta asimila mejor un pH que esté en los rangos de 5.6 a 6.7, lo que conlleva a combinarse con los siguientes elementos: Fe, Al y Ca creando fosfatos no aceptables para el cultivo (17).

2.6.3. Potasio

El potasio (K) desarrolla diferentes funciones en la planta, las más importantes son las siguientes: fotosíntesis, mejora de tejidos, mejor calidad de frutas y mantiene el equilibrio hídrico de las plantas. A su vez está presente en la actividad de más de 50 sistemas enzimáticos en plantas. Esta reacción de los metabolismos de los carbohidratos se ve directamente relacionada con los altos requerimientos de K^+ de ciertas enzimas uniformes, especialmente piruvato quinasa y fosfofructoquinasa. De manera similar, la integración de almidón depende en gran medida de los cationes monovalentes, y el K es el más eficaz (17).

2.6.4. Calcio

Según Álvarez (18), el calcio está presente en buenas cantidades en la mayor parte de suelos y pocas veces actúa como factor limitante, excepto en suelos ácidos en los cuales es necesario la aplicación de sales cálcicas (7).

2.6.5. Magnesio

El magnesio (Mg) es el segundo catión más abundante en las plantas y, como tal, participa en numerosos procesos fisiológicos y bioquímicos, incluida la fotosíntesis, la activación de enzimas y la síntesis de ácidos nucleicos y proteínas. Debido a su radio iónico relativamente pequeño y su gran radio hidratado, el Mg se une débilmente a la superficie del suelo y de las raíces y, por lo tanto, se lixivia fácilmente del suelo (46).

2.6.6. Azufre

El sulfato es el sustrato principal para las vías de asimilación y el posterior metabolismo de S. La presencia de S en los aminoácidos Cys y Met demuestra la esencialidad de la ruta de asimilación del sulfato. El S también se encuentra en grupos funcionales de otros metabolitos con funciones biológicas diversas y especializadas (47).

2.7. Funciones de micronutrientes

2.7.1. Boro

El boro es un elemento esencial para las plantas, pero es tóxico en exceso. Por lo tanto, las plantas deben adaptarse tanto a las condiciones limitantes como al exceso de boro para un crecimiento normal. El transporte de boro en las plantas se basa principalmente en tres mecanismos de transporte a través de la membrana plasmática: difusión pasiva de ácido bórico, difusión facilitada de ácido bórico a través de canales y exportación de anión borato a través de transportadores (48).

2.7.2. Cobre

En las plantas, el cobre (Cu) actúa como cofactor esencial de numerosas proteínas. Si bien se desconoce el número definitivo de estas denominadas cuproproteínas, realizan funciones centrales en las células vegetales. Como micronutriente, se necesita una cantidad mínima de Cu para asegurar las funciones celulares (19).

2.7.3. Hierro

El hierro es un elemento fundamental para la fotosíntesis, la movilidad del Fe disminuye fuertemente en condiciones aeróbicas por la formación de oxihidratos de Fe y fosfatos de Fe que no están fácilmente disponibles, especialmente en condiciones alcalinas (50).

2.7.4. Molibdeno

El molibdeno se ha encontrado como cofactor en la nitrato reductasa, la nitrogenasa, la xantina oxidasa y el sulfito oxidasa. En estas enzimas, el molibdeno tiene funciones tanto estructurales como catalíticas, así como una participación directa en las reacciones redox (51).

2.7.5. Zinc

El zinc es un cofactor proteico catalítico y estructural en cientos de enzimas y tiene funciones estructurales clave en los dominios proteicos que interactúan con otras moléculas. Las proteínas del “dedo de Zn” median la unión al ADN de los factores de transcripción y las interacciones proteína-proteína (52).

2.8. Silicio

El silicio (Si), después del oxígeno, es el segundo elemento más abundante en la tierra, constituyendo aproximadamente el 28 % de la corteza terrestre. Es encontrado solamente en formas combinadas, como la sílice y minerales siliconados. Los silicatos son minerales en los cuales el silicio este combinado con oxígeno u otros elementos como (Al), (Mg), (Ca), (Na), (Fe), (K) y otros, en más del 95 % de las rocas terrestres, los meteoritos, las aguas y en la atmósfera. Los minerales siliconados más comunes son el cuarzo, los feldespatos alcalinos y las plagioclasas.

Según (40) los beneficios del silicio al incluirse en programas de fertilización son: mayor crecimiento vegetal, plantas más fortalecidas y compactas, hojas más fuertes, mayor fotosíntesis, mayor tolerancia a condiciones de baja luminosidad, y tolerancia a estrés hídrico y térmico.

2.8.1. Silicio en el suelo

El Si se encuentra presente en la solución del suelo como ácido monosilícico (Si(OH)_4), la mayor parte en forma no disociada, la cual está fácilmente disponible para las plantas. Debido a la de silicatización causada por el intenso intemperismo y la lixiviación de los suelos tropicales, las formas de Si más encontradas en estos suelos son cuarzo, ópalo ($\text{SiO}_2 \cdot \text{NH}_2\text{O}$) y otras formas no disponibles para las plantas (4).

2.8.2. El silicio (Si) en plantas

El silicio no es considerado esencial para los vegetales superiores porque no responde a los criterios directos e indirectos de la esencialidad. A pesar de eso, su absorción puede ocasionar efectos benéficos para algunos cultivos (4), en el caso de incrementar la resistencia al ataque de patógenos e insectos, el papel del Si ha sido atribuido en parte a su acumulación y polimerización en las paredes celulares, lo cual constituye una barrera mecánica contra el ataque (34), tolerancia a la toxicidad por metales pesados, al estrés hídrico y salino, menor evapotranspiración, promoción del crecimiento (4), y la productividad por aumentar la disponibilidad de elementos como el P, Ca, Mg, K y B, al contrarrestar el antagonismo generado en suelos con alta saturación de aluminio y hierro (35).

2.8.3. Trabajos investigativos del Silicio

(42) y (41) manifiestan que la aplicación de silicio mejora la resistencia a enfermedades en el cultivo de banano. (43) indican que la aplicación de silicio ayuda a resistir los periodos prolongados de heladas en los cultivos de regiones áridas. (44) sostienen que el silicio mejora la calidad del fruto, aminoácidos y antioxidantes de tomate en etapa de cosecha. (45) encontraron mayor número de semillas en pepino por efecto de la aplicación de dosis de 10 g de Si en 2kg de suelo.

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización de la investigación

La presente investigación se llevó a cabo en el campus experimental “La María”, en el invernadero de la Facultad de Ciencias Agropecuarias -Universidad Técnica Estatal de Quevedo, ubicado en el kilómetro 7.5 de la vía Quevedo- El Empalme. La ubicación geográfica es de 01° 06’ 24” de latitud Sur y 79° 29’ 70” de longitud Oeste, a una altitud de 75 metros sobre el nivel del mar.

Tabla 1

Condiciones climatológicas del lugar experimental

PARÁMETROS	PROMEDIO
Temperatura media anual	24.9 °C
Humedad relativa media anual	84 %
Precipitación media anual mm	2295.1
Heliofanía promedio anual (Hs)	870.2
Zona ecológica	BH -T
Topografía	Plana

Fuente: Estación Meteorológica “Pichilingue” -INAMHI Serie Multianual 1990- 2019

3.1.1. Tipo de investigación

Esta investigación es de carácter experimental.

3.1.2. Método de investigación

Se utilizó el método deductivo partiendo de información procedente de literatura y trabajos anteriores sobre la aplicación de silicio en el manejo fitosanitario y su efecto en el rendimiento en un cultivo de pimiento.

3.1.3. Fuente para la recopilación de información

La fuente de información primaria proviene de las unidades experimentales, datos recolectados durante el desarrollo del cultivo acompañada de información secundaria como revisión bibliográfica de documentos científicos libros, tesis, revistas y artículos científicos.

3.2. Diseño de la investigación

3.2.1. Factores de estudio

Se estudió un solo factor constituido por las dosis de silicio.

3.2.2. Tratamientos

Se estableció 5 tratamientos, conformados por tres dosis de silicio como se expresa en la tabla 2

Tabla 2

Tratamientos en estudio

Tratamientos	Dosis de fuentes de silicio
T1: Fuentes de silicio	10 g/planta
T2: Fuentes de silicio	12 g/planta
T3: Fuentes de silicio	14 g/planta
T4: Testigo químico (Yaramila Complex)	6g/planta
T5: Testigo absoluto	

3.2.3. Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), con cinco tratamientos y tres repeticiones. Las variables de respuesta fueron sometidas al análisis de varianza y se utilizó la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$) para la comparación de las medias de los tratamientos. El

procesamiento estadístico se llevó a cabo en Infostat versión 2019, desarrollado por Di Rienzo (36).

Tabla 3

Esquema del análisis de varianza

Fuentes de variación	Grados de Libertad
Total (T-1)	14
Tratamiento (Trat-1)	4
Error (Tot-Trat)	10

Elaborado por: Autor

3.2.4. Características de las unidades experimentales

En la tabla 4 se mencionan las características del establecimiento de las parcelas experimentales del ensayo.

Tabla 4

Características de las unidades experimentales

Características	Dimensión
Hileras por parcela:	3
Distancia entre hileras:	0.60 m
Distancia entre plantas:	0.30 m
Distancia entre repeticiones:	0.80 m
Número de plantas por hilera:	5
Número de plantas por parcela:	15
Número total de plantas del ensayo:	225

Fuente: Autora

3.3. Manejo del experimento

3.3.1. Llenado de fundas

Se procedió a llenar las fundas de polietileno de 10 x 12” de 2 mm de grosor perforadas, con 10 kg de sustrato, evitando dejar espacios de aire en las mismas. Posteriormente, se colocaron de acuerdo a las unidades experimentales.

3.3.2. Elaboración del sustrato

Para realizar la mezcla de los materiales con la ayuda de carretillas se preparó la composición que es de 3:1:1, tres carretillas de tierra negra (la cual es previamente cernida con un tamiz) por una de aserrín de madera y una de arena (de río). Con la ayuda de una pala manual se procedió a realizar la mezcla de cada de las materias que conformó el sustrato buscando uniformizar y eliminar partículas no deseables como troncos, piedras y grumos entre otros.

3.3.3. Elaboración del semillero

Se utilizó bandejas germinadoras para la elaboración de los semilleros utilizando el sustrato preparado, después se colocó las semillas de pimiento variedad QUETZAL y posteriormente fueron regadas diariamente hasta la emergencia.

3.3.4. Trasplante

Una vez que la plántula presento la tercera hoja verdadera, se trasplantó al sitio definitivo (fundas) dentro del invernadero.

3.3.5. Tutoreo

Para el sistema de tutoreo se manejó con alambres y piola, se colocaron en cada extremo de cada hilera, para darle un mayor soporte a la planta.

3.3.6. Control de malezas

Para la eliminación de malezas se realizó de manera manual con el propósito de evitar la competencia por nutrientes con el desarrollo de las plantas.

3.3.7. Fertilización

Se realizó de acuerdo con los tratamientos descritos en la tabla 2. La dosis de aplicación de Yaramila Complex se fraccionó, en tres partes; el 40% en la primera aplicación y para la segunda y tercera el 30%, respectivamente efectuadas a los 8, 25 y 40 dds (días después del trasplante), realizando un agujero a 5 cm de distancia del tallo.

3.3.8. Riego

Se realizó riegos 3 veces a la semana, evitando de esta manera el estrés hídrico en las plantas.

3.3.9. Control de insectos y enfermedades

3.3.9.1. Control de insectos

Se aplicó el insecticida ácido piroleñoso 1,75 l/ha para el control de Negrita (*Prodiplosis longifila*) a los 15, 30 y 45 dds.

3.3.10. Cosecha

Los frutos se recolectaron de forma manual cuando presentaron madurez comercial. Se realizó la evaluación en tres cosechas.

3.4. Datos a tomar y formas de evaluación

3.4.1. Altura de planta

En las unidades experimentales se midió la altura de 5 plantas tomadas al azar dentro del área útil de la parcela experimental por cuatro semanas consecutivas en el área, midiendo desde la base hasta el ápice de la última hoja en centímetros.

3.4.2. Diámetro del tallo

El diámetro del tallo se midió con un calibrador pie de rey a los 60 días después de la siembra, en 5 plantas tomadas al azar por cada tratamiento y luego se expresó el promedio en milímetros.

3.4.3. Número de Frutos por Planta

Se contó los frutos de 5 plantas tomadas al azar dentro del área útil de cada unidad experimental, para luego calcular el promedio por planta.

3.4.4. Peso del Fruto (g)

En los frutos evaluados en las variables anteriores se pesó 10 frutos y se expresó su promedio en gramos.

3.4.5. Rendimiento (kg ha⁻¹)

El rendimiento se determinó por el peso de todos los frutos que se obtuvieron del área útil de cada unidad experimental en las tres cosechas y fue transformado a kg ha⁻¹.

3.4.6. Análisis económico

El análisis económico se realizó considerando los costos de cada uno de los tratamientos en estudio, y el ingreso generado por la venta, para luego hallar la relación beneficio/costo utilizando la fórmula:

$$\mathbf{B/C = I.B./ C.T.P.}$$

Dónde:

B/C: Relación beneficio – costo

I.B.: Ingreso bruto

C.T.P.: Costo total de producción

3.5. Materiales

3.5.1. Materiales de oficina

- Computador
- Cuaderno de campo
- Esferos
- Impresora
- Marcador
- Memoria USB 16 Gb
- Regla
- Resma de hojas A4
- Teléfono
- Impresora

3.5.2. Materiales de campo

- SI0-DEM+ (SiO₂, MgO, CaO y Fe)
- Calibrador digital
- Cinta métrica
- Vasos precipitados
- Sustrato: (Tierra75% y Arena25%)
- Invernadero
- Manguera
- Piola
- Alambre
- Estacas

3.5.3. Materiales de laboratorio

- Balanza digital

3.5.4. Material vegetal

Se usó plántulas de pimiento de la variedad QUETZAL.

CAPITULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

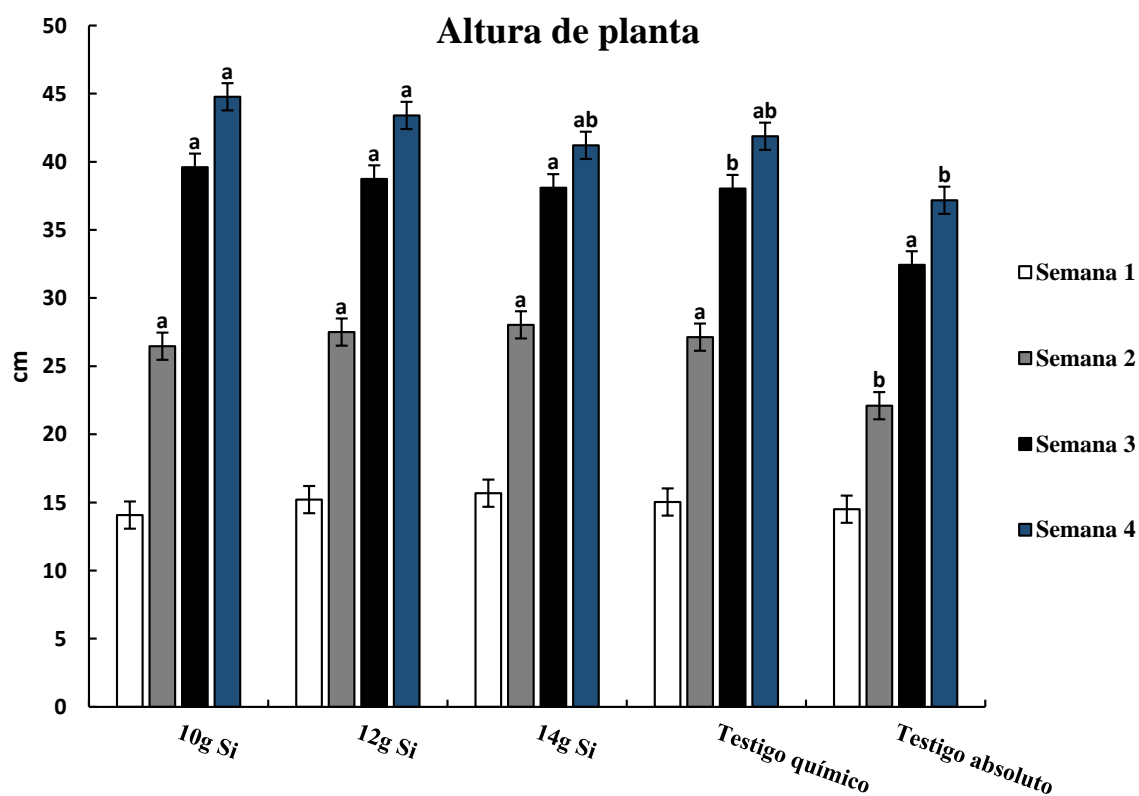
4.1. Resultados

4.1.1. Altura de Planta

La concentración de silicio aumenta las condiciones morfológicas del cultivo de pimiento, en este contexto, la altura de la planta en la semana 1, no tiene significancia estadística dentro los tratamientos. En la semana 2, los tratamientos 14g Si, 12g Si, Yaramila 6g y 10 g incrementó la altura a valores mayores a 28 cm en comparación al testigo absoluto. La semana 3 y 4, la respuesta del silicio en la altura mejoró en todos los tratamientos en comparación al control con valores promedios de 37 a 45 cm (Figura 1).

Figura 1

Altura de las plantas de pimiento mediante la aplicación de diferentes concentraciones de silicio. Las barras de error indican $\pm EE$; diferentes letras indican diferencias significativas entre los promedios a $p < 0,05$ (Test de Duncan).

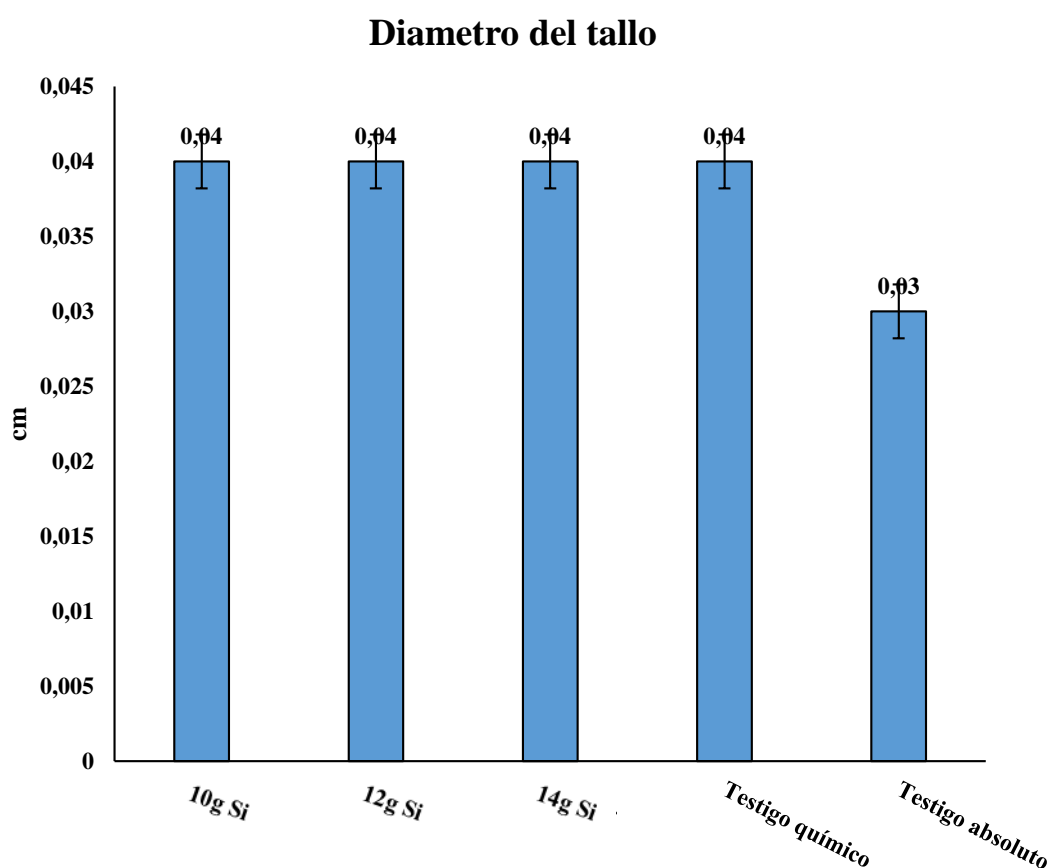


4.1.2. Diámetro del tallo

El silicio influye en el reforzamiento de la pared celular y en el desarrollo de las plantas de pimiento. En la siguiente investigación, estadísticamente no existió diferencia estadística en el grosor entre los tratamientos la aplicación de silicio Numéricamente, todos los tratamientos fueron superior en comparación al control con valores de 4 mm (Figura 2).

Figura 2

Diámetro del tallo mediante la aplicación de diferentes concentraciones de silicio.

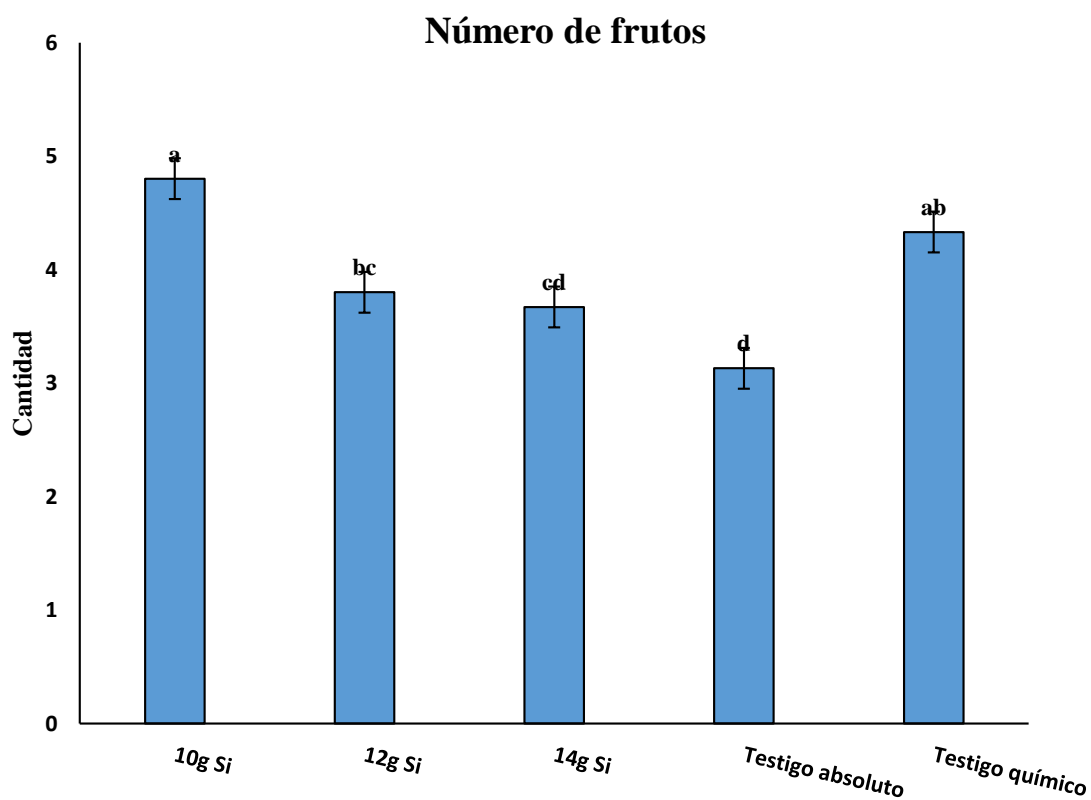


4.1.3. Número de frutos por planta

El número de fruto de plantas es la unidad económica de los productores, entre los tratamientos existió diferencia estadística. La aplicación de 10 g Si, incrementó el número de frutos con promedios de 4,8, sin diferir el tratamiento Yaramila que mantuvo promedios de 4,5. El tratamiento testigo absoluto mantiene los valores más bajos dentro del estudio con valores de 3,13 (Figura 3).

Figura 3

Número de frutos de pimiento mediante la aplicación de diferentes concentraciones de silicio.

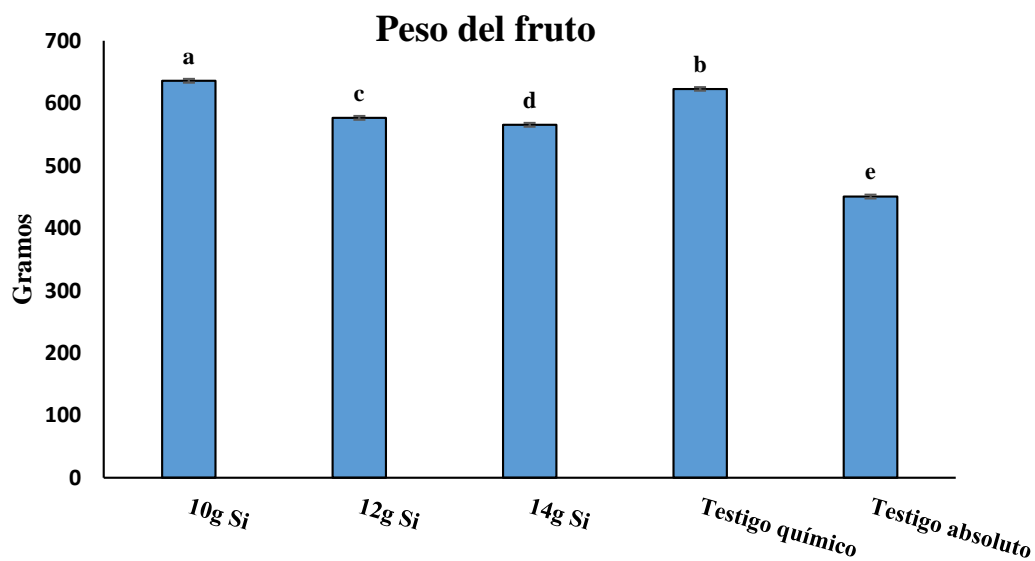


4.1.4. Peso del Fruto

El uso de silicio mejora las características del suelo y productivas de un cultivo, el silicio mejora la absorción de nutrientes y reduce las enfermedades, incrementando el peso del fruto. Dentro de los tratamientos, existió diferencias estadísticas entre tratamiento. La aplicación de 10 g Si, mejoró el peso del fruto con valores promedios de 635,9 g en comparación con el testigo absoluto (450,5 g) (Figura 4).

Figura 4

Peso de frutos de pimiento mediante la aplicación de diferentes concentraciones de silicio

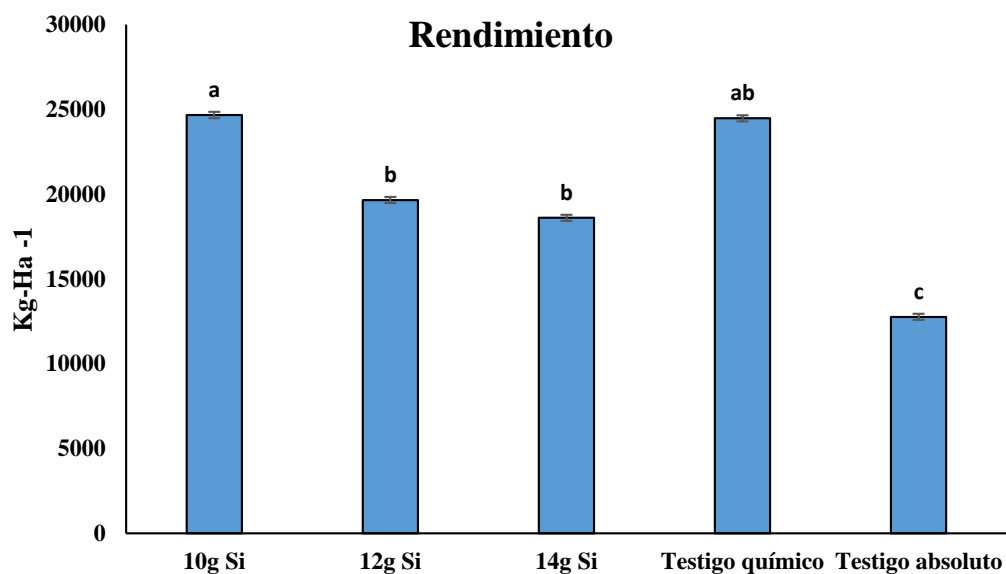


4.1.5. Rendimiento

La aplicación de 10 g de Si y el testigo agricultor incrementaron el rendimiento en el cultivo de pimiento con valores promedios de 24662 y 24466 Kg/Ha siendo estadísticamente superior en comparación al testigo absoluto con valores de 12763,67 Kg/Ha (Figura 5).

Figura 5

Rendimiento del pimiento mediante la aplicación de diferentes concentraciones de silicio.



4.1.6. Análisis económico

Al aplicar 10 g de Si, aumentó el ingreso bruto con valores de 7398,60 \$ en comparación al testigo absoluto (3829,10 \$). Además, el costo de aplicación de 14 g Si, superó a los demás tratamientos con 396 \$. Los costos totales fueron superiores en el tratamiento testigo químico con 3499,30 \$ sobre los demás tratamientos, con menor valor económico el tratamiento testigo absoluto con 2638,18 \$. El beneficio neto superó a los demás tratamientos al aplicar 10 g Si, con 3929,50 en comparación al testigo absoluto con valores de 1190,92 \$. La relación B/C y la rentabilidad dentro de los tratamientos varió sustancialmente, a 10 g Si, con una relación B/C de 2,13 y la rentabilidad de 113,27%, el testigo absoluto con valores de 1,45 en la relación B/C y la rentabilidad (%) con 45,14%. El precio de venta por Kg correspondió a 0.30 ctvs. de dólar el Kg (Tabla 5).

Tabla 5

Análisis económico de los tratamientos

Tratamiento	Rendimiento Ha⁻¹	Ingreso bruto	Costo tratamiento	Costo variable	Costo Total	Beneficio neto	Relación B/C	Rentabilidad (%)
10g Si	24662,00	7398,60	236	1469,10	3469,10	3929,50	2,13	113,27
Testigo Químico	24466,00	7339,80	276	1499,30	3499,30	3840,50	2,10	109,75
12g Si	19648,67	5894,60	286	1268,43	3268,43	2626,17	1,80	80,35
14g Si	18606,33	5581,90	396	1326,32	3326,32	2255,58	1,68	67,81
Testigo Absoluto	12763,67	3829,10	0	638,18	2638,18	1190,92	1,45	45,14

4.2. Discusión

La aplicación de silicio mejora las calidades productivas del cultivo de pimiento, sin embargo, las dosis altas en la aplicación ocasionan reducción en el desarrollo. Dentro del estudio, las plantas con dosis bajas de silicio incrementaron el crecimiento y el grosor en comparación a los demás tratamientos. Según (40) la aplicación de 125 mg/l Si mejoró el área foliar, peso de biomasa fresca y seca en hojas y tallos, azúcares solubles totales y concentraciones de clorofilas *a* y *b* tanto en hojas como en tallos. La concentración de aminoácidos en hojas y raíces, así como el diámetro del tallo fueron mayores en las plantas tratadas con 60 mg/l de Si.

Sin embargo, en nuestros resultados las aplicaciones de Si superiores a 10 g/Kg de suelo redujeron la longitud de la raíz, el diámetro del tallo en el cultivo de pimiento, en este contexto investigaciones realizadas por (41) muestran que el plátano (*Musa* spp. L.) a la aplicación de 200 mg de Si por semana resultó un efecto estimulante que condujo a los atributos de crecimiento beneficiosos, mientras que los tratamientos con 500 y 1000 mg de Si por semana desencadenaron respuestas inhibitoras, ocasionando efectos perjudiciales evidenciados por el retraso en el crecimiento y la decoloración de la hoja. Una posible causa de la reducción de algunos parámetros morfológicos dentro del estudio es manifestado por (42) donde dentro de su estudio los efectos de reducción morfológicas del cultivo es ocasionados por la hormesis, se lo denomina una relación dosis-respuesta bifásica donde las dosis bajas inducen efectos estimulantes mediante la activación de mecanismos adaptativos que mejoran la resiliencia, mientras que las dosis más altas pueden inducir respuestas inhibitoras en dosis más altas volviendo tóxicas.

El número, peso y rendimiento del fruto de pimiento fue sustancialmente variable entre los tratamientos, en especial a las diferentes concentraciones de silicio. Las aplicaciones a 10 g de Si/planta mejoró el rendimiento con valores superiores a 24000 Kg/ a nivel de invernadero, acorde los reportes de (43) la aplicación de silicio aumenta el rendimiento hasta un 80% en comparación al testigo de lechuga debido a su mayor peso fresco de los cogollos. En el caso de los tomates (44), el silicio aumentó el rendimiento de frutos de la planta, mejor sanidad y dureza. (45) reportó el aumento en el rendimiento de pepino por el uso de silicio fue causado por el aumento en el número de frutos por planta.

CAPITULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El efecto del silicio en el desarrollo vegetativo del cultivo incrementó el desarrollo de las variables morfológicas (altura, grosor de la planta y número de frutos) dentro de su desarrollo y crecimiento en las 4 semanas iniciales en comparación a los testigos dentro el estudio.
- La dosis de 10 g Si/planta es la apropiada cuyo incremento en el rendimiento superó los 12000 Kg⁻¹ Ha en comparación al testigo absoluto.
- Dentro del análisis económico del rendimiento, el ingreso bruto del tratamiento 10 g Si correspondió a los mejores valores con 7398,60\$, Beneficio neto (3929,50, relación B/C de 2,13 y la rentabilidad con valores porcentuales de 113,27%.

5.2. Recomendaciones

- Considerar parámetros fisiológicos dentro de la planta como futuros experimentos, la cuantificación de clorofila, azúcares solubles, aminoácidos y prolina.
- Emplear la dosis de 10 g de Si/planta para potencializar un óptimo crecimiento y mayor producción.
- Evaluar efectos del silicio en campo y determinar el % de plantas enfermas, atacadas con insectos y su efecto estrés abiótico.

CAPÍTULO VI

BILIOGRAFÍA

6.1. Bibliografía

1. Araujo , Valdivia AL, Pérez , Rodríguez L, Abreu. Uso de Fertilizantes Organicos y Quimicos En El Cultivo Del Pimiento (Capsicum Annum). Revista de Protección Vegetal. 2014; 28(1): p. 28.
2. Guato. evaluación del rendimiento de tres híbridos de pimiento (Capsicum annum L.) a las condiciones agroclimáticas de la comunidad la clementina, parroquia pelileo, cantón pelileo, provincia de tungurahua. Tesis de grado. Cevallos - Ecuador: Universidad Técnica De Ambato; 2017.
3. Raya , Aguirre. El papel del silicio en los organismos y ecosistemas. Conciencia tecnológica. 2012; 43.
4. Castellanos , De Mello , Silva CN. El Silicio en la resistencia de los cultivos. Cultivos tropicales. 2015; 36: p. 16-24.
5. Onofre. El Silicio (Si) como mineral multifuncional en la agricultura. Tesis de grado. Babahoyo : Universidad Técnica De Babahoyo; 2019.
6. Garcia J, Pérez , Cos , Ruiz , Sánchez. IX Congreso de Mejora Genética de Plantas. España;; 2018. Report No.: 978-84-09-03766-7.
7. Roselló , Porcuna. Cultivo ecológico del tomate y del pimiento: Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE) ; 2012.
8. Casilimas , Monsalve , Bojacá R, Gil , Villagrán , Arias , et al. Manual De Producción De Pimentón Bajo Invernadero. Primera ed.: Editorial Gente Nueva; 2012.
9. Reyes , Luna , Reyes DR, Zambrano , Vázquez. Fertilización Con Abonos Orgánicos En El Pimiento (Capsicum Annum L.) y Su Impacto En El Rendimiento y Sus Componentes. Centro Agrícola. 2017; 44(4): p. 88-94.
10. Rodas C. Manual Técnico: Tomate-Papa-Cebolla-Pimiento: Instituto Paraguayo deTecnología Agraria (IPTA); 2019.
11. Pinto. El cultivo del pimiento y el clima en el ecuador. Quito;; 2013.

12. Pinto MT, Alvarez. Aspectos Generales Del Manejo Agronómico Del Pimiento En Chile. Boletín INIA. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación La Platina; 2018.
13. Golberg. El viento y la vida de las plantas. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. 2010; 42(1): p. 221-243.
14. Moreno. Respuesta del cultivo de pimiento (*Capsicum annum L.*) Var. Nathalie bajo invernadero a la aplicación foliar complementaria con tres tipos de lactofermentos. Tesis de grado. Quito; 2015.
15. Zelia , Wamser , Hiyoshi , Cecílio , Mendoza. Síntomas de deficiencia de macronutrientes en pimiento (*Capsicum annum L.*). Agrociencia. 2017; 21(2): p. 31-43.
16. Quezada LDR. Los tipos de poda y su relación con la producción de café en el ecuador. Tesis de grado. Machala; 2021.
17. Mendoza J. Incidencia de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento y producción del pimiento (*Capsicum annun L.*). Tesis de grado. Machala; 2020.
18. Álvarez , Partida , Melania , Medina , Millán , Cárdenas , et al. Eficacia de Formulaciones y Dosis de Calcio En El Rendimiento de Pimiento Morrón. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 2016; 7(7): p. 1689-1699.
19. Schroeder A, Martínez. Concentraciones foliares de microelementos en Pimiento (*Capsicum annum L.*). Agrotecnia. 2004;(13): p. 17-21.
20. Berrones , Garza , Vázquez , Méndez. Producción de Pimiento Morrón En Casa-Malla Para El Sur de Tamaulipas: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; 2013.
21. Goites E. Manual de Cultivos Para La Huerta Orgánica Familiar.; 2008.
22. Sánchez , Moreno C, Reséndiz , Colinas , Rodríguez. Producción de Pimiento Morrón (*Capsicum Annum L.*) En Ciclos Cortos. Agrociencia. 2017; 51(4): p. 437-446.
23. Reche J. Cultivo del pimiento dulce en invernadero Sevilla: Junta de Andalucía; 2010.

24. Tapia GG. Efectos de la fertilización orgánica en el desarrollo agronómico del cultivo de melón (*Cucumis melo* L.) en la zona de quinsaloma. Tesis de grado. Quevedo;; 2015.
25. FAO. Código Internacional de Conducta Para El Uso y Manejo de Fertilizantes Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; 2019.
26. Rivera. Conjunto Tecnológico para la Producción de Pepinillo de Ensalada; Abonamiento. ; 2001.
27. Fortis , Preciado , García , Navarro , González , Omaña. Sustratos orgánicos en la producción de chile pimiento morrón. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 2012; 3(16): p. 1203-1216.
28. Vega. Fertilización orgánica y química en el desarrollo y producción de dos híbridos de pimiento (*Capsicum annuum*) en la zona de Puerto Quito. Tesis de grado. Quevedo;; 2013.
29. Worldwide MM. Plagas Y Enfermedades de Chiles Pimientos. Guía de identificación y manejo. Productores de Hortalizas. 2004;; p. 19.
30. Coolong T, Strang , Bessin , Seebold. Cultivos de Solanáceas En Kentucky. ; 2014.
31. Arias. Comportamiento Agronómico de 4 Híbridos de Pimiento (*Capsicum Annum* L.) En La Parroquia Luz de América Cantón de Santo Domingo. Quevedo: Universidad Tecnica Estatal De Quevedo; 2013.
32. Caceres S, Miño S, Aguirre A. Guía práctica para la identificación y el manejo de las plagas de pimiento: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria; 2011.
33. Molina N, Pacheco. Produccion de pimiento con distintas alternativas de manejo y localizacion geográfica en la provincia de corrientes. ; 2011.
34. Aguirre C, Chavez T, Garcia P, Raya C. El silicio en los organismos vivos. Interciencia. 2007; 38(8): p. 504-509.

35. Borda , Barón , Gómez. El Silicio Como Elemento Benéfico En Avena Forrajera (Avena Sativa L.) Respuestas Fisiológicas de Crecimiento y Manejo. Agronomía Colombiana. 2007; 25(2): p. 273-279.
36. Di Rienzo , Balzarini , Gonzalez , Casanoves , Tablada. Centro de Transferencia InfoStat. [Online].; 2020 [cited 2022 03 13. Available from: e <http://www.infostat.com.ar>.
37. Jimenez. Producción de Pimiento (Capsicum Annum. l) Híbrido Marconi Con Cuatro Distancias de Siembra y Fertilización Química En Las Naves. Tesis de grado. Quevedo;; 2013.
38. Linares , De Serrano , De León. Cultivo de chile dulce: Centro Nacional De Tecnología Agropecuaria Y Forestal “Enrique Álvarez Córdova”; 2018
39. Solórzano. Efecto de quitosano, hongos micorrízicos y ácidos húmicos sobre el crecimiento y desarrollo en variedades de pimiento (Capsicum annum L) bajo condiciones protegidas. Tesis de grado. Quevedo;; 2019.
40. Trejo-Téllez LI, García-Jiménez A, Escobar-Sepúlveda HF, Ramírez-Olvera SM, Bello-Bello JJ, Gómez-Merino FC. Silicon induces hormetic dose-response effects on growth and concentrations of chlorophylls, amino acids and sugars in pepper plants during the early developmental stage. PeerJ [Internet]. 2020 [cited 2022 May 2];8(e9224):e9224. Available from: <https://peerj.com/articles/9224/Doi:10.7717/peerj.9224>
41. Agathokleous E, Calabrese EJ. Hormesis: The dose response for the 21st century: The future has arrived. Toxicology [Internet]. 2019;425(152249):152249. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300483X19302057>
42. Mburu K, Oduor R, Mgtutu A, Tripathi L. Silicon application enhances resistance to xanthomonas wilt disease in banana. Plant Pathol [Internet]. 2016;65(5):807–18. Available from: <http://dx.doi.org/10.1111/ppa.12468>

- Artyszak A. Effect of silicon fertilization on crop yield quantity and quality-A
43 literature review in Europe. *Plants* [Internet]. 2018;7(3):54. Available from:
<http://dx.doi.org/10.3390/plants7030054>
44. Marodin JC, Resende JTV, Morales RGF, Silva MLS, Galvão AG, Zanin DS. Yield of
tomato fruits in relation to silicon sources and rates. *Hortic Bras* [Internet]. 2014 [cited
2022 May 2];32(2):220–4. Available from:
<https://www.scielo.br/j/hb/a/FcysQWsfMCcVvrfmtCRX7gb/abstract/?lang=en>
- Velkov N, Petkova V. Influence of Herbagreen mineral fertilizer on seed production
45 of cucumber, melon and zucchini. *Agricultural Science & Technology* (1313-8820).
2014;6.
- 46 Chen ZC, Peng WT, Li J, Liao H. Functional dissection and transport mechanism of
magnesium in plants. *Semin Cell Dev Biol* [Internet]. 2018;74:142–52. Disponible en:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.semcdb.2017.08.005>
- 47 Takahashi H. Sulfate transport systems in plants: functional diversity and molecular
mechanisms underlying regulatory coordination. *Journal of Experimental Botany*.
2019;70(16):4075–87.
- Yoshinari A, Takano J. Insights into the mechanisms underlying boron homeostasis in
48 plants. *Front Plant Sci* [Internet]. 2017;8. Disponible en:
<http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2017.01951>
- 49 Printz B, Lutts S, Hausman J-F, Sergeant K. Copper trafficking in plants and its
implication on cell wall dynamics. *Front Plant Sci* [Internet]. 2016;7:601. Disponible
en: <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2016.00601>
- Tsai H-H, Schmidt W. One way. Or another? Iron uptake in plants. *New Phytol*
50 [Internet]. 2017;214(2):500–5. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1111/nph.14477>

- 51 Kovács B, Puskás-Preszner A, Huzsvai L, Lévai L, Bódi É. Effect of molybdenum treatment on molybdenum concentration and nitrate reduction in maize seedlings. *Plant Physiol Biochem* [Internet]. 2015;96:38–44. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0981942815300590>
- 52 Cabot C, Martos S, Llugany M, Gallego B, Tolrà R, Poschenrieder C. A role for zinc in plant defense against pathogens and herbivores. *Front Plant Sci* [Internet]. 2019;10:1171. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2019.01171>

CAPÍTULO VII

ANEXOS

7.1. Anexos

Anexo 2: a) Germinación del pimiento, b y c) trasplante, d y e) aplicación del silicio y f) medición de las variables morfológicas



Anexo 2: a) Monitoreo de plantas de pimienta, b) toma de datos de diámetro de tallo, c) cosecha de los frutos de pimienta y d) peso de los frutos de pimienta en el laboratorio



Anexo 3: Análisis de varianza y test de Duncan de altura de planta a y b) Semana 1 y 2, c) Semana 3, d) Semana 4

Altura Planta Sem 1

Variable	N	R ^c	R ^c Aj	CV
Altura Planta Sem 1	75	0,06	0,01	14,96

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	23,25	4	5,81	1,17	0,3311
Tratamiento	23,25	4	5,81	1,17	0,3311
Error	347,40	70	4,96		
Total	370,65	74			

a

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 4,9629 gl: 70

Tratamiento	Medias n	E.E.
3-14gr Si	15,67	15 0,58 A
2-12gr Si	15,20	15 0,58 A
4-6gr Testigo Agricultor	15,03	15 0,58 A
5-Testigo sin Si ni Fertil..	14,50	15 0,58 A
1-10gr Si	14,07	15 0,58 A

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

Altura Planta Sem 2

Variable	N	R ^c	R ^c Aj	CV
Altura Planta Sem 2	75	0,33	0,29	12,08

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	341,89	4	85,47	8,51	<0,0001
Tratamiento	341,89	4	85,47	8,51	<0,0001
Error	703,30	70	10,05		
Total	1045,19	74			

b

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 10,0471 gl: 70

Tratamiento	Medias n	E.E.
3-14gr Si	28,03	15 0,82 A
2-12gr Si	27,50	15 0,82 A
4-6gr Testigo Agricultor	27,13	15 0,82 A
1-10gr Si	26,47	15 0,82 A
5-Testigo sin Si ni Fertil..	22,10	15 0,82 B

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

Altura Planta Sem 3

Variable	N	R ^c	R ^c Aj	CV
Altura Planta Sem 3	75	0,28	0,24	11,31

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	482,62	4	120,66	6,75	0,0001
Tratamiento	482,62	4	120,66	6,75	0,0001
Error	1250,80	70	17,87		
Total	1733,42	74			

c

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 17,8686 gl: 70

Tratamiento	Medias n	E.E.
1-10gr Si	39,60	15 1,09 A
2-12gr Si	38,73	15 1,09 A
3-14gr Si	38,10	15 1,09 A
4-6gr Testigo Agricultor	38,03	15 1,09 A
5-Testigo sin Si ni Fertil..	32,43	15 1,09 B

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

Altura Planta Sem 4

Variable	N	R ^c	R ^c Aj	CV
Altura Planta Sem 4	75	0,22	0,18	11,87

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	496,82	4	124,21	5,08	0,0012
Tratamiento	496,82	4	124,21	5,08	0,0012
Error	1713,00	70	24,47		
Total	2209,82	74			

d

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 24,4714 gl: 70

Tratamiento	Medias n	E.E.
1-10gr Si	44,77	15 1,28 A
2-12gr Si	43,40	15 1,28 A
4-6gr Testigo Agricultor	41,87	15 1,28 A
3-14gr Si	41,20	15 1,28 A
5-Testigo sin Si ni Fertil..	37,17	15 1,28 B

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

Anexo 4: Análisis de varianza y test de Duncan de diámetro de planta a) N° de frutos b) peso de frutos c) rendimiento d)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DIAMETRO mm	75	0,01	0,00	20,49

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,2E-05	4	8,0E-06	0,15	0,9607
Tratamiento	3,2E-05	4	8,0E-06	0,15	0,9607
Error	3,6E-03	70	5,2E-05		
Total	3,7E-03	74			

a

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0001 gl: 70

Tratamiento	Medias	n	E.E.
3-14gr Si	0,04	15	1,9E-03 A
4-6gr Testigo Agricultor	0,04	15	1,9E-03 A
1-10gr Si	0,04	15	1,9E-03 A
2-12gr Si	0,04	15	1,9E-03 A
5-Testigo sin Si ni Fertil..	0,03	15	1,9E-03 A

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

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
N° de frutos/planta	15	0,85	0,79	7,52

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4,92	4	1,23	13,97	0,0004
Tratamiento	4,92	4	1,23	13,97	0,0004
Error	0,88	10	0,09		
Total	5,80	14			

b

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0880 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.
1-10gr Si	4,80	3	0,17 A
4-6gr Testigo Agricultor	4,33	3	0,17 A B
2-12gr Si	3,80	3	0,17 B C
3-14gr Si	3,67	3	0,17 C D
5-Testigo sin Si ni Fertil..	3,13	3	0,17 D

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

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
PESO DE FRUTOS/gr	15	1,00	1,00	0,84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	64424,43	4	16106,11	706,92	<0,0001
Tratamiento	64424,43	4	16106,11	706,92	<0,0001
Error	227,83	10	22,78		
Total	64652,26	14			

c

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 22,7833 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.
1-10gr Si	635,90	3	2,76 A
4-6gr Testigo Agricultor	622,80	3	2,76 B
2-12gr Si	576,53	3	2,76 C
3-14gr Si	565,37	3	2,76 D
5-Testigo sin Si ni Fertil..	450,50	3	2,76 E

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

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	15	0,99	0,99	1,93

d

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	288330820,26	4	72082705,07	480,36	<0,0001
Tratamiento	288330820,26	4	72082705,07	480,36	<0,0001
Error	1500599,98	10	150060,00		
Total	289831420,25	14			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 150059,9983 gl: 10

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1-10gr Si	24661,97	3	223,65	A
4-6gr Testigo Agricultor	24466,43	3	223,65	A
2-12gr Si	19648,90	3	223,65	B
3-14gr Si	18606,48	3	223,65	C
5-Testigo sin Si ni Fertil..	12763,53	3	223,65	D

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