

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



TESIS:

**Niveles de biosílice, boro y zinc foliar en el rendimiento y
calidad de tomate cherry (*Lycopersicum esculentum*)
var. cerasiforme. Ayacucho - 2022**

Para optar el título profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTADO POR:

Bach. Gustavo Adolfo ROCA MOLINA

ASESORA:

Ph.D. Marhleni CERDA GÓMEZ

AYACUCHO - PERÚ

2024

DEDICATORIA

*A Dios y la vida por darme una oportunidad más
para concluir con mis metas.*

*A mis padres Katia Margot Molina Rivera y Víctor
Zenobio Roca Ochoa, quienes han formado quien
soy ahora, por su apoyo incondicional en el
transcurso de mi vida, a mi abuelita Elodia
Gardenia Rivera Contreras, mis hermanos Víctor
Fernando Roca Molina y José Antonio Roca Molina
por estar siempre presentes cuando los necesito.*

*A la memoria de mis dos ángeles Víctor Enrique
Roca Molina y Samuel Abel Fernández
Huamancayo, que Dios los tenga en su Santa
Gloria.*

*A Ruth Modesta Rivera Atao quien ha estado a mi
lado, estando presente en momentos buenos y
malos, brindándome apoyo incondicional.*

*A los integrantes de la estudiantina Universitaria
de Agronomía, en especial a Lizbeth Pillaca
Quispe, gran amiga, amante de la música e
investigación.*

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, alma mater de nuestra región, del mismo modo a la Facultad de Ciencias Agrarias y la plana docente de la Escuela Profesional de Agronomía, quienes brindan conocimiento y experiencia, formando parte del desarrollo profesional de cada estudiante.

A la Ph.D. Marhleri Cerda Gómez por brindarme su valioso tiempo y asesorarme el trabajo de investigación desde el comienzo hasta su culminación.

ÍNDICE GENERAL

	Página
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
RESUMEN	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. El tomate cherry	3
1.1.1. Origen	3
1.2. Clasificación taxonómica	3
1.3. Antecedentes	4
1.4. Morfología de la planta	6
1.4.1. Raíces	6
1.4.2. Tallo	6
1.4.3. Hojas.....	6
1.4.4. Flor	6
1.4.5. Fruto	6
1.4.6. Semilla.....	7
1.5. Condiciones agroecológicas del cultivo	7
1.5.1. Temperatura	7
1.5.2. Humedad relativa.....	7
1.5.3. Luminosidad	7
1.5.4. Altitud.....	8
1.5.5. Suelo	8
1.6. Etapas fenológicas del cultivo	8
1.6.1. Siembra y establecimiento de planta joven	8
1.6.2. Crecimiento vegetativo.....	8
1.6.3. Floración e inicio del cuaje de la fruta	8
1.6.4. Inicio del desarrollo y maduración de la fruta	9

1.7.	Manejo agronómico del cultivo.....	9
1.7.1.	Elaboración del semillero	9
1.7.2.	Germinación del semillero.....	9
1.7.3.	Trasplante	9
1.7.4.	Fertilización y riego.....	10
1.7.5.	Distancia de siembra.....	10
1.7.6.	Instalación de postes para el soporte del tutorado	10
1.7.7.	Tutorado.....	10
1.7.8.	Poda de formación	10
1.8.	Enfermedades y plagas	11
1.8.1.	Enfermedades	11
1.8.2.	Plagas.....	11
1.9.	Diatomita	12
1.9.1.	Características físicas y químicas de la diatomita	13
1.9.2.	Tipos de diatomita	14
1.9.3.	Depósitos de diatomita en el Perú	14
1.9.4.	Usos	16
1.9.5.	La diatomita en agricultura.....	17
1.10.	El boro	18
1.10.1.	Características físicas y químicas del boro.....	18
1.10.2.	Compuestos de boro	19
1.10.3.	Presencia del boro en la naturaleza.....	19
1.10.4.	El boro en agricultura	20
1.11.	El zinc.....	21
1.11.1.	Características fisicoquímicas del zinc.....	21
1.11.2.	Compuestos de zinc	22
1.11.3.	Presencia del zinc en la naturaleza	22
1.11.4.	El zinc en agricultura.....	22
	CAPÍTULO II.....	23
	METODOLOGÍA	23
2.1.	Ubicación.....	23
2.2.	Muestreo y caracterización del suelo empleado	24
2.3.	Materiales en estudio.....	25
2.3.1.	Foliares	25

2.3.2. Material biológico	25
2.4. Factores de estudio	25
2.5. Tratamientos	25
2.6. Distribución de los tratamientos.....	26
2.7. Diseño metodológico y análisis estadístico.....	26
2.8. Duración del trabajo de investigación	27
2.9. Instalación y conducción del experimento	27
2.9.1. Producción de plantines de tomate cherry	27
2.9.2. Instalación del cultivo.....	28
2.10. Métodos y criterios de evaluación.....	29
2.10.1. Parámetros de rendimiento	29
2.10.2. Parámetros de calidad físico-químico.....	29
CAPÍTULO III.....	31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
3.1. Número de frutos cuajados.....	31
3.2. Peso del fruto.....	34
3.3. Diámetro ecuatorial y diámetro polar.....	36
3.3.1. Diámetro ecuatorial	36
3.3.2. Diámetro polar.....	37
3.4. Dureza del fruto.....	39
3.5. Sólidos solubles.....	41
3.6. Acidez titulable.....	43
3.7. Pérdida de peso.....	45
CONCLUSIONES	48
RECOMENDACIONES.....	49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
ANEXOS	57

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1. <i>Características físicas de la diatomita</i>	13
Tabla 1.2. <i>Características químicas de la diatomita.....</i>	14
Tabla 2.1. <i>Análisis de caracterización del suelo agrícola de Niño Yucay.....</i>	24
Tabla 2.2. <i>Descripción de los tratamientos del experimento</i>	26
Tabla 3.1. <i>Análisis de varianza del número de frutos cuajados en el cultivo de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar</i>	31
Tabla 3.2. <i>Prueba de Tukey para el número de frutos cuajados de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar</i>	32
Tabla 3.3. <i>Prueba de Tukey para el número de frutos cuajados de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice foliar.....</i>	32
Tabla 3.4. <i>Análisis de varianza del peso de frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar.....</i>	34
Tabla 3.5. <i>Prueba de Tukey para el peso de frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar.....</i>	35
Tabla 3.6. <i>Prueba de Tukey para el peso de frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice foliar</i>	35
Tabla 3.7. <i>Prueba de Tukey para el peso de frutos de tomate cherry por efecto de la interacción de biosílice, boro y zinc foliar</i>	35
Tabla 3.8. <i>Análisis de varianza del diámetro ecuatorial en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar</i>	36
Tabla 3.9. <i>Prueba de Tukey para el diámetro ecuatorial en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar</i>	37
Tabla 3.10. <i>Prueba de Tukey para el diámetro ecuatorial en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice foliar.....</i>	37
Tabla 3.11. <i>Análisis de varianza del diámetro polar en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar</i>	37
Tabla 3.12. <i>Prueba de Tukey para el diámetro polar en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar</i>	38
Tabla 3.13. <i>Prueba de Tukey para el diámetro polar en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice foliar.....</i>	38

Tabla 3.14.	<i>Análisis de varianza de la dureza en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar</i>	<i>39</i>
Tabla 3.15.	<i>Prueba de Tukey para la dureza en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar.....</i>	<i>40</i>
Tabla 3.16.	<i>Prueba de Tukey para la dureza en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice foliar</i>	<i>40</i>
Tabla 3.17.	<i>Prueba de Tukey para la dureza en frutos de tomate cherry por efecto de la interacción de biosílice, boro y zinc foliar</i>	<i>40</i>
Tabla 3.18.	<i>Análisis de varianza de los sólidos solubles en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar</i>	<i>41</i>
Tabla 3.19.	<i>Prueba de Tukey para los sólidos solubles en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar</i>	<i>42</i>
Tabla 3.20.	<i>Prueba de Tukey para los sólidos solubles en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice foliar.....</i>	<i>42</i>
Tabla 3.21.	<i>Prueba de Tukey para los sólidos solubles en frutos de tomate cherry por efecto de la interacción de biosílice, boro y zinc foliar.....</i>	<i>42</i>
Tabla 3.22.	<i>Análisis de varianza de la acidez titulable en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar</i>	<i>43</i>
Tabla 3.23.	<i>Prueba de Tukey para la acidez titulable en frutos cuajados de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar</i>	<i>44</i>
Tabla 3.24.	<i>Prueba de Tukey para la acidez titulable en frutos cuajados de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice foliar.....</i>	<i>44</i>
Tabla 3.25.	<i>Análisis de varianza de la pérdida de peso en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar</i>	<i>45</i>
Tabla 3.26.	<i>Prueba de Tukey para la pérdida de peso en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar</i>	<i>46</i>
Tabla 3.27.	<i>Prueba de Tukey para la pérdida de peso en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice foliar.....</i>	<i>46</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1. <i>Diatomea pennal y central</i>	12
Figura 1.2. <i>Frústulas de diatomeas</i>	13
Figura 1.3. <i>Depósitos de diatomita de origen marino</i>	15
Figura 1.4. <i>Depósitos de diatomita de origen lacustre</i>	16
Figura 2.1. <i>Ubicación del experimento</i>	23
Figura 2.2. <i>Croquis del experimento</i>	26

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Preparación de plantines	58
Anexo 2. Preparación del sustrato para la instalación de plantines de tomate cherry .	58
Anexo 3. Instalación de tratamientos en plantines de tomate cherry en bolsas.....	59
Anexo 4. Cultivo a los 15 días después del trasplante.....	59
Anexo 5. Cultivo después de un mes del trasplante	60
Anexo 6. Cultivo entutorado después de mes y medio del trasplante	60
Anexo 7. Aplicación de biosílice, boro y zinc cada 15 días	61
Anexo 8. Flores de tomate cherry a los 2 meses después del trasplante	61
Anexo 9. Cuajado, crecimiento y desarrollo de los frutos de tomate cherry.....	62
Anexo 10. Selección y conteo de frutos para evaluación	62
Anexo 11. Pesado de frutos en balanza digital.....	63
Anexo 12. Evaluación de la firmeza de los frutos con el durómetro GY-3	63
Anexo 13. Medición de diámetro ecuatorial y diámetro polar de frutos con vernier digital	64
Anexo 14. Evaluación de sólidos solubles con el refractómetro	64
Anexo 15. Evaluación y cálculo de la acidez titulable	65
Anexo 16. Evaluación de pérdida de peso de frutos de tomate cherry.....	65
Anexo 17. Cosecha de frutos de tomate cherry	66
Anexo 18. Análisis de caracterización del suelo agrícola de Niño Yucay.....	67
Anexo 19. Datos de campo del número de frutos cuajados de tomate cherry por planta	68
Anexo 20. Datos de campo del peso de frutos de tomate cherry.....	68
Anexo 21. Datos de campo del diámetro ecuatorial de frutos de tomate cherry	68
Anexo 22. Datos de campo del diámetro polar de frutos de tomate cherry	68
Anexo 23. Datos de campo de la dureza de frutos de tomate cherry	69
Anexo 24. Datos de campo de los sólidos solubles en frutos de tomate cherry	69
Anexo 25. Datos procesados de la acidez titulable en frutos de tomate cherry	69
Anexo 26. Datos procesados de la pérdida de peso en frutos de tomate cherry.....	69

RESUMEN

El trabajo de investigación se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación foliar de niveles de biosílice, boro y zinc en el rendimiento y calidad de tomate cherry (*Lycopersicum esculentum*) var. cerasiforme, en arreglo factorial de 3 niveles de diatomita, 2 de boro y 2 de zinc (12 tratamientos), con 3 repeticiones, haciendo un total de 36 unidades experimentales, dispuestos y procesados en el Diseño Completamente Randomizado (DCR). Los parámetros evaluados fueron: de rendimiento (número de frutos cuajados, peso, diámetro ecuatorial y diámetro polar) y de calidad físico-químico (firmeza, sólidos solubles, acidez titulable y pérdida de peso de frutos). Se encontró que entre las variables de rendimiento la aplicación del tratamiento 12 (0.150% de biosílice, 0.025% de boro y 0.025% de zinc), favoreció el mayor número de frutos, peso, diámetro ecuatorial y diámetro polar en 104, 24.18 g, 35.51 mm, 33.45 mm respectivamente; así también, en todas las variables de calidad físico-química de frutos, fueron mejores con el tratamiento completo (T12), obteniendo resultados de 1.95 kg/cm², 10.53°Bx, 1.30% y 5.24%, para la firmeza, sólidos solubles, acidez titulable y pérdida de peso respectivamente.

Palabras clave: Tomate cherry, biosílice, boro, zinc, rendimiento.

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Lycopersicum esculentum*) var. cerasiforme, conocido como tomate cherry o tomate cereza, posee gran demanda por sus características nutricionales y cualidades organolépticas, que poco a poco se va incluyendo en la dieta alimenticia, presente en restaurantes y bares (Hernández, 2011). Se trata de un cultivo que se originó en los andes sudamericanos, inicialmente cultivadas como plantas decorativas por la variedad de sus formas y colores, actualmente reconocido por sus propiedades antioxidantes potentes debido al contenido de licopeno. Los tomates cherry son cada vez más populares en el mercado moderno, pero todavía son poco comunes en los mercados tradicionales (Kusumiyati et al., 2023), poseen un impacto económico por el uso en la comida tipo gourmet; sin embargo, su cultivo extensivo aun es desconocido y se recomienda la siembra en invernadero donde se pueda controlar el agua y la cantidad de nutrientes a aplicar, condiciones que mejoran la calidad de la fruta, convirtiéndose así en una opción favorable. Se desconoce aún la formulación de nutrientes adecuada para el cultivo, siendo una práctica común la aplicación edáfica, ésta se puede complementar con la aplicación foliar (Khan y Kuruwanshi, 2015), sobre todo de aquellos elementos cuyas dosis resulten pequeñas como los micronutrientes, que pueden ser abastecidos a través de las hojas (Christensen, 2006), entre ellos el boro, el cual, se ha demostrado que en pequeñas dosis aplicado como foliar resulta eficiente; ya que, participa en varios procesos como la floración, crecimiento del tubo polínico y la maduración del fruto (Herrera et al., 2010). Así Hanson (2001) refiere que niveles foliares de 15 ppm de boro, son suficientes para los arándanos. El zinc, importante en el crecimiento y desarrollo, en el metabolismo de las proteínas, los carbohidratos y la fertilidad sexual de las plantas (Feitosa et al., 2011). Por su parte el silicio (elemento benéfico) ampliamente reconocido por sus múltiples efectos en las plantas, como mejorar las barreras mecánicas debido a la acumulación y polimerización de sílice en diferentes partes de la planta; así también, activar la producción de proteínas de defensa y compuestos antimicrobianos (Shetty et al., 2011). Estas fueron las consideraciones que permitieron formular el trabajo con la finalidad de

evaluar el efecto de aplicar dosis de B, Zn y biosílice al follaje, como complemento de nutrición edáfica en plantas del cultivo de tomate cherry. Habiéndose planteado los siguientes objetivos:

Objetivo general

Evaluar la influencia de la aplicación foliar de niveles de biosílice, boro y zinc en el rendimiento y calidad físico-química de frutos de tomate cherry.

Objetivos específicos

1. Evaluar la influencia de niveles de biosílice, boro y zinc foliar, en el rendimiento de frutos de tomate cherry.
2. Evaluar la influencia de niveles de biosílice, boro y zinc foliar, en la calidad físico-química de frutos de tomate cherry.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. El tomate cherry

1.1.1. Origen

La versión domesticada del tomate (*Lycopersicum esculentum*) que conocemos hoy en día probablemente se originó en el sur de Ecuador a partir de *Lycopersicum esculentum* var. cerasiforme. Este evento habría ocurrido debido a la divergencia natural de *Solanum pimpinellifolium* hace aproximadamente 78,000 años. Posteriormente, las variedades de tomate migraron al noreste de Perú y de allí a Mesoamérica, donde aparentemente llegaron poblaciones silvestres hace unos 10,000 años y adquirieron características domesticadas debido a la actividad humana. Los tomates de América y Europa se extendieron por todo el mundo, desarrollando así múltiples variedades con buenas características, tales como, maduración temprana, altos rendimientos, excelente resistencia a las enfermedades y cultivares genéticamente modificados (Peralta et al., 2008 y Razifard et al., 2020).

1.2. Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica de (*Lycopersicum esculentum*) var. cerasiforme, según APG IV (2016) es la siguiente:

Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Sub clase	: Asteridae
Orden	: Solanales
Familia	: Solanaceae
Género	: <i>Lycopersicum</i>
Especie	: <i>Lycopersicum esculentum</i>
Variedad	: <i>Lycopersicum esculentum</i> var. cerasiforme

1.3. Antecedentes

Desde una perspectiva práctica, el uso de fertilizantes de silicato derivados de escorias en la agricultura data de la Edad Media en Europa. En la última década, el descubrimiento de transportadores de silicio, especialmente en las raíces del arroz, ha permitido avances significativos en la comprensión de la absorción de silicio por las plantas a nivel molecular. Asimismo, se han logrado importantes progresos en la identificación de los mecanismos moleculares mediante los cuales el silicio mejora la resistencia de las plantas a enfermedades fúngicas y bacterianas, así también, al daño causado por plagas de insectos (Liang et al., 2015).

Varios estudios han demostrado que el silicio aplicado en las hojas puede tener un impacto positivo en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Además, proporciona resistencia y tolerancia a diversas enfermedades fúngicas y condiciones de estrés; ya que, las plantas fertilizadas con silicio foliar, presentan una infección menos severa al ser infectadas con hongos; además, retrasa la aparición de la enfermedad y reduce su incidencia, modulando y sincronizando mejor la respuesta de la planta al patógeno. El silicio contribuye que el cultivo del tomate pueda crecer en suelos salinos, ya que, desempeña un papel crucial en fortalecer la estructura de las paredes celulares de los frutos, su presencia puede aportar importantes beneficios a la planta antes de que sufra estrés biótico u abiótico. Se ha observado que el uso de silicio incrementa los rendimientos de arroz (1-30%) y caña de azúcar (7-45%), además de reducir las concentraciones de sodio, boro y cloro en las partes aéreas de plantas de tomate y espinaca (*Espinacea oleracea*). Esto se debe a sus efectos sobre ciertas enzimas, cumpliendo un papel fisiológico y/o bioquímico en el aumento de la capacidad antioxidante de las plantas. El silicio no solo actúa como una barrera física (por ejemplo, los tricomas), teniendo un rol más dinámico y significativo. Se ha demostrado que las plantas sin silicio suelen ser estructuralmente más débiles, presentan una reproducción anormal, de menor tamaño, desarrollo y viabilidad, siendo más vulnerables al estrés abiótico y a la toxicidad por metales (Havlin et al., 2005; Toresano et al., 2012; Balakhnina y Borkowska, 2013; Fauteux et al., 2006 y Raya y Aguirre, 2012). En frutos de níspero japonés (*Eriobotrya japonica*) se demostró que las aplicaciones foliares de silicato de potasio, mantuvieron la firmeza y el color de la cáscara de la fruta por más tiempo, así también, ayudaron en la prolongación de vida útil de la fruta, reduciendo el porcentaje de pudrición y la pérdida de peso (El Kholy et al., 2018).

Darshani y Dilshan (2015), aplicando silicio y potasio foliar a tomates (*Solanum lycopersicum*) demostraron que las plantas tratadas, mostraron un diámetro de lesión de antracnosis (*Colletotrichum coccodes*) significativamente menor, así se obtuvo una mayor producción y mejor calidad de fruta.

Ekinci et al. (2015), aplicando niveles de humato de calcio al 12%, boro al 10% y ácido húmico y fúlvico al 15%, a plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y pepino (*Cucumis sativus* L.) en invernadero mejoraron el rendimiento, peso promedio, diámetro y longitud de fruta.

Bibi et al. (2017), aplicando dosis foliares de calcio (0, 0.3, 0.6 y 0.9%), boro (0, 0.25 y 0.5%) y zinc (0, 0.25 y 0.5%) a plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), encuentran que, las aplicaciones individuales de calcio al 0.6%, incrementó el número frutos, la altura, área foliar y el número de ramas primarias y secundarias por planta. En el caso del boro, se registró que con una aspersión foliar de 0.25%, se obtuvo mayor altura, número de hojas, frutos y ramas primarias y secundarias por planta, mientras que el área foliar máxima se encontró a niveles de 0.5%. El zinc al 0.5%, aportó a la altura máxima de planta, número de ramas primarias y secundarias, hojas, área foliar y número de frutos por planta. Estos nutrientes resultaron altamente significativos en la interacción combinada de Ca (0.6%), B (0.25%) y Zn (0.5%) para la mayoría de los atributos evaluados; concluyendo que, se podrían aplicar solos o en mezclas de dos, siendo los más representativos las interacciones de Ca $\times$ B y Ca $\times$ Zn. Así también, en el cultivo de mandarina satsuma (*Citrus unshiu* Marc.), en suelos ácidos, Zhang et al. (2015), encuentran que la aplicación de boro y zinc al suelo, no solo mejora el rendimiento, también aumenta significativamente los sólidos solubles totales, el porcentaje de los ácidos titulables y el contenido de vitamina C en fruta.

De manera similar, Singh et al. (2017) aplicando boro y zinc en dosis de 2.0g/l en el follaje del tomate cherry (*Solanum lycopersicum* var. cerasiforme), influye en la cantidad de flores, el cuajado de frutos por racimo, el peso y rendimiento de los frutos por planta. Por su parte Sainz (2019) evaluó diferentes fuentes de zinc foliar (Zn-nHA, Zn-LgSf y ZnSO₄), hidroxiapatita dopada con zinc, lignosulfonato de zinc y sulfato de zinc respectivamente, en plantas de tomate cherry (*Lycopersicon esculentum* Mill.).

Encontrando un aumento de peso, contenido de fenoles y dureza de frutos, siendo más efectivo la Zn-nHA, seguido por el Zn-LgSf y finalmente el ZnSO₄.

1.4. Morfología de la planta

1.4.1. Raíces

El sistema de raíces puede alcanzar a una profundidad de hasta 2 metros, dispone de una raíz pivotante y numerosas raíces secundarias. Si la raíz principal se daña, la planta desarrollará un sistema de raíces fasciculado, predominando las raíces adventicias, las cuales, se concentran en los primeros 30 cm del tallo (López, 2016).

1.4.2. Tallo

Los tallos son algo angulosos, semileñosos y de grosor medio, con tricomas simples y glandulares. Tienen un eje que varía entre 2 y 4 cm de grosor en la base, sobre el cual crecen las hojas, tallos secundarios e inflorescencias. En la parte superior se encuentra el meristemo apical, donde se forman los nuevos primordios de hojas y flores (López, 2016).

1.4.3. Hojas

La hoja es compuesta y pinnada, con siete a nueve folíolos peciolados que miden entre 4 y 60 mm de largo por 3 a 40 mm de ancho, son lobulados y tienen bordes dentados. Están cubiertas de pilosidades y se disponen de manera alternada a lo largo del tallo (López, 2016).

1.4.4. Flor

La flor es hermafrodita, con sépalos, pétalos y estambres que se insertan en la base del ovario. El cáliz y la corola tienen cinco o más sépalos y cinco pétalos amarillos, dispuestos en forma helicoidal. El ovario está dividido en dos o más segmentos y tiene de 5 a 6 estambres que se alternan con los pétalos, los cuales, ayudan en la formación de los órganos reproductivos (López, 2016).

1.4.5. Fruto

El fruto del tomate es una baya que puede tener dos o más cavidades, con forma esférica, globosa o alargada. Está compuesto por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas. Su color al madurar varía según la variedad, existiendo tomates amarillos,

rosados, morados, naranjas y verdes. Los tomates rojos contienen altas cantidades de licopeno en sus células, lo que les confiere propiedades antioxidantes (López, 2016 y Gamboa, 2012).

1.4.6. Semilla

Las semillas miden aproximadamente 5 x 4 x 2 mm, tienen forma ovalada, color pardo, son comprimidas, lisas o muy vellosas, y están rodeadas por una abundante masa mucilaginosa. Cada semilla está formada por el embrión, el endospermo y la cubierta seminal (López, 2016).

1.5. Condiciones agroecológicas del cultivo

1.5.1. Temperatura

La temperatura ideal para el crecimiento del cultivo durante el día oscila entre 16 y 28°C, y durante la noche de 10 a 17°C. Si las temperaturas diurnas superan los 28°C, el crecimiento y desarrollo de la biomasa de la planta se verán afectados, así como la fecundación de óvulos, la fructificación y el desarrollo de los frutos. Por otro lado, temperaturas diurnas por debajo de 16°C pueden causar problemas en el crecimiento y desarrollo óptimo de la planta (López, 2016).

1.5.2. Humedad relativa

La humedad relativa óptima para el tomate comprende de 60% a 80%; el cual, facilita una polinización normal y asegura una buena producción. Tanto el exceso como la falta de humedad relativa pueden causar desórdenes fisiológicos y aumentar la incidencia de enfermedades. Una humedad relativa superior al 80% favorece la aparición de enfermedades aéreas, el agrietamiento del fruto y complica la fecundación, ya que el polen se humedece y puede provocar abortos florales; por otro lado, una humedad relativa inferior al 60% dificulta la polinización (López, 2016).

1.5.3. Luminosidad

El cultivo de tomate requiere entre 8 y 16 horas de luz. Una iluminación insuficiente puede causar deficiencias en elementos como el calcio, reducir la evapotranspiración, la absorción de agua y nutrientes; además, puede inducir desórdenes fisiológicos en la floración, maduración del polen, fecundación y desarrollo vegetativo de la planta (López, 2016).

1.5.4. *Altitud*

El tomate es una planta que se cultiva en climas templados y su rango ecológico se encuentra entre los 1000 y 2000 m.s.n.m.; no obstante, hoy en día existen variedades que se han adaptado a un rango de altitudes más amplio (López, 2016).

1.5.5. *Suelo*

El cultivo de tomate no tiene grandes exigencias en cuanto al tipo de suelo, pero prospera mejor en suelos profundos (de 1 metro o más), con texturas medias, permeables y sin obstáculos físicos en su perfil, es decir, con buen drenaje; así también, tolera la acidez y crece adecuadamente en suelos con pH de 5.0 a 6.8, es medianamente tolerante a la salinidad, con valores máximos de 640 ppm (López, 2016).

1.6. *Etapas fenológicas del cultivo*

La fenología del cultivo depende de la variedad y de las condiciones climáticas de la región donde se cultiva. Las etapas se pueden clasificar en cuatro periodos (López, 2016).

1.6.1. *Siembra y establecimiento de planta joven*

Este es el periodo inicial de formación de las partes aéreas de la planta, conocido como desarrollo del semillero o almácigo, que dura aproximadamente una semana o más. Durante este tiempo, comienzan a aparecer los primeros brotes. Se aconseja sembrar después de la temporada de heladas, ya que, el tomate necesita una temperatura óptima promedio de 20 °C (López, 2016).

1.6.2. *Crecimiento vegetativo*

Durante los primeros 40 a 45 días después de la siembra, las plantas inician su desarrollo continuo. A esta fase le siguen cuatro semanas adicionales de crecimiento antes del trasplante definitivo (López, 2016).

1.6.3. *Floración e inicio del cuaje de la fruta*

Este periodo abarca desde el comienzo de la floración (20 a 40 días después del trasplante) hasta el final del ciclo de crecimiento de la planta. El cuaje ocurre cuando la flor es fecundada y comienza a transformarse en fruto (López, 2016).

1.6.4. Inicio del desarrollo y maduración de la fruta

El cuajado de la fruta se produce después de la polinización, en la que participan el viento y los insectos polinizadores. Una vez que comienza la fecundación, la fruta se desarrolla hasta que la flor cae. El crecimiento de la fruta y la acumulación de materia seca siguen un ritmo relativamente constante, alcanzando 2 o 3 grados de maduración; generalmente la maduración ocurre aproximadamente 80 días después del trasplante, dependiendo de la variedad, la nutrición y las condiciones climáticas. La cosecha se realiza entre 180 y 210 días después del trasplante definitivo (López, 2016).

1.7. Manejo agronómico del cultivo

1.7.1. Elaboración del semillero

Los sustratos para almácigos deben ser livianos, con un alto porcentaje de espacio poroso (80%), una gran capacidad de retención de humedad, buena aireación y drenaje adecuado, libres de patógenos y malezas. El semillero puede establecerse en recipientes como bandejas o macetas, que sean adecuados para colocar las semillas en condiciones óptimas de luz, temperatura, fertilidad y humedad, con el fin de asegurar una buena emergencia desde la primera etapa de desarrollo hasta el trasplante al campo. Los sustratos más utilizados para almacigo de semillas de tomate son la turba, arena, el compost o humus, cascarilla de arroz, fibra de coco, musgo o aserrín (López, 2016).

1.7.2. Germinación del semillero

La semilla suele germinar entre cinco y ocho días tras ser sembrada; no obstante, la germinación está condicionada por el vigor de la semilla, así también, la temperatura óptima, que debe estar entre 16 y 28 °C, y el sustrato a capacidad de campo (López, 2016).

1.7.3. Trasplante

Este proceso consiste en trasladar las plántulas del semillero a su ubicación final, ya sea en el campo o en el invernadero. Se lleva a cabo aproximadamente entre 25 y 30 días después de la siembra, dependiendo del vigor y calidad de las plantas. El trasplante debe realizarse desde el vivero al campo durante las horas frescas de la mañana o después de las tres de la tarde, posterior a ello, deben colocarse las plántulas en un lugar sombreado para evitar su deshidratación (López, 2016).

1.7.4. Fertilización y riego

Hosain (2020), sugiere aplicar NPK en una proporción de 138-92-150 kg ha⁻¹ para el cultivo de tomate cherry. Estos nutrientes deben ser distribuidos a lo largo del ciclo de cultivo para asegurar un crecimiento y desarrollo óptimos. Por su parte López (2016) indica que el fertilizante granulado debe aplicarse alrededor de la planta en forma de anillo para luego cubrirse con tierra. El cultivo de tomate, al igual que otros productos hortícolas, necesita una cantidad específica de agua para lograr mejores rendimientos comerciales.

1.7.5. Distancia de siembra

En el cultivo de tomate a campo abierto se emplea el sistema de siembra lineal por golpe. Se recomienda mantener distancias de 1.2 a 1.6 metros entre surcos y de 0.35 a 0.50 centímetros entre plantas, disponiendo los tallos a dos ejes verticales en forma de “Y”. Durante la temporada seca, la distancia entre las plantas es menor debido a que la biomasa no es tan abundante como en la temporada lluviosa (López, 2016).

1.7.6. Instalación de postes para el soporte del tutorado

Los postes pueden ser de troncos de madera (rollizos), generalmente distanciados de 2.5 a 3 metros entre sí (dependerá del área a cubrir). Se recomienda enterrar los postes entre 0.4 y 0.5 metros de profundidad, dejando una altura de 2.5 metros sobre el suelo, ya que, luego se colocará un alambre horizontal en la parte superior de los postes (López, 2016).

1.7.7. Tutorado

Es una práctica esencial para mantener la planta recta, facilitar el manejo de la plantación y evitar que los frutos toquen el suelo. Se realiza entre 15 y 22 días después del trasplante definitivo, la planta se amarra con soguillas a partir de los primeros 60 cm de altura con nudos suaves (evitando estrangular a los tallos), a medida que la planta crece, los tallos se envuelven en las soguillas de manera vertical (López, 2016).

1.7.8. Poda de formación

Esta técnica es crucial para los cultivares de crecimiento semideterminado e indeterminado. Se lleva a cabo entre 20 y 30 días después del trasplante y consiste en dejar de dos a cuatro ejes en las plantas de tomate cherry, manteniendo los tallos más

vigorosos y gruesos, así como el eje situado debajo de la primera inflorescencia, para formar una estructura en forma de tenedor hacia arriba. Con esta práctica, se eliminan los primeros tallos laterales (chupones) y las hojas más viejas que están debajo del primer racimo floral (López 2016).

1.8. Enfermedades y plagas

Según López (2016), las principales enfermedades y plagas en el cultivo de tomate son:

1.8.1. Enfermedades

- ✓ Tizón tardío o apagón (*Phytophthora infestans*)
- ✓ Tizón temprano (*Alternaria sp.*)
- ✓ Pudrición de la base del tallo y marchitez fungosa (*Fusarium solani*, *Fusarium oxysporum* y *Fusarium lycopersici*)
- ✓ Mal del talluelo (*Phythium sp.*)
- ✓ Podredumbre del cuello (*Sclerotium rolfsii*)
- ✓ Mildiu o cenicilla (*Oidium lycopersicum*)
- ✓ Pudrición gris (*Botrytis cinérea*)
- ✓ Marchitez por verticillium (*Verticillium alboatrum* y *Verticillium dahliae*)
- ✓ Moho de la hoja o cladosporiosis (*Fulvia fulva*)
- ✓ Podredumbre negra o antracnosis (*Colletotrichum sp.*)
- ✓ Pudrición del fruto (*Rhizopus stolonifer*)
- ✓ Pudrición ácida (*Geotrichum candidum*).

1.8.2. Plagas

- ✓ Mosca blanca (*Bemisia tabaci*, *Trialeurodes vaporariorum*)
- ✓ Falsos medidores (*Pseudoplusia includens* y *Trichoplusia n.*)
- ✓ Gusanos grises (*Agrotis spp.*)
- ✓ Larva del fruto (*Helicoverpa sp.*)
- ✓ Larva del tabaco (*Manduca sexta*)
- ✓ Gallina ciega (*Phyllophaga sp.*)
- ✓ Áfidos o pulgones (*Myzus persicae* y *Aphis gossypii*)
- ✓ Trips (*Frankliniella occidentalis*, *E. americanus*, *T. tabaci*)
- ✓ Gusano alfiler o polilla del tomate (*Tuta absoluta*)
- ✓ Minador de la hoja (*Liriomyza trifolii*)

- ✓ *Diabrotica sp.*
- ✓ Ácaro rojo o arañita roja (*Tetranychus urticae*)
- ✓ Babosas (*Lehmannia valentina*, *Deroceras reticulatum*, *Vaginulus occidentalis*)
- ✓ Caracoles (*Pomatiopsis sp*, *Opeas pumilum*, *Cecilioides aperta*).

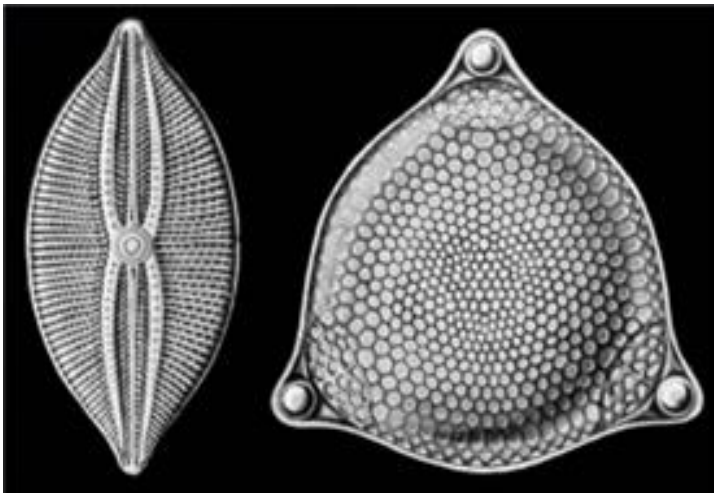
1.9. Diatomita

Las diatomeas son algas unicelulares microscópicas con paredes de sílice (Figura 1.1), su forma es muy diversa y, al morir, el material orgánico se descompone, dejando solo el esqueleto de sílice, conocido como frústula (Figura 1.2), estos esqueletos se acumulan en el fondo de lagos y mares, formando una roca llamada diatomita. El tamaño de las valvas de las diatomeas varía según la especie, generalmente entre 5 y 10 μm de diámetro. Se han identificado alrededor de 10,000 especies en 200 géneros, tanto en agua dulce como en el mar (Alfaro, 2007 y Verdeja et al.,1992).

Por lo tanto, se define como una “roca sedimentaria silícea de origen biogénico”, compuesta principalmente por restos fosilizados de esqueletos o frústulas de diatomeas, con diferentes grados de consolidación (Berry, 1983; citado en DGDM, 2017).

Figura 1.1.

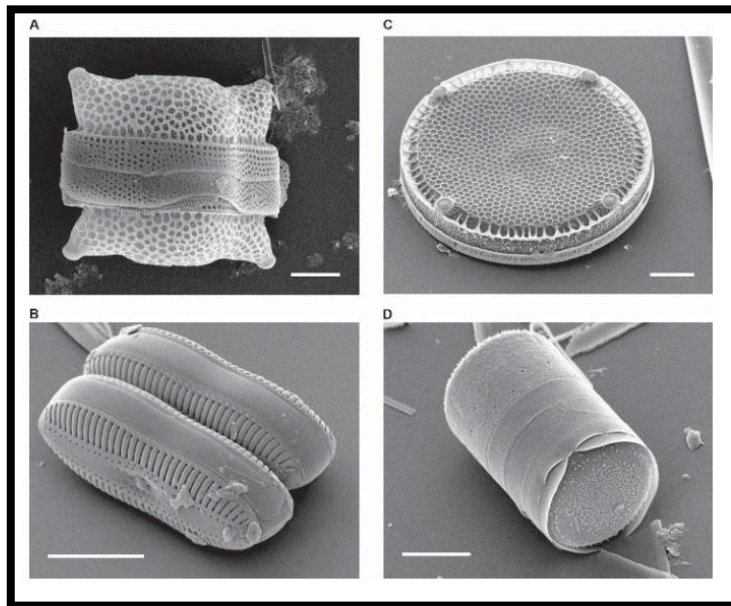
Diatomea pennal y central



Nota: El gráfico representa la morfología de las algas *diatomeas pennal* (izquierda) y *central* (derecha). Tomado de *Diatomitas en el Perú, características y aplicaciones* por Ramírez, 2010.

Figura 1.2.

Frústulas de diatomeas



Nota: El gráfico representa las frústulas o esqueletos de las diatomeas de diferentes especies *Biddulphia reticulata* (A), *Diploneis* sp. (B), *Eupodiscus radiatus* (C) y *Melosira varians* (D). Tomado de *Nature's Nanotechnologists: Unveiling the Secrets of Diatoms* por Bradbury, 2004.

1.9.1. Características físicas y químicas de la diatomita

Según Verdeja et al. (1992), las propiedades físicas y químicas de las diatomitas en el Perú son las siguientes:

a. Características físicas de la diatomita

Se muestran en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1.

Características físicas de la diatomita

Tipo de yacimiento	Lacustre		Marino	
	Ayacucho	Arequipa	Piura	Ica
Densidad real (g/cm ³)	2.22	2.12	2.26	2.51
Densidad global (g/cm ³)	0.36	0.4	0.38	0.59
Porosidad total (%)	83.76	80.9	83.24	76.43
Superficie específica (Hg.m ² /g)	11.3	N.D.	13.5	7.3

Nota: Características físicas de la diatomita. Tomado de *Contribución al estudio de las diatomitas del Perú* por Verdeja et al. (1992)

b. Características químicas de la diatomita

Se muestran en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2.*Características químicas de la diatomita*

Tipo de yacimiento	Lacustre			Marino	
Región	Arequipa	Ayacucho	Tacna	Piura	Ica
SiO ₂ (%)	84.89	85.78	68.00	65.50	73.80
Al ₂ O ₃ (%)	2.62	2.71	8.15	2.00	9.70
Fe ₂ O ₃ (%)	1.04	1.22	3.00	1.30	3.00
CaO (%)	0.94	0.64	2.00	9.60	2.90
MnO (%)	0.03	0.01	0.56	-	-
MgO (%)	0.50	0.55	2.57	3.30	1.20
TiO ₂ (%)	-	0.14	0.31	-	-
Na ₂ O (%)	0.92	0.26	1.38	1.90	1.80
P ₂ O ₅ (%)	0.01	0.02	0.33	-	-
K ₂ O (%)	0.58	0.39	1.45	0.50	1.30
Pérdida por calcinación (PXC)	7.34	8.29	11.20	14.75	4.66

Nota: Características químicas de la diatomita. Tomado de *Contribución al estudio de las diatomitas del Perú* por Verdeja et al. (1992)

1.9.2. Tipos de diatomita

Saldarriaga, 2009, indica que los tipos de diatomita dependen de la coloración y la composición, así como del porcentaje de frústulas intactas en comparación con las trituradas o rotas, estas se pueden clasificar en tres tipos comerciales:

- ✓ Diatomita de calidad extra: de apariencia limpia (dispone de colores blanquecinos).
- ✓ Diatomita de calidad primera: de colores claros (blanquecinos).
- ✓ Diatomita de calidad segunda: dispone desde colores grisáceos a blanquecinos.

1.9.3. Depósitos de diatomita en el Perú

Según Ramírez (2010), hay dos tipos de depósitos de diatomita en el Perú, diatomita de origen marino y diatomita de origen lacustre:

a. Depósitos de diatomita de origen marino

Se las ubica en las regiones de Piura e Ica, y se observan en la Figura 1.3.

• Piura

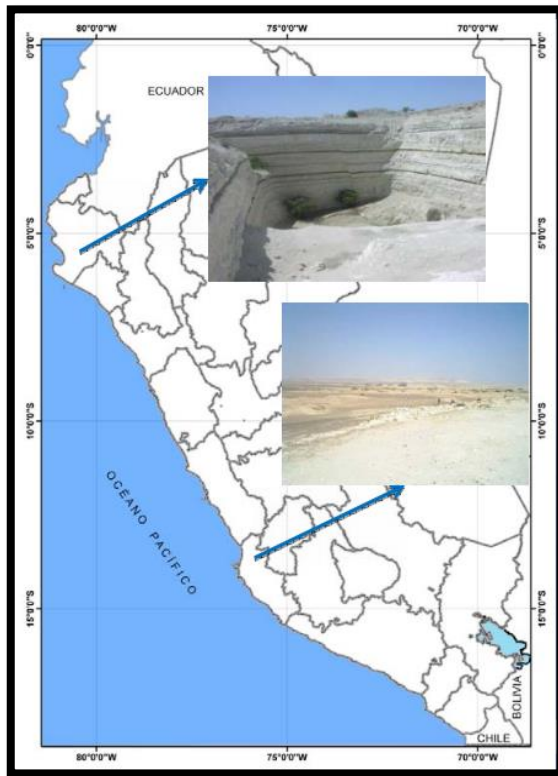
Depósitos de diatomita se encuentran intercaladas con fosforitas en la formación Zapallal.

• Ica

Se encuentran en la formación Pisco, intercaladas con capas de arcillas.

Figura 1.3.

Depósitos de diatomita de origen marino



Nota: El gráfico representa los depósitos de diatomita de origen marino en Piura e Ica. Tomado de *Diatomitas en el Perú, características y aplicaciones* por Ramírez, 2010.

b. Depósitos de diatomita de origen lacustre

Ubicadas en las regiones de Ayacucho y Arequipa, y se observan en la Figura 1.4.

- **Ayacucho**

Los dos yacimientos más representativos son Quicapata y Tambillo, esto indica que las diatomitas intervinieron en la formación de la región de Ayacucho.

- **Arequipa**

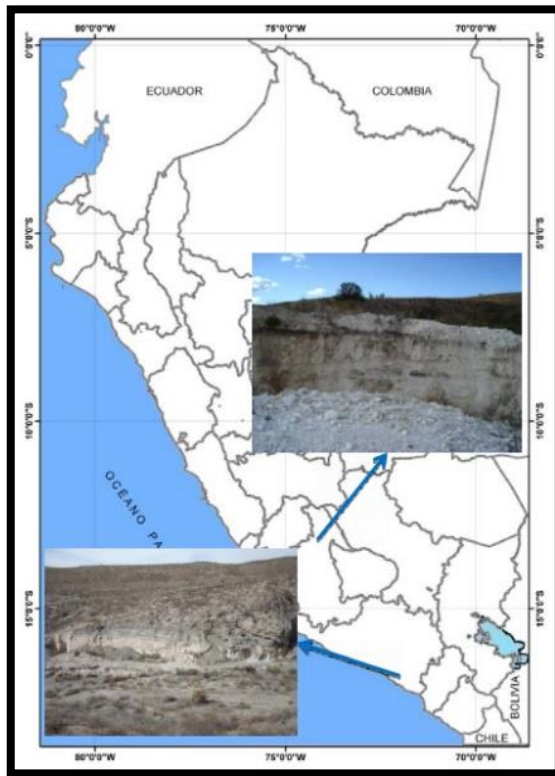
Capas de diatomita alternan con sedimentos lacustres y cenizas volcánicas.

- **Otros depósitos**

En Arequipa están Uzuña, Uyapampa y Polobamba, en Junín Yanacancha, en Ancash Recuay, en Puno Huamali y en Tacna Aricota y Tripartito.

Figura 1.4.

Depósitos de diatomita de origen lacustre



Nota: El gráfico representa los depósitos de diatomita de origen lacustre en Ayacucho y Arequipa. Tomado de *Diatomitas en el Perú, características y aplicaciones* por Ramírez, 2010.

1.9.4. Usos

La diatomita es ampliamente conocida en el mercado y ha sido utilizada en diversas aplicaciones a lo largo del tiempo, como adhesivos, fertilizantes, insecticidas, pulimentos, pinturas, piedras, aislantes, refractarios, plásticos, entre otros. Este material posee excelentes propiedades, entre las cuales destacan su alta porosidad, resistencia a altas temperaturas y capacidad de absorción de líquidos (Canahuire et al., 2021).

Saldarriaga (2009) menciona que algunos nombres comerciales de la diatomita son: celatom, dicalite, microsil, kenite y diactiv. Sus principales usos son:

- ✓ Material filtrante: para clarificar vino, cerveza, licores azucarados, zumos y aceites comestibles.
- ✓ Material absorbente: en forma pulverizada o sólida, mezclada con líquidos puede absorber entre 150 y 200% de su peso en agua sin perder su forma. Esta propiedad se utiliza para impregnar desinfectantes e insecticidas, y también como soporte para pesticidas, catalizadores y lechos de animales.

- ✓ Carga o material de relleno: en plásticos, caucho, pinturas, papel, pasta y moldes dentales. También se usa en la fabricación de jabones, comprimidos medicinales, fertilizantes y muchas otras aplicaciones.
- ✓ Aporte de sílice: para el cemento Pórtland, la elaboración de silicatos sintéticos y productos aislantes o ignífugos.
- ✓ Abrasivo suave: en polvo para la preparación de pasta de dientes, ciertos jabones y materiales de limpieza, así como para pulir superficies metálicas, vidrios, etc.
- ✓ Material aislante del calor y del ruido: en su forma natural, como bloques aserrados o ladrillos hechos con diatomita pulverizada y arcillas u otros aglutinantes. Se utiliza en la fabricación de empaquetaduras, cubiertas aislantes de tuberías, aislamiento de hornos, y planchas aislantes de ruido para paredes y techos, así como en la manufactura de cementos refractarios especiales.
- ✓ Materiales de construcción: como aditivo para el concreto, mejorando su homogeneidad y manejabilidad, y aumentando su impermeabilidad final.
- ✓ Lechos de animales: en forma granular, absorbe las excreciones de los animales y elimina los malos olores, aplicando una capa de aproximadamente 6 cm de grosor en una caja.

1.9.5. La diatomita en agricultura

En los últimos años, el silicio ha ganado aceptación global como un aditivo importante en la agricultura. Este mineral ayuda a mitigar diversos estreses bióticos y abióticos, como la salinidad, la sequía, las inundaciones, las heladas, las altas temperaturas, la radiación ultravioleta y el estrés por deficiencia y toxicidad de nutrientes minerales. Se demostró que los fertilizantes a base de sílice mejoran altamente la resistencia de plantas a enfermedades y plagas, lo que contribuye a una mayor seguridad alimentaria y producción, además de reducir los costos de insumos y los impactos negativos en la salud ambiental. Sin embargo, los mecanismos exactos de cómo el silicio funciona en la biología vegetal aún no se comprenden completamente y requieren más investigación. En los últimos años, se ha prestado menos atención a la aplicación de fertilizantes a base de silicio en muchas prácticas agrícolas (Liang et al., 2015).

El silicio en la diatomita es considerado beneficioso por sus propiedades que aumentan la productividad, especialmente bajo condiciones de estrés en cultivos como

arroz, caña de azúcar, trigo, cebada y pepino. Las plantas absorben el silicio a través de sus raíces en forma de ácido silícico o ácido monosilícico Si(OH)_4 , el cual se transporta a los puntos de crecimiento. Allí, tras perder agua, se polimeriza en forma de gel de sílice y se deposita en las hojas y tallos (Acosta et al., 2007).

1.10. El boro

El boro es un elemento litófilo que se encuentra en bajas concentraciones en rocas ígneas. Su geoquímica está fuertemente influenciada por el proceso de sedimentación, por lo que se encuentra en mayores cantidades en rocas sedimentarias. La mineralogía afecta su presencia, siendo menos común en la caolinita y más abundante en suelos con alto contenido de arcillas. También se encuentra parcialmente en la materia orgánica, por lo que los suelos con bajo contenido de materia orgánica pueden presentar deficiencia de este nutriente (Aguayo et al., 2015).

El boro es relativamente raro en la corteza terrestre y no se encuentra en su estado puro, sino oxidado como borato. Estos boratos se presentan como minerales en diversos tipos de rocas, siendo el bórax, la ulexita, la colemanita y la turmalina los más comunes. Estas sales de boro son bastante solubles en agua y pueden encontrarse concentradas en salares (Laos y Benner, 2019).

1.10.1. Características físicas y químicas del boro

a. Características físicas del boro

El boro elemental no se disuelve en agua, alcohol ni soluciones básicas; sin embargo, es soluble en ácido nítrico y ácido sulfúrico. Se utiliza en aleaciones con metales para formar boruro de aluminio. En condiciones ambientales, es un elemento estable que no reacciona químicamente con el oxígeno ni la humedad (Mayta y Yajo, 2022).

b. Características químicas del boro

El boro, con un peso atómico de 10.81, es el elemento más electronegativo del Grupo III y ocupa la quinta posición en la tabla periódica. Tiene una densidad de 2.37 g/cm³, un punto de ebullición de 2250 °C y un punto de fusión de 2079 °C. Debido a su tamaño, sus tres electrones de valencia y su alta energía de ionización, el boro presenta propiedades químicas complejas (Paredes y Medina, 2022).

1.10.2. Compuestos de boro

El boro se encuentra en la naturaleza en forma de compuestos debido a su alta afinidad con el oxígeno (no en estado puro). Existen más de 200 compuestos de boro, aunque solo una pequeña parte de ellos se utiliza ampliamente en la industria. De manera natural, el boro se combina con el oxígeno para formar tetraborato de sodio (bórax), ácido bórico (H_3BO_3) y tetrafluoroborato cuando está asociado con el flúor (Paredes y Medina, 2022).

1.10.3. Presencia del boro en la naturaleza

El boro se encuentra presente en la corteza terrestre y la hidrosfera:

a. En la corteza terrestre

El boro se encuentra en los suelos combinados con minerales, adsorbido en arcillas, en materia orgánica y en soluciones acuosas. Es el elemento más móvil en los suelos y puede presentarse en mayores o menores cantidades como ácido bórico y tetrahidroxiborato, respectivamente. El agua, especialmente la de lluvias y riego agrícola, influye significativamente en los compuestos de boro en los suelos. En áreas con alta humedad, el boro puede acumularse en las capas superficiales del suelo hasta alcanzar niveles tóxicos debido a la lixiviación. La cantidad de boro en el suelo varía según el tipo de suelo; los suelos con alta materia orgánica tienen un alto contenido de boro, al igual que los suelos arcillosos, que contienen boro asimilable para las plantas. En contraste, los suelos arenosos, debido a su textura ligera, tienen menos boro. La cantidad de boro en los suelos varía de 2 a 100 ppm (Paredes y Medina, 2022).

b. En la hidrosfera

Dependiendo de la concentración de boro, existen diferentes tipos de soluciones acuosas. Cuando la concentración de boro está entre 0.025 y 0.6 M y el pH es de 6 a 10, se forman iones poliborato. Sin embargo, cuando la concentración es menor a 0.02 M, el boro se encuentra como anión borato y ácido bórico. Además, puede presentarse como complejos de bis (diol) borato y monoborato, ésteres de boro y ésteres neutros de monoborato, resultantes de la reacción entre el ácido bórico y los boratos con polioles y alcoholes. El boro está presente en mayor proporción en el agua de los océanos, con una concentración aproximada de 4.6 mg/l, variando entre un mínimo de 0.5 y un máximo de 9.6 mg/l, este último en el mar Mediterráneo. En el subsuelo, la concentración natural de

boro no supera 1 mg/l, pero puede aumentar debido a actividades humanas y geotérmicas. En aguas superficiales como ríos y lagos, la concentración de boro depende de las características del suelo, los procesos de erosión, la proximidad a zonas costeras y algunas actividades humanas. El vertido de agua con detergentes o productos de limpieza y el uso de diversos productos químicos en la agricultura también contribuyen a la presencia de boro en aguas superficiales (Paredes y Medina, 2022).

1.10.4. El boro en agricultura

El boro es un micronutriente esencial para las plantas. Su deficiencia deteriora diversas funciones y procesos fisiológicos. Desempeña un papel crucial en la estabilidad de los cultivos, ya que el 90% del boro en la planta se asocia con la pared celular, formando enlaces con pectinas y polisacáridos (INTAGRI, 2015).

Bibi et al. (2017), indican que el boro está involucrado en la síntesis e integridad de la pared celular del fruto, el metabolismo del ARN, los carbohidratos, el ácido indolacético (AIA), la respiración y la integridad de la membrana celular; así también, aumenta el porcentaje de fructificación al promover el desarrollo del polen y el alargamiento del tubo polínico. El contenido de boro también influye en el metabolismo del calcio y su deficiencia disminuye el calcio asociado con los constituyentes de la pectina, la deficiencia de boro da como resultado el marchitamiento y la caída de las hojas, esto afecta negativamente la calidad y el rendimiento de muchas hortalizas, por ello, se recomienda su aplicación foliar o edáfica, durante la temporada de crecimiento y en la etapa de producción. Por su parte Saleem et al. (2011), indican que el boro es único, no sólo por sus propiedades químicas, sino también por su papel en la biología, desde el descubrimiento del boro como nutriente esencial para las plantas, la importancia del elemento como químico agrícola ha crecido rápidamente, ya que, la aplicación de este es determinante durante la producción agrícola, la deficiencia de boro perjudica el crecimiento de las plantas y reduce el rendimiento. Para un crecimiento normal y saludable de las plantas se requiere un suministro continuo de boro, una vez absorbido y usado en la planta se pueden observar los resultados en los tejidos más jóvenes; por ello, es necesario un suministro adecuado de boro para obtener altos rendimientos y buena calidad en los cultivos agrícolas.

1.11. El zinc

El zinc es un metal sólido y brillante de color gris azulado que se oscurece rápidamente al exponerse al aire. Pertenece a los metales de transición, se encuentra en el grupo II-B de la tabla periódica, tiene un número atómico de 30 y una valencia de +2. Su principal uso industrial es la galvanización de hierro y acero. Perú es el segundo mayor productor de zinc a nivel mundial, y en el ámbito regional, Áncash es la principal productora de este metal (Vargas et al., 2018 y Piedra, 2019).

En el cuerpo humano, el zinc es uno de los elementos esenciales más abundantes y, como ión intracelular, se encuentra principalmente en el citosol. La cantidad en un adulto varía entre 1 y 2.5 gramos, siendo el segundo oligoelemento más abundante en el organismo, solo superado por el hierro (Rubio et al., 2005).

Hace aproximadamente 50 años, el zinc fue reconocido como un micronutriente esencial para las plantas. Desde entonces, numerosos estudios han demostrado que la deficiencia de zinc es un problema nutricional grave para varios cultivos. India fue el primer país en reportar deficiencias de zinc en el cultivo de arroz (Medina, 2009).

1.11.1. Características físicoquímicas del zinc

Según Vargas et al. (2018), las características físicoquímicas del zinc son:

- ✓ Símbolo químico : Zn
- ✓ Número atómico : 65.37
- ✓ Estado de oxidación : 2
- ✓ Puntos de fusión y de ebullición : 419°C - 907°C
- ✓ Estructura cristalina : Hexagonal, dihexagonal y dipirimidial
- ✓ Densidad (25°C) : 7133 kg/m³
- ✓ Dureza : 2.5
- ✓ Maleabilidad y ductilidad : 100°C - 150°C
- ✓ Resistencia eléctrica (20°C) : 5.96 ohm.cm
- ✓ Conductividad térmica (solido 18°C): 113 W/m.K
- ✓ Isotopos : 60 – 73

1.11.2. Compuestos de zinc

Según Piedra (2019), los compuestos de zinc más conocidos incluyen el sulfato de zinc heptahidratado, oxisulfato de zinc, cloruro de zinc, nitrato de zinc, zinc quelatado microgranular y óxido de zinc (ZnO). Este último se utiliza en la formulación de pinturas y como antiséptico, además de emplearse en la producción de fertilizantes y desinfectantes a base de sulfato de zinc monohidratado.

1.11.3. Presencia del zinc en la naturaleza

El zinc es un elemento ampliamente distribuido en la naturaleza, aunque no es abundante, ya que constituye solo el 0.012% de la corteza terrestre. En los suelos, su concentración media es de 50 mg/kg (Rubio et al., 2007).

1.11.4. El zinc en agricultura

Bibi et al. (2017), indica que el zinc es un micronutriente esencial importante que ayuda en la formación de triptófano, un precursor de ácido indolacético (AIA), responsable de la estimulación del crecimiento, juega un papel vital en la síntesis de la enzima anhidrasa carbónica que ayuda en el transporte de CO₂. La deficiencia de zinc provoca entrenudos más cortos y delgados, crecimiento atrofiado, aparición de clorosis, manchas en las hojas más viejas y torsión de los bordes de las hojas hacia arriba y plantas con características anormales. Respecto a la disponibilidad del zinc en el suelo Nielsen (2012), indica que la deficiencia de zinc está muy extendida entre las plantas cultivadas en suelos calcáreos con pH alto, porque el zinc no está disponible a través de la adsorción en arcilla o carbonato de calcio, los suelos con alto contenido de fósforo disminuyen la solubilidad del zinc, esto puede provocar una deficiencia de zinc en las plantas, es probable que este efecto se encuentre con grandes aplicaciones de fertilizantes con fósforo en suelos con bajo contenido de zinc disponible.

La aplicación zinc al suelo es menos efectiva, debido a las limitaciones de las raíces y la baja movilidad en el suelo es parcialmente inmóvil en el floema; sin embargo, la absorción foliar es rápida, por lo que se necesitan aplicaciones repetidas de Zn para superar las deficiencias de este nutriente, este elemento forma parte de los procesos de síntesis de carbohidratos en la fotosíntesis, transformación de azúcares en almidón, formación de la estructura y funcionalidad de muchas enzimas (Swietlik 2002; INTAGRI, 2017).

CAPÍTULO II

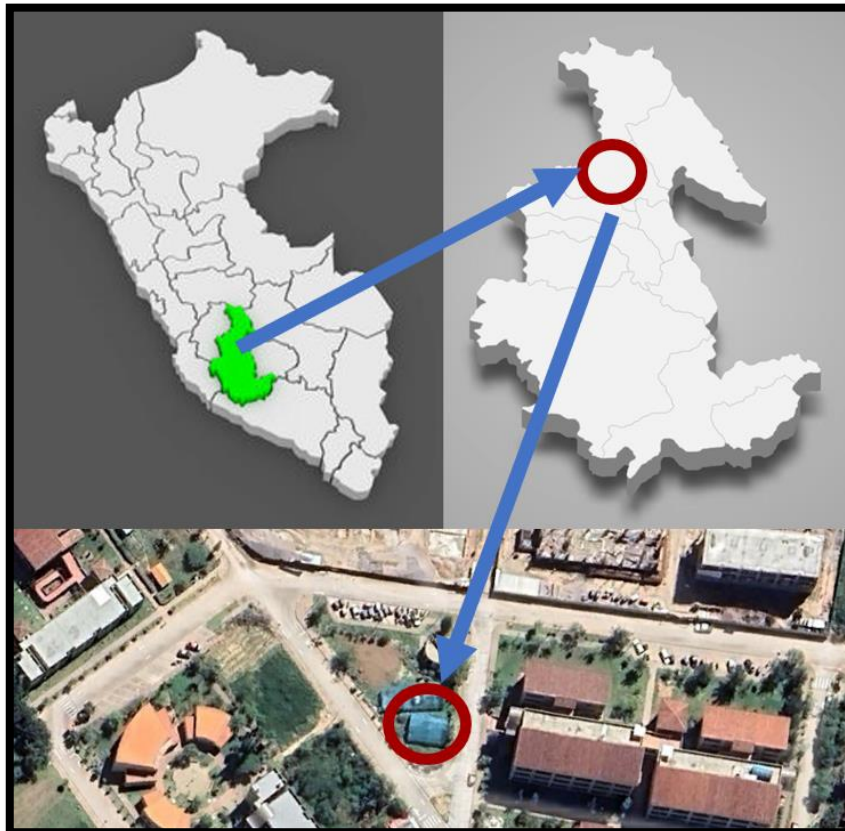
METODOLOGÍA

2.1. Ubicación

El trabajo de investigación se desarrolló en el vivero del área de suelos, ubicado en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, cuyas coordenadas son 13°08'42"S; 74°13'21"W, altitud de 2788 m.s.n.m., en el distrito de Ayacucho, provincia Huamanga, departamento de Ayacucho que se muestra en la figura 2.1.

Figura 2.1.

Ubicación del experimento



Nota: Adaptado de Mapa del Perú, Mapa de Ayacucho y vista satelital de la UNSCH, Google (2024)

2.2. Muestreo y caracterización del suelo empleado

El muestreo de suelo se realizó considerando las pautas generales, tomando una muestra de aproximadamente 1 kg en la localidad de Niño Yucay perteneciente al distrito de Tambillo, provincia Huamanga, departamento Ayacucho. El mismo que fue remitido a un laboratorio especializado de la localidad para su respectivo análisis de caracterización, cuyos resultados e interpretación se observan en la tabla 2.1.

Tabla 2.1.

Análisis de caracterización del suelo agrícola de Niño Yucay

Propiedades químicas	Unidad	Valor	Interpretación
pH	-	7.11	Neutro
C.E.	dS.m ⁻¹	0.78	Normal, no salino
CaCO ₃	(%)	0	-
Nt	(%)	0.15	Medio
M.O.	(%)	3.14	Alto
P	Ppm	115	Muy alto
K	Ppm	625	Muy alto
CIC	Cmol(+).kg ⁻¹	16.1	Medio
Ca ⁺⁺	Cmol(+).kg ⁻¹	11.1	
Mg ⁺⁺	Cmol(+).kg ⁻¹	2.78	
K ⁺	Cmol(+).kg ⁻¹	1.45	
Na ⁺	Cmol(+).kg ⁻¹	0.75	
Al ⁺³ + H ⁺	Cmol(+).kg ⁻¹	0	
Saturación de bases	(%)	100	Suelo saturado de bases
Propiedades físicas			
Arena	(%)	70	-
Limo	(%)	13	-
Arcilla	(%)	17	-
Clase Textural		Fr. A.	Franco arenoso
Microelementos			
Hierro	Ppm	26	Bajo
Cobre	Ppm	2	Bajo
Zinc	Ppm	14	Bajo
Manganeso	Ppm	27	Bajo
Boro	Ppm	0.01	Bajo
Relaciones catiónicas			
Ca/K	Cmol(+).kg ⁻¹	6.68	Deficiencia de calcio
Ca/Mg	Cmol(+).kg ⁻¹	3.99	Deficiencia de calcio
Mg/K	Cmol(+).kg ⁻¹	1.9	Ideal
(Ca+Mg+K)/Al	Cmol(+).kg ⁻¹	-	-

2.3. Materiales en estudio

2.3.1. *Foliares*

- ✓ **La diatomita o biosílice.** La diatomita empleada fue obtenida de la zona de Quicapata (Carmen Alto) en bloques grandes, la misma que se procedió a triturar y tamizar, una vez fina se aplicaron a las plantas en los distintos tratamientos.
- ✓ **El ácido bórico y sulfato de zinc.** Fuentes de boro y zinc respectivamente fueron insumos químicos comerciales.

2.3.2. *Material biológico*

Se emplearon plantas de tomate cherry (*Lycopersicum esculentum*) var. cerasiforme, cuyas semillas fueron recolectadas de una campaña anterior, estas plantas provienen de una variedad silvestre y se adaptan muy bien a las condiciones climáticas de nuestra región.

2.4. Factores de estudio

A. Niveles de biosílice foliar

- ✓ $a_1 = 0\%$
- ✓ $a_2 = 0.10\%$
- ✓ $a_3 = 0.15\%$

B. Niveles de boro foliar

- ✓ $b_1 = 0\%$
- ✓ $b_2 = 0.025\%$

C. Niveles de zinc foliar

- ✓ $c_1 = 0\%$
- ✓ $c_2 = 0.025\%$

2.5. Tratamientos

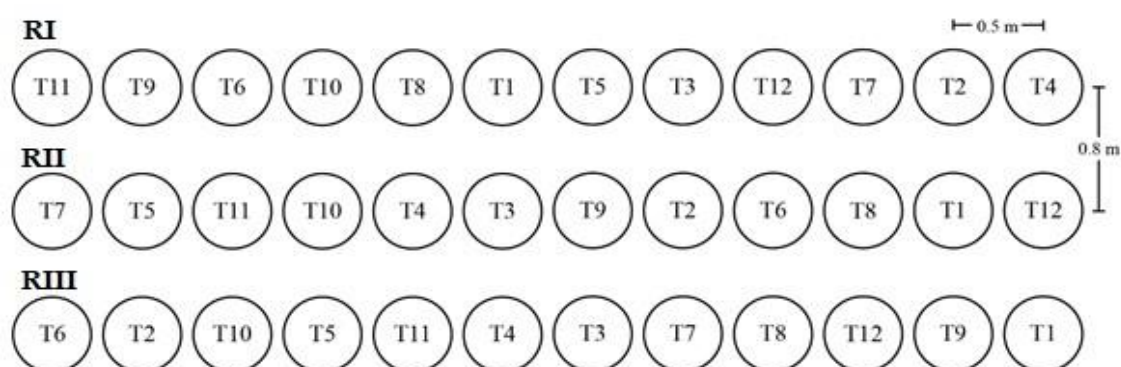
Los tratamientos considerados, corresponden a un factorial de 3 niveles de biosílice, 2 de boro y 2 de zinc foliar, que hacen un total de 12 tratamientos, los mismos que se describen en la tabla 2.2, con 3 repeticiones haciendo un total de 36 unidades experimentales.

Tabla 2.2.*Descripción de los tratamientos del experimento*

Tratamientos	Descripción	Código
T1	Tratamiento testigo	a1b1c1
T2	0.000% biosílice, 0.000% boro y 0.025% zinc	a1b1c2
T3	0.000% biosílice, 0.025% boro y 0.000% zinc	a1b2c1
T4	0.000% biosílice, 0.025% boro y 0.025% zinc	a1b2c2
T5	0.100% biosílice, 0.000% boro y 0.000% zinc	a2b1c1
T6	0.100% biosílice, 0.000% boro y 0.025% zinc	a2b1c2
T7	0.100% biosílice, 0.025% boro y 0.000% zinc	a2b2c1
T8	0.100% biosílice, 0.025% boro y 0.025% zinc	a2b2c2
T9	0.150% biosílice, 0.000% boro y 0.000% zinc	a3b1c1
T10	0.150% biosílice, 0.000% boro y 0.025% zinc	a3b1c2
T11	0.150% biosílice, 0.025% boro y 0.000% zinc	a3b2c1
T12	0.150% biosílice, 0.025% boro y 0.025% zinc	a3b2c2

2.6. Distribución de los tratamientos

Los tratamientos fueron distribuidos al azar, con un distanciamiento de 0.5 m entre plantas y 0.8 m entre repeticiones, en macetas de capacidad de 9 kg (324 kg suelo), el croquis que se usó se muestra en la figura 2.2.

Figura 3.2.*Croquis del experimento*

2.7. Diseño metodológico y análisis estadístico

El experimento fue distribuido en el diseño completamente randomizado (DCR), los resultados obtenidos de la evaluación tabulados y sometidos a la prueba de ANVA, los caracteres que resultaron significativos se sometieron a la prueba de contraste Tukey.

El modelo aditivo lineal (MAL) es:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + C_k + (ABC)_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} : es una observación cualquiera del i-ésimo nivel de biosílice, j-ésimo nivel de boro y k-ésimo nivel de zinc

μ : es el efecto de la media general o promedio de las unidades experimentales

A_i : es el efecto del i-ésimo nivel de biosílice

B_j : es el efecto del j-ésimo nivel de boro

C_k : es el efecto del k-ésimo nivel de zinc

$(ABC)_{ijk}$: es la interacción del i-ésimo nivel de biosílice, j-ésimo nivel de boro y k-ésimo nivel de zinc

ε_{ijk} : es el error experimental asociado a la ijk-ésima unidad experimental.

2.8. Duración del trabajo de investigación

El trabajo de investigación tuvo un periodo de 10 meses, comprendidos desde la producción de plantines, instalación, manejo y evaluación del experimento en campo y laboratorio.

2.9. Instalación y conducción del experimento

2.9.1. Producción de plantines de tomate cherry

a. Desinfección de semillas

Las semillas fueron desinfectadas empleando Vitavax 300, fungicida que permite proteger a las semillas de la chupadera fungosa (*Rhizoctonia solani*), durante el proceso de emergencia.

b. Preparación de almácigo

Como sustrato se empleó la mezcla arena, tierra negra y musgo, en proporciones de 1:1:2 respectivamente; colocadas en bandejas de almácigo de 128 plantas de capacidad, sobre la cual se sembraron semillas de tomate cherry (*Lycopersicum esculentum*) var. cerasiforme.

c. Repique

Al cabo de tres semanas, después de la germinación se realizó el repique de plantines de tomate cherry, trasladándolas a pequeñas macetas, donde fueron individualizadas las mejores plantas del almácigo.

2.9.2. Instalación del cultivo

a. Preparación del sustrato

El suelo procedente de la localidad de Niño Yucay perteneciente al distrito de Tambillo departamento Ayacucho, fue tamizado con malla gruesa, luego se colocaron en macetas de 9 kg de capacidad.

b. Trasplante en macetas

Las macetas fueron bolsas, en los que se procedió a trasplantar los plantines de tomate cherry de un mes y medio de crecimiento y desarrollo, habiendo seleccionado aquellos de mejor desarrollo.

c. Abonamiento

Se realizó un plan de abonamiento considerando los requerimientos nutricionales del cultivo de tomate cherry en 125 – 95 – 200 (N - P_2O_5 - K_2O kg ha⁻¹). Para ello, se realizó un abonamiento orgánico a base de humus de lombriz en una proporción equivalente a 5 t ha⁻¹. Considerando el análisis de caracterización del suelo (tabla 2.1), se aprecia que los niveles de fósforo y potasio como macronutrientes fueron suficientes y no se necesitó una enmienda, sin embargo, en la disponibilidad del nitrógeno se aprecia escasez, para ello, se aplicó urea como fuente de este macronutriente en una proporción equivalente a 115 kg N ha⁻¹ (10 g de urea/planta), aplicando el fertilizante en 2 etapas de 5 g/planta, una al trasplante definitivo y otra en la etapa de floración.

d. Instalación de postes y tutorado

Se instalaron postes en los extremos de cada repetición, que sirvieron de soporte al alambre colocado en línea horizontal en la parte superior, posteriormente se amarraron soguillas para el tutorado de tallos.

e. Riego

El experimento de cultivo de tomate cherry recibió riego manual, teniendo en cuenta el estado de humedad del suelo, tratando de mantener la humedad a capacidad de campo.

f. Control de malezas

Se realizó en forma manual, en periodos de tiempo durante el experimento.

g. Control fitosanitario

Mediante la evaluación constante, se fueron realizando acciones ante la presencia de enfermedades y plagas. A mediados de noviembre hubo incremento de la humedad por la presencia de las lluvias, para prevenir un ataque futuro del tizón temprano (*Alternaria solani*), se realizó un control preventivo aplicando el producto Mancozeb 80, con dos aplicaciones cada 10 días, en una dosis equivalente a 190 g para 100 litros de agua (9.5g/5l). Se encontró también la presencia de plagas, una de ellas fue la mosca minadora del tomate (*Liriomyza trifolii*) y el gusano soldado (*Spodoptera sp.*), para ello, se realizó el control mecánico.

h. Aplicación de biosílice, boro y zinc foliar

La aplicación de sílice, boro y zinc foliar se realizó con un atomizador a los 20 días después del trasplante en macetas, posteriormente se aplicó de manera periódica cada 15 días.

i. Cosecha

Se realizó cuando los frutos alcanzaron la madurez de consumo óptima para las respectivas evaluaciones.

2.10. Métodos y criterios de evaluación

2.10.1. Parámetros de rendimiento

a. Número de frutos cuajados (rendimiento total de frutos/planta)

Se contó el número de frutos cuajados por tratamiento.

b. Peso de los frutos

Se evaluó el peso de los frutos usando una balanza digital en gramos (g).

c. Diámetro ecuatorial y polar de los frutos

Se midió el diámetro ecuatorial y polar con un calibrador vernier digital en milímetros (mm).

2.10.2. Parámetros de calidad físico-químico

a. Firmeza del fruto

Se midió usando el durómetro modelo GY-3 en kg/cm².

b. Sólidos solubles

Se midió usando un refractómetro en grados brix (°Bx).

c. Acidez titulable (%)

Se realizó titulado 20 ml de solución de jugo de tomate cherry en NaOH al 0.1N, para determinar la acidez en % se aplicó la siguiente fórmula:

$$\%Acidez = \frac{G * N * meq}{M} * 100$$

G : El álcali utilizado (NaOH)

N : Normalidad del álcali utilizado (0.1N)

meq : Coeficiente del ácido predominante en el cultivo de tomate cherry (ácido cítrico 0.064)

M : Alícuota (1 ml de jugo de tomate cherry, 19 ml agua destilada y 3 gotas de fenolftaleína).

d. Pérdida de peso

La pérdida de peso, se calculó por gravimetría, pesando los frutos cada 2 días, durante 9 días, para luego realizar los cálculos y determinar la durabilidad del fruto, expresando en porcentaje la pérdida de peso.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Número de frutos cuajados

Tabla 3.1

Análisis de varianza del número de frutos cuajados en el cultivo de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P-Valor
Tratamientos	11	8686.08	789.64	20.19	<0.001 **
Biosílice	2	1135.17	567.58	14.51	<0.001 **
Boro	1	5112.25	5112.25	130.71	<0.001 **
Zinc	1	1863.36	1863.36	47.64	<0.001 **
Biosílice*Boro	2	98.17	49.08	1.25	0.303 ns
Biosílice*Zinc	2	109.06	54.53	1.39	0.267 ns
Boro*Zinc	1	191.36	191.36	4.89	0.037 *
Biosílice*Boro*Zinc	2	176.72	88.36	2.26	0.126 ns
Error	29	938.67	39.11		
Total	40	9624.76			

CV = 23.95%

La tabla 3.1 muestra el ANVA del número de frutos cuajados de tomate cherry; el cual, indica que hay una diferencia altamente significativa entre los tratamientos y las medias de los niveles individuales de biosílice, boro y zinc, así también, fue significativo la interacción de boro*zinc; sin embargo, en la interacción de biosílice*boro, biosílice*zinc y los tres foliares resultó no significativo. Se obtuvo un coeficiente de variabilidad de 23.95%, este valor expresa que los datos de la muestra se encuentran en un rango aceptable para este tipo de experimentos (Vargas, 2007).

Tabla 3.2

Prueba de Tukey para el número de frutos cuajados de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

Tratamientos	Media	Agrupación		
T12 (a3b2c2)	104.00	a		
T8 (a2b2c2)	90.67	a	b	
T4 (a1b2c2)	77.33		b	c
T11 (a3b2c1)	75.33		b	c
T7 (a2b2c1)	71.67		c	d
T3 (a1b2c1)	68.00		c	d
T10 (a3b1c2)	65.67		c	d
T6 (a2b1c2)	64.33		c	d
T9 (a3b1c1)	56.67		d	e
T2 (a1b1c2)	56.67		d	e
T5 (a2b1c1)	55.33		d	e
T1 (a1b1c1)	45.33			e

Tabla 3.3

Prueba de Tukey para el número de frutos cuajados de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice foliar

Biosílice	Media	Agrupación
T9 (a3b1c1)	56.67	a
T5 (a2b1c1)	55.33	a
T1 (a1b1c1)	45.33	b

Las tablas 3.2 y 3.3 muestran los resultados de la prueba de Tukey de los tratamientos totales y los tratamientos con niveles de biosílice respectivamente; se observa que, el tratamiento 12, cuyas plantas recibieron las dosis altas de los tres elementos en estudio (0.150% biosílice, 0.025% boro y 0.025% zinc) influyeron en la obtención del mayor número de frutos cuajados con una media de 104 frutos de tomate cherry, seguido de aquellos que recibieron la misma dosis de boro y zinc, pero menor concentración de silicio, siendo ambos superiores a los demás tratamientos; sin duda, los tomates, como los demás cultivos necesitan de los macro y micronutrientes, sobre todo en suelo, cuyo pH se encuentre dentro del rango de 6.5 a 7 debido a la disponibilidad de los mismos exceptuando al molibdeno.

Los micronutrientes estudiados tienen menor disponibilidad en el sustrato; por ello, los tratamientos que tuvieron boro y zinc foliar, obtuvieron mejores resultados, se trata de los esenciales requeridos en menor proporción en la planta (Marschner, 2012), cuyas funciones fisiológicas en el caso del boro son las de fortalecer las paredes celulares, el metabolismo del ARN, formar parte de membranas celulares, transporte de azúcares e intervenir en el desarrollo reproductivo. El zinc es constituyente de enzimas (anhidrasa carbónica) que interviene en el proceso fotosintético, ayuda a la formación de proteínas en las plantas (Shah et al., 2016 y Hossain et al., 2017), integridad estructural y funcional de las biomembranas (Sainju et al., 2003 y Trivedi y Dhumal, 2013) e influir en el metabolismo de otros elementos caso nitrógeno y azufre (Pandav et al., 2016). Ambos elementos en combinación, influyen diferencialmente en el rendimiento y la calidad de los cultivos, tal como pasa en la producción de frutos, así lo reporta Khatri et al. (2022), tras aplicar boro y zinc foliar al cultivo de tomate variedad manisha, encontraron un efecto significativo en el número de frutos, peso, diámetro y rendimiento, a una dosis de 30 ppm de zinc; así también, observaron una floración temprana con 30 ppm de borax. Por su parte Singh et al. (2017), evaluando el crecimiento, rendimiento y calidad del tomate cherry (*Lycopersicum esculentum*) variedad cerasiforme, concluyen que la aplicación foliar combinada de boro y zinc a una concentración de 2.0 g/l, influyó en el máximo número de frutos por racimo en 28.22, 30.33 y 32.80. Según Bibi et al. (2017), la interacción de boro y zinc, además de aumentar el número de frutos por planta de tomate, influyó también en la altura, número de ramas primarias, secundarias, y hojas por planta, resultados que son comparables a los obtenidos; no obstante, el hecho de acompañar con silicio al boro y zinc, permitió mejor comportamiento en la producción de mayor número de frutos cuajados respecto a los otros tratamientos, lo que implica que el silicio permite tener un efecto sinérgico con ambos micronutrientes y con ello potencia sus efectos, dado que el silicio es un elemento benéfico en las plantas que contribuye a mejorar la translocación de nutrientes, aumentar la eficiencia de éstos y del agua al reducir la transpiración, además de actuar como barrera mecánica y favorecer el crecimiento de las plantas, al respecto Zellner (2021), reporta que las concentraciones de silicio absorbidas por el tomate pueden ser tan altas como el de los macronutrientes. Según Bilal et al. (2022), la aplicación sinérgica de Si + B podría ser una estrategia efectiva para el crecimiento y productividad de palma datilera contra el estrés que genera el aluminio.

Sin duda el aplicar simultáneamente los tres elementos favoreció en el número de frutos del tomate cherry, resultados que son concordantes con los obtenidos por Masoud et al. (2019), quienes concluyen que aplicar tres veces durante la temporada de crecimiento dosis de 0.05% de boro, 0.10% de zinc y 0.20% silicio foliar, solos o una combinación de 0.025% de boro, 0.05% zinc y 0.10% silicio, es beneficioso para mejorar la productividad, el estado nutricional y la calidad del fruto de mandarina balady.

3.2. Peso del fruto

Tabla 3.4

Análisis de varianza del peso (g) de frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P-Valor
Tratamientos	11	544.36	49.49	384.14	<0.001 **
Biosílice	2	156.51	78.26	607.46	<0.001 **
Boro	1	266.23	266.23	2066.63	<0.001 **
Zinc	1	98.08	98.08	761.31	<0.001 **
Biosílice*Boro*Zinc	2	5.39	2.70	20.93	<0.001 **
Error	29	3.09	0.13		
Total	35	529.31			

CV = 24.37%

La tabla 3.4 muestra el ANVA del peso de frutos de tomate cherry; el cual, indica que hay una diferencia altamente significativa entre los tratamientos y los niveles individuales de biosílice, boro y zinc, así también, la interacción de los tres foliares. Con un coeficiente de variabilidad de 24.37%; por lo tanto, los datos de la muestra son representativos (Vargas, 2007).

Tabla 3.5

Prueba de Tukey para el peso (g) de frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

Tratamientos	Media	Agrupación		
T12 (a3b2c2)	24.18	a		
T8 (a2b2c2)	21.97	b		
T11 (a3b2c1)	19.31	c		
T7 (a2b2c1)	17.34	d		
T10 (a3b1c2)	17.09	d	e	
T4 (a1b2c2)	16.24		e	
T6 (a2b1c2)	14.72		f	
T3 (a1b2c1)	14.63		f	
T9 (a3b1c1)	13.73		f	g
T2 (a1b1c2)	13.06			g h
T5 (a2b1c1)	12.33			h
T1 (a1b1c1)	10.11			i

Tabla 3.6

Prueba de Tukey para el peso (g) de frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice foliar

Biosílice	Media	Agrupación	
T9 (a3b1c1)	13.73	a	
T5 (a2b1c1)	12.33	a	b
T1 (a1b1c1)	10.11		b

Tabla 3.7

Prueba de Tukey para el peso (g) de frutos de tomate cherry por efecto de la interacción de biosílice, boro y zinc foliar

Bio.*B*Zn	Media	Agrupación	
T12 (a3b2c2)	24.18	a	
T8 (a2b2c2)	21.97	a	b
T1 (a1b1c1)	10.11		b

Las tablas 3.5, 3.6 y 3.7 muestran los resultados de la prueba de Tukey de los tratamientos totales, la influencia de biosílice y la interacción de los tres foliares aplicados respectivamente, donde el tratamiento 12, cuyas plantas recibieron las dosis altas de

(0.150% biosílice, 0.025% boro y 0.025% zinc) aplicados en combinación foliar, influyeron en la obtención de un mayor peso de fruto con una media de 24.18 g, seguido de aquellos que recibieron las dosis mayores de boro y zinc, pero menor concentración de silicio (t8), resultados que son concordantes con lo obtenido por Singh et al. (2017), quienes aplicando una mezcla foliar de zinc (2.0 g/l) y boro (2.0 g/l), a plantas de tomate cherry (*Solanum lycopersicum*) variedad cerasiforme, incrementaron el peso de frutos en 14.87 g, por su parte Saadati et al. (2013), empleando una mezcla foliar de sulfato de zinc (0.25%) y ácido bórico (0.25%), promovieron significativamente en el peso de fruto, contenidos de azúcares y aceites solubles en los frutos del olivo (*Olea europea* L.), resultados que indican que la interacción del boro y zinc, influye positivamente en el peso de fruto de tomate cherry y otros cultivos.

3.3. Diámetro ecuatorial y diámetro polar

3.3.1. Diámetro ecuatorial

Tabla 3.8

Análisis de varianza del diámetro ecuatorial (mm) en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P-Valor
Tratamientos	11	175.26	15.93	14.87	<0.001 **
Biosílice	2	32.91	16.46	15.36	<0.001 **
Boro	1	94.90	94.90	88.57	<0.001 **
Zinc	1	42.19	42.19	39.37	<0.001 **
Biosílice*Boro*Zinc	2	0.14	0.07	0.06	0.938 ns
Error	29	25.72	1.07		
Total	35	195.85			

CV = 7.64%

La tabla 3.8 muestra el ANVA del diámetro ecuatorial de frutos de tomate cherry, obteniendo una diferencia altamente significativa entre los tratamientos y las medias individuales de los niveles de biosílice, boro y zinc; sin embargo, resultó no significativo en la interacción de los 3 foliares. Se obtuvo un coeficiente de variabilidad de 7.64%, el cual, indica una alta precisión en el manejo y desarrollo del experimento, por lo tanto, el conjunto de datos es representativo (Vargas, 2007).

Tabla 3.9

Prueba de Tukey para el diámetro ecuatorial (mm) en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

Tratamientos	Media	Agrupación					
T12 (a3b2c2)	35.51	a					
T8 (a2b2c2)	34.32	a	b				
T4 (a1b2c2)	32.93	a	b	c			
T11 (a3b2c1)	32.54	a	b	c	d		
T10 (a3b1c2)	32.09		b	c	d	e	
T7 (a2b2c1)	31.56		b	c	d	e	f
T3 (a1b2c1)	31.00			c	d	e	f
T6 (a2b1c2)	31.00			c	d	e	f
T9 (a3b1c1)	29.55				d	e	f g
T5 (a2b1c1)	29.24					e	f g
T2 (a1b1c2)	28.75					f	g
T1 (a1b1c1)	27.72						g

Tabla 3.10

Prueba de Tukey para el diámetro ecuatorial (mm) en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice foliar

Biosílice	Media	Agrupación	
T9 (a3b1c1)	29.55	a	
T5 (a2b1c1)	29.24	a	b
T1 (a1b1c1)	27.72		b

3.3.2. Diámetro polar

Tabla 3.11

Análisis de varianza del diámetro polar (mm) en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P-Valor
Tratamientos	11	205.98	18.73	12.14	<0.001 **
Biosílice	2	44.87	22.44	14.55	<0.001 **
Boro	1	94.09	94.09	61.00	<0.001 **
Zinc	1	58.88	58.88	38.17	<0.001 **
Biosílice*Boro*Zinc	2	0.32	0.16	0.10	0.903 ns
Error	29	37.02	1.54		
Total	35	235.18			

CV = 9.11%

La tabla 3.11 muestra el ANVA del diámetro polar de frutos de tomate cherry; el cual, indica una diferencia altamente significativa entre los tratamientos y las medias individuales de los niveles de biosílice, boro y zinc; sin embargo, no significativo en la interacción de los 3 foliares. El coeficiente de variabilidad es 9.11%, este valor refiere que los datos de la muestra tienen alta precisión; por ende, el conjunto de datos es representativo (Vargas, 2007).

Tabla 3.12

Prueba de Tukey para el diámetro polar (mm) en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

Tratamientos	Media	Agrupación		
T12 (a3b2c2)	33.44	a		
T8 (a2b2c2)	33.03	a		
T4 (a1b2c2)	30.17	a	b	
T11 (a3b2c1)	29.86	a	b	c
T10 (a3b1c2)	29.23		b	c
T7 (a2b2c1)	29.08		b	c
T6 (a2b1c2)	28.77		b	c d
T3 (a1b2c1)	27.59		b	c d
T9 (a3b1c1)	27.16		b	c d
T5 (a2b1c1)	26.95		b	c d
T2 (a1b1c2)	26.51		c	d
T1 (a1b1c1)	25.16			d

Tabla 3.13

Prueba de Tukey para el diámetro polar (mm) en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice foliar

Biosílice	Media	Agrupación
T9 (a3b1c1)	27.16	a
T5 (a2b1c1)	26.95	a
T1 (a1b1c1)	25.16	b

Las tablas 3.9 y 3.10 muestran los resultados de la prueba de Tukey en frutos de tomate cherry, del diámetro ecuatorial de los 12 tratamientos y la influencia individual de niveles de biosílice foliar respectivamente; así también, las tablas 3.12 y 3.13 muestran

los resultados de la prueba de Tukey del diámetro polar del total de tratamientos y la influencia del biosílice foliar respectivamente, siendo resaltante en ambos casos el tratamiento 12, el cual, tiene las dosis altas de los elementos foliares (0.150% biosílice, 0.025% boro y 0.025% zinc); los cuales, incrementaron el diámetro ecuatorial y polar de frutos de tomate cherry con una media de 35.51 y 33.44 mm respectivamente, seguido de aquellos que recibieron la misma dosis de boro y zinc, pero menor concentración de silicio, siendo ambos superiores a los demás tratamientos. En el caso del boro y zinc, ambos son requeridos para mejorar la calidad y alto rendimiento de los cultivos (Bibi et al., 2017). En su investigación Singh et al. (2017), concluyen que una aplicación foliar combinada a base de boro y zinc influye de manera positiva en el rendimiento y calidad de fruto de tomates cherry, particularmente en el diámetro máximo del fruto en 5.53 cm; por su parte, El-Gioushy (2016) enfatiza la importancia del uso de fuentes de silicio en el crecimiento, desarrollo y aspectos fructíferos de diferentes cultivos frutales, concluyendo que el uso de silicato de potasio al 0.1% mejora el rendimiento y la calidad en frutos de naranjo valencia. Concordando que, la aplicación de los tres elementos, favorecen el aumento de tamaño, específicamente en el diámetro ecuatorial y polar de frutos de tomate cherry.

3.4. Dureza del fruto

Tabla 3.14

Análisis de varianza de la dureza (kg/cm^2) en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P-Valor
Tratamientos	11	2.81	0.26	260.13	<0.001 **
Biosílice	2	1.90	0.95	968.91	<0.001 **
Boro	1	0.08	0.08	77.12	<0.001 **
Zinc	1	0.50	0.50	511.69	<0.001 **
Biosílice*Boro*Zinc	2	0.06	0.03	30.24	<0.001 **
Error	29	0.02	0.00		
Total	35	2.56			

CV = 20.53%

La tabla 3.14 muestra el ANVA de la dureza de frutos de tomate cherry; el cual, muestra una diferencia altamente significativa entre los tratamientos y los niveles

individuales de biosílice, boro y zinc; así también, en la interacción de los tres foliares. Se obtuvo un coeficiente de variabilidad de 20.53%, este valor indica que los datos de la muestra se encuentran dentro del rango aceptable para este tipo de investigaciones; por lo tanto, el conjunto de datos es representativo (Vargas, 2007).

Tabla 3.15

Prueba de Tukey para la dureza (kg/cm²) en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

Tratamientos	Media	Agrupación	
T12 (a3b2c2)	1.95	a	
T10 (a3b1c2)	1.72	b	
T8 (a2b2c2)	1.68	b	
T9 (a3b1c1)	1.58	c	
T11 (a3b2c1)	1.43	d	
T6 (a2b1c2)	1.32	e	
T5 (a2b1c1)	1.28	e	f
T4 (a1b2c2)	1.23	e	f
T7 (a2b2c1)	1.22	f	
T2 (a1b1c2)	1.12		g
T3 (a1b2c1)	1.07		g h
T1 (a1b1c1)	1.02		h

Tabla 3.16

Prueba de Tukey para la dureza (kg/cm²) en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice foliar

Biosílice	Media	Agrupación	
T9 (a3b1c1)	1.58	a	
T5 (a2b1c1)	1.28	a	b
T1 (a1b1c1)	1.02		b

Tabla 3.17

Prueba de Tukey para la dureza (kg/cm²) en frutos de tomate cherry por efecto de la interacción de biosílice, boro y zinc foliar

Bio.*B*Zn	Media	Agrupación	
T12 (a3b2c2)	1.95	a	
T8 (a2b2c2)	1.68	a	b
T1 (a1b1c1)	1.02		b

En las tablas 3.15, 3.16 y 3.17 se observan los resultados de la prueba de Tukey de los tratamientos totales, la influencia individual de los niveles de biosílice y la interacción de las 3 soluciones foliares respectivamente, cuyas plantas recibieron una mezcla de las dosis altas de los tres elementos 0.150% biosílice, 0.025% boro y 0.025% zinc foliar (tratamiento 12), obtuvo el mejor resultado en la dureza de frutos de tomate cherry con una media de 1.95 kg/cm², seguido por el tratamiento 10 (0.150% biosílice y 0.025% zinc) y 8 (0.100% biosílice, 0.025% boro y 0.025% zinc) que tienen medias similares, se puede observar que la interacción de nutrientes influyó positivamente en el parámetro evaluado, tal como indican El Kholy et al. (2018), quienes al aplicar sílice foliar en plantas de níspero japonés (*Eriobotrya japonica*), pudieron prolongar la vida útil de la fruta, específicamente en la rigidez estructural, firmeza y dureza del fruto. En relación al efecto del boro Bibi et al. (2017), indican que aplicado como foliar, desempeña un papel importante; ya que, este nutriente está involucrado en la síntesis de la pared celular, la respiración y la integridad de la membrana celular del fruto. Del mismo modo, la participación del zinc en el cultivo lo demuestra Sainz (2019), quien luego de emplear en el follaje de tomate cherry fuentes de zinc como hidroxipatita dopada con zinc, lignosulfonato de zinc y sulfato de zinc, incrementó la dureza de los frutos.

3.5. Sólidos solubles

Tabla 3.18

Análisis de varianza de los sólidos solubles en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P-Valor
Tratamientos	11	208.48	18.95	775.32	<0.001 **
Biosílice	2	0.31	0.15	6.32	0.006 **
Boro	1	205.44	205.44	8404.55	<0.001 **
Zinc	1	1.96	1.96	80.18	<0.001 **
Biosílice*Boro*Zinc	2	0.28	0.14	5.77	0.009 **
Error	29	0.59	0.02		
Total	35	208.58			

CV = 32.49%

La tabla 3.18 muestra el ANVA de los sólidos solubles de frutos de tomate cherry, que indica una diferencia altamente significativa entre los tratamientos, los niveles

individuales de biosílice, boro y zinc, y la interacción de las tres soluciones foliares; con un coeficiente de variabilidad de 32.49%, valor ligeramente alejado al rango aceptable para este tipo de experimentos ($CV \geq 30\%$) (Vargas, 2007).

Tabla 3.19

Prueba de Tukey para los sólidos solubles (°Bx) en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

Tratamientos	Media	Agrupación	
T12 (a3b2c2)	10.53	a	
T8 (a2b2c2)	10.07	b	
T4 (a1b2c2)	10.07	b	
T11 (a3b2c1)	9.73	b	c
T7 (a2b2c1)	9.53		c
T3 (a1b2c1)	9.53		c
T2 (a1b1c2)	5.40		d
T6 (a2b1c2)	5.27		d
T10 (a3b1c2)	5.20		d
T9 (a3b1c1)	5.13		d e
T5 (a2b1c1)	5.07		d e
T1 (a1b1c1)	4.73		e

Tabla 3.20

Prueba de Tukey para los sólidos solubles (°Bx) en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice foliar

Biosílice	Media	Agrupación
T9 (a3b1c1)	5.13	a
T5 (a2b1c1)	5.07	a
T1 (a1b1c1)	4.73	b

Tabla 3.21

Prueba de Tukey para los sólidos solubles (°Bx) en frutos de tomate cherry por efecto de la interacción de biosílice, boro y zinc foliar

Bio.*B*Zn	Media	Agrupación	
T12 (a3b2c2)	10.53	a	
T8 (a2b2c2)	10.07	a	b
T1 (a1b1c1)	4.73		b

Las tablas 3.19, 3.20 y 3.21 indican la prueba de Tukey del total de tratamientos, la influencia del biosílice y la interacción de las 3 soluciones foliares respectivamente, donde el tratamiento 12, el cual, contiene las dosis foliares máximas (0.150% biosílice, 0.025% boro y 0.025% zinc), mostró mayor resultado en el contenido de sólidos solubles en frutos de tomate cherry con una media de 10.53 °Bx, seguido del tratamiento 8; el cual, recibió la misma dosis de boro y zinc, pero menor concentración de silicio, siendo ambos tratamientos superiores a los demás, resultados que concuerdan con lo reportado por Peña y Galecio (2019) quienes indican, que la cantidad de sólidos solubles en frutos de maracuyá (*Passiflora edulis*) fueron mayores con la aplicación edáfica de sílice (100 kg ha⁻¹). Por su parte Hernández et al. (2022), refieren que el silicio foliar en dosis de 0, 15 y 20 ppm en el cultivo de fresa variedad camino real, permitieron 6.79, 6.89 y 7.06 °Bx respectivamente, es decir, las dosis crecientes de silicio incrementaron la cantidad de sólidos solubles en frutos. Así también, Singh et al. (2017) reportaron que, aplicando mayores dosis de boro (2.0 g/l) y zinc (2.0 g/l) al follaje de tomate cherry permitió obtener 13.10 °Bx, que resulta mayor a lo obtenido en el presente trabajo, esto podría indicar que el cultivo podría resistir dosis mayores de ambos elementos.

3.6. Acidez titulable

Tabla 3.22

Análisis de varianza de la acidez titulable en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P-Valor
Tratamientos	11	1.24	0.11	14.04	<0.001 **
Biosílice	2	0.14	0.07	8.50	0.002 **
Boro	1	0.83	0.83	103.73	<0.001 **
Zinc	1	0.16	0.16	19.59	<0.001 **
Biosílice*Boro*Zinc	2	0.04	0.02	2.21	0.132 ns
Error	29	0.19	0.01		
Total	35	1.36			

CV = 21.78%

La tabla 3.22 muestra el ANVA de la acidez titulable de frutos de tomate cherry, el cual, los tratamientos y las medias individuales de los niveles de biosílice, boro y zinc foliar, muestran una diferencia altamente significativa; sin embargo, la interacción de los

3 elementos resultó no significativo. Se obtuvo un coeficiente de variabilidad de 21.78%, por lo tanto, los datos de la muestra son representativos (Vargas, 2007).

Tabla 3.23

Prueba de Tukey para la acidez titulable (%) en frutos cuajados de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

Tratamientos	Media	Agrupación		
T12 (a3b2c2)	1.29	a		
T8 (a2b2c2)	1.17	a	b	
T4 (a1b2c2)	1.04	a	b	c
T11 (a3b2c1)	1.02		b	c
T3 (a1b2c1)	1.01		b	c
T7 (a2b2c1)	0.93		b	c d
T6 (a2b1c2)	0.89		c	d
T10 (a3b1c2)	0.83		c	d e
T9 (a3b1c1)	0.81		c	d e
T5 (a2b1c1)	0.78		c	d e
T2 (a1b1c2)	0.71			d e
T1 (a1b1c1)	0.61			e

Tabla 3.24

Prueba de Tukey para la acidez titulable (%) en frutos cuajados de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice foliar

Biosílice	Media	Agrupación
T9 (a3b1c1)	0.81	a
T5 (a2b1c1)	0.78	a
T1 (a1b1c1)	0.61	b

Las tablas 3.23 y 3.24 muestran los resultados de la prueba de Tukey del total de tratamientos evaluados y de la influencia de los 3 niveles de biosílice foliar respectivamente, donde el tratamiento 12 (0.150% biosílice, 0.025% boro y 0.025% zinc), fue superior en el parámetro de acidez titulable en frutos de tomate cherry con una media de 1.29%, seguido de aquellos que recibieron la misma dosis de boro y zinc, pero menor concentración de silicio, siendo ambos superiores a los demás tratamientos. Resultados que están relacionados con lo obtenido por Zahirul et al. (2018), quienes concluyen que

los frutos de tomate cherry tratados con una mezcla de sílice (20 mM) y boro (4.85 mM), obtuvieron mayor firmeza, contenido de vitamina C, acidez titulable (0.75%) y sólidos menos solubles. Del mismo modo, en el reporte de Singh et al. (2017) refieren que la aplicación foliar combinada de boro (2.0 g/l) y zinc a (2.0 g/l), aumentó el contenido de vitamina C (14.10 mg/100 g) en frutos de tomate cherry.

3.7. Pérdida de peso

Tabla 3.25

Análisis de varianza de la pérdida de peso en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P-Valor
Tratamientos	11	111.54	10.14	14.25	<0.001 **
Biosílice	2	97.03	48.52	68.19	<0.001 **
Boro	1	1.52	1.52	2.13	0.157 ns
Zinc	1	7.59	7.59	10.66	0.003 **
Biosílice*Boro*Zinc	2	1.08	0.54	0.76	0.478 ns
Error	29	17.08	0.71		
Total	35	124.30			

CV = 24.09%

La tabla 3.25 muestra el ANVA de la pérdida de peso de frutos de tomate cherry; el cual, muestra una diferencia altamente significativa entre los tratamientos; así también, en las medias de los niveles individuales de biosílice y zinc; sin embargo, en el boro y la interacción de los tres foliares resultaron no significativos, con un coeficiente de variabilidad de 24.09%, Vargas (2007) indica que este valor expresa que los datos de la muestra, están dentro del rango aceptado para este tipo de experimentos; por lo tanto, el conjunto de datos es representativo.

Tabla 3.26

Prueba de Tukey para la pérdida de peso (%) en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

Tratamientos	Media	Agrupación			
T1 (a1b1c1)	11.12	a			
T3 (a1b2c1)	10.56	a			
T2 (a1b1c2)	9.99	a	b		
T4 (a1b2c2)	8.83	a	b	c	
T5 (a2b1c1)	7.96		b	c	d
T6 (a2b1c2)	7.64		b	c	d e
T7 (a2b2c1)	7.56		b	c	d e
T8 (a2b2c2)	7.27			c	d e
T11 (a3b2c1)	7.08			c	d e
T9 (a3b1c1)	6.23				d e
T10 (a3b1c2)	6.06				d e
T12 (a3b2c2)	5.24				e

Tabla 3.27

Prueba de Tukey para la pérdida de peso (%) en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice foliar

Biosílice	Media	Agrupación	
T1 (a1b1c1)	11.12	a	
T5 (a2b1c1)	7.96	a	b
T9 (a3b1c1)	6.23		b

Las tablas 3.26 y 3.27 muestran los resultados de la prueba de Tukey del total de tratamientos y la influencia del biosílice foliar respectivamente, siendo representativo el conjunto de datos de las plantas que recibieron 0.150% biosílice, 0.025% boro y 0.025% zinc (combinación foliar en sus dosis altas), disminuyeron la pérdida de peso de frutos de tomate cherry; el cual, alcanzó a una media de 5.24% (T12) que ocupa el último lugar, a diferencia del T1 (testigo), T2, T3 y T4, quienes no recibieron biosílice; cuyo efecto, es producto de la formación de una cutícula más consistente, que se traduce en una disminución de la intensidad respiratoria de la fruta y así evitar la pérdida de peso, tal como lo reportan Zhang et al. (2017), quienes empleando fertilizante de silicato aumentaron el rendimiento de uva (*Vitis vinifera* L.) y extendieron significativamente la

vida útil de la fruta. Otro efecto lo mencionan Saleem y Joody (2019); el cual indican, que el silicio no solo reduce la pérdida de agua de hojas y frutos de manzano, también los trastornos fisiológicos como el amargor y el agrietamiento de ellos. El Kholy et al. (2018) reportan que el aplicar sílice foliar a frutos de níspero japonés (*Eriobotrya japonica*) prolongó la vida útil de la fruta, resaltando así el papel importante del silicio en la rigidez estructural de las paredes celulares y la conservación de frutos a través del tiempo. Por otro lado, en relación al efecto del zinc Sainz (2019), indica que la aplicación de diferentes fuentes de zinc foliar en plantas de tomate cherry (*Lycopersicon esculentum* Mill.) otorgó mayor dureza y vida útil de los frutos. Del mismo modo el boro, por las funciones que cumple en las plantas, interactúa con los otros nutrientes para favorecer en este caso la perdurabilidad del fruto en anaquel, pues participa en la integridad estructural y funcional de la pared celular y las membranas, el flujo de iones H^+ , K^+ , PO_4^{-3} , Rb^+ y Ca^{+2} a través de las membranas, entre otras funciones (Abou et al., 2021). Sin embargo, debido a que la deficiencia o toxicidad del boro pueden ser perjudiciales en el rendimiento de las plantas, es muy importante conocer las dosis adecuadas o próximas a ellas para cada cultivo.

CONCLUSIONES

1. La aplicación foliar de dosis altas de boro (0.025% B), zinc (0.025% Zn) y la dosis alta de biosílice (0.150% Si) en el rendimiento de frutos de tomate cherry, favorecen al mayor número de frutos por planta (104), peso (24.14 g), diámetro ecuatorial (35.51 mm) y diámetro polar (33.45 mm), seguido de aquellos que recibieron alta dosis de B, Zn y menor concentración de biosílice (0.025% B, 0.025% Zn y 0.10% Si).
2. La calidad físico-química de frutos de tomate cherry, como la firmeza (1.95 kg/cm²), sólidos solubles (10.53 °Bx), acidez titulable (1.30%) y pérdida de peso (5.24%), fueron mejores, con la aplicación foliar de las dosis altas empleadas 0.15% de biosílice, 0.025% de boro y 0.025% de zinc; seguido de aquellos que recibieron 0.025% B, 0.025% Zn y 0.10% Si.

RECOMENDACIONES

1. Continuar con la investigación a nivel de campo abierto en este cultivo u otros, usando de las dosis altas de biosílice, boro y zinc, a fin de corroborar o encontrar nuevos resultados.
2. Continuar las investigaciones respecto al uso de micronutrientes, ya que, la aplicación foliar de ellos puede traer beneficios de manejo y conservación de productos vegetales antes, durante y después de la cosecha.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdalla, M. M., y El-Khoshiban, N. H. (2007). The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticum aestivum* cultivars. *Journal of Applied Sciences*, 2062-2074.
- Abou, S., Abou, E., Yassen, A., y S., H. (2021). Boron, Structure, Functions and Its Interaction with Nutrients in Plant Physiology. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 117-179.
- Acosta, A., Ramírez, F., y Albertazzi, H. (2007). El papel del silicio en el desempeño desempeño de palmas con flecha seca en una plantación comercial de palma aceitera en Quepos, Costa Rica. *Palmas*, 389-393.
- Aguayo, S., Rasche, J., Britos, C., Karajallo, J., y González, A. (2015). Fertilización foliar con boro en el cultivo de la soja. *Investigación Agraria*, 129-137.
- Alfaro, A. (2007). La tierra moler o “diatomita” como sistema de remoción de sustancias químicas en el laboratorio. *Ciencia y Tecnología*, 83-96.
- Alloway, B. (2008). *Zinc in Soils and Crop Nutrition*. Belgium and Paris: Brussels.
- APG VI. (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 1-20.
- Balakhnina, T., y Borkowska, A. (2013). Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses: review. *Versita*, 225-232.
- Bibi, H., Rab, A., y Hussain, A. (2017). Effect of Calcium, Boron and Zinc Foliar Application on Growth and Fruit Production of Tomato. *Sarhad Journal of Agriculture*, 19-30. doi:<http://dx.doi.org/10.17582/journal.sja/2018/34.1.19.30>
- Bilal, S., Khan, A., Imran, M., Khan, A., Asaf, S., Al-Rawahi, A., Al-Azri, M., Al-Harrasi, A. y Lee, I. (2022). Silicon- and Boron-Induced Physio-Biochemical Alteration and Organic Acid Regulation Mitigates Aluminum Phytotoxicity in Date Palm Seedlings. *Antioxidants*, 1-22.
- Canahuire, R., Garcia, S., Delgado, P., Miranda, L., y Villegas, J. (2021). Determinación de la adsorción de oro metálico por medio de diatomeas sinterizadas en el proceso Merrill Crowe. *Revista Boliviana de Química*, 36-45.

- Christensen, P. (2006). Foliar fertilization in vine mineral nutrient management programs. En P. Christensen, *Viticulture and Enology* (págs. 23: 1-3). Davis: University of California Davis.
- Dale, G. B., y Krystyna, M. (1998). Boron in plant structure and function. *Plant Physiol*, 481-500. doi:<https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.49.1.481>
- Darshani, W., y Dilshan, D. (2015). Effect of silicon and potassium on tomato anthracnose and on the postharvest quality of tomato fruit (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*, 273-280. doi:<http://dx.doi.org/10.4038/jnsfsr.v43i3.7959>
- DGDM. (2017). Perfil de mercado de la diatomita. *Subsecretaría de economía EUM*, 1-36.
- Ekinci, M., Esringü, A., Dursun, A., Yildirim, E., Turan, M., Karaman, M. R., y Arjumend, T. (2015). Growth, yield, and calcium and boron uptake of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.) as affected by calcium and boron humate application in greenhouse conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 613-632. doi:10.3906/tar-1406-59
- El Kholy, M. F., Mahmoud, A. A., y Mehaisen, S. (2018). Impact of Potassium Silicate Sprays on Fruiting, Fruit Quality and Fruit Storability of Loquat trees. *Middle East Journal of Agriculture*, 139-153.
- El-Gioushy, S. (2016). Productivity, Fruit Quality and Nutritional Status of Washington Navel Orange Trees as Influenced by Foliar Application with Salicylic Acid and Potassium Silicate Combinations. *Journal of Horticultural Science y Ornamental Plants*, 98-107.
- Fauteux, F., Chain, F., Belzile, F., Menzies, J., y Bélanger, R. (2006). The protective role of silicon in the Arabidopsis-powdery mildew pathosystem. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 17554-17559.
- Feitosa, A., Araújo, C., y Ferreira, F. (2011). Distribution of zinc in maize plants as a function of soil and foliar Zn supply. *Journal of Agricultural Science and Soil Science*, 1-5.
- Gamboa, M. (27 de Setiembre de 2012). *Productos a partir de Tomate, características y posibilidades de innovación*. Obtenido de Doc Player: <https://docplayer.es/24565183-Productos-a-partir-de-tomate-caracteristicas-y-posibilidades-de-innovacion.html>

- Hanson, E. (2001). Foliar boron sprays do not affect highbush blueberry productivity. *Small fruits review*, 35-41.
- Havlin, J., Tisdale, S., Beaton, J., y Nelson, W. (2005). *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management, 7th Edition*. Nort Carolina: Tela.
- Hernández, C. (2011). Producción de tomate en diferentes granulometrías de “tezontle”. Tesis de Maestría. Colegio de Postgrado “Campus Montecillo”, Mexico.
- Hernández, R., Juárez, A., Pérez, A., Lozano, C., Zermeño, A., y González, J. (2022). Influencia de fertilizantes orgánicos y del silicio sobre la fisiología, el rendimiento y la calidad nutracéutica del cultivo de fresa. *Nova Scientia*, 1-16.
- Herrera, M., González, A., Rexach, J., Camacho, J., Maldonado, J., y Navarro, M. (2010). Role of boron in vascular plants and response mechanisms to boron stress. *Plant Stress*, 115-122.
- Hosain, F. (2020). Effect of Organic Fertilizer and Irrigation Intervals on the Yield and Quality of Cherry Tomato (*Solanum lycopersicon* var. cerasiforme) . *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 327-334.
- Hossain, M., Khatun, K., Haq, E., Ahmed, M., y Shefat-Al-Maruf, F. (2017). Macro and Micro Nutritional Effect on Seed Yield of Onion. *Advances in Research*, 1-9.
- Imtiaz, M., Khan, P., Memon, M., Aslam, M., y Rashid, A. (2010). The role of micronutrients in crop production and human health . *Pakistan Journal of Botany*, 2565-2578.
- INTAGRI. (22 de Julio de 2015). *Intagri*. Obtenido de Funciones Críticas del Boro en los Cultivos: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/funciones-criticas-del-boro-en-los-cultivos>
- INTAGRI. (2 de Junio de 2017). *Intagri*. Obtenido de La Importancia del Zinc en las Plantas y su Dinámica en el Suelo: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/la-importancia-del-zinc-en-las-plantas-y-su-dinamica-en-el-suelo>
- Khan, S., y Kuruwanshi, V. (2015). Foliar nutrition of plants. *Rashtriya Krishi*, 54-55.
- Khatrri, D., Bhattarai, K., Yadav, P., Thapa, P., y Wagle, N. (2022). Effect of foliar spray of zinc and boron on performance of tomato (*Solanum lycopersicum*) cv. manisha under net house condition. *RJOAS*, 252-261.
- Kusumiyati, K., Ahmad, F., Rabnawaz, M., Soleh, M., y Sundari, R. (2023). Productivity of Cherry Tomato Cultivars as Influenced by Watering Capacities and Microclimate Control Designs. *The Open Agriculture Journal*, 1-12.
- Laos, R., y Benner, S. (2019). El boro y el mundo ARN. *PUCP*, 5-7.

- Liang, Y., Nikolic, M., Bélanger, R., Gong, H., y Song, A. (2015). *Silicon in Agriculture*. London: Springer.
- López, L. (2016). *Manual técnico del cultivo de tomate (Solanum lycopersicum)*. San José: INTA.
- Mallick, M. F., y Muthukrishnan, C. R. (1980). Effect of micro nutrients on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.), II. Effect on flowering, fruit-set and yield. *South Indian Hort*, 14-20.
- Marschner, P. (2012). *Mineral nutrition of higher plants*. Amsterdam: ELSEVIER.
- Masoud, A., El-Zahraa, F., Gouda, M., y Khodair, O. (2019). Effect of Foliar Application of Zinc, Boron and Silicon on Growth and Fruiting of Balady Mandarin Trees . *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 206-218.
- Mayta, R., y Yajo, M. (2022). Activación térmica de residuos de concreto para obtener un material adsorbente y su utilización en la remoción de boro contenido en agua. (Tesis). UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA, Arequipa.
- Medina, M. (2009). Evaluación de tres niveles de Zinc (Zn) como complemento. (Tesis). Escuela Superior Politecnica del Litoral, Guayaquil.
- Nielsen, F. (2012). History of Zinc in Agriculture. *Grand Forks*, 783-789.
- Pandav, A., Nalla, M., Aslam, T., Rana, M., y Bommesh, J. (2016). Effect of Foliar Application of Micronutrients on Growth and Yield Parameters in Eggplant cv HLB 12. *Environment y Ecology* , 1745-1748.
- Paredes, C., y Medina, M. (2022). Diseño de un kit colorimétrico para determinar boro en aguas de regadío. (Tesis). Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa.
- Parr, A., y Loughman, B. (1983). Boron and membrane function in plants. *Academic Press, New York*, 87-107. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-589580-4.500122>
- Passam, H. C., Karapanos, I. C., Bebeli, P. J., y Savvas, D. (2007). A review of recent research on tomato nutrition, breeding and post-harvest technology with reference to fruit quality. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 1-21.
- Peña, R., y Galecio, M. (2019). Efecto del silicio orgánico en el rendimiento de maracuyá (*Passiflora edulis*), cultivada en Somate-Sullana. *ULCB*, 25-37.
- Peralta, I., Spooner, D., y Knapp, S. (2008). Taxonomy of wild tomatoes and their relatives (*Solanum* sect. *Lycopersicoides*, sect. *Juglandifolia*, sect. *Lycopersicon*; Solanaceae). *Systematic Botany Monographs*, 1-186.

- Piedra, G. (2019). Zinc, un elemento químico muy versátil. *PUCP*, 1-2.
- Ramírez, J. (2010). Diatomitas en el Perú, características y aplicaciones. *Ministerio de energía y minas*, 1-35.
- Raya Pérez, J. C., y Aguirre Mancilla, C. L. (2012). El papel del silicio en los organismos y ecosistemas. *Conciencia Tecnológica*, 42-46.
- Razifard, H., Ramos, A., Della, A., Bodary, C., Goetz, E., Manser, E., Li, X., Zhang, L., Visa, S., Tieman, D., Van der Knaap, E. y Caicedo, A. (2020). Genomic Evidence for Complex Domestication History of the Cultivated Tomato in Latin America. *Molecular Biology and Evolution*, 1118-1132.
- Rubio, C., González, D., Martín, R., Revert, C., Rodríguez, I., y Hardisson, A. (2007). El zinc: oligoelemento esencial. *Nutrición hospitalaria*, 101-107.
- Saadati, S., Moallemi, N., Mortazavi, S., y Seyyednejad, S. (2013). Effects of zinc and boron foliar application on soluble carbohydrate and oil contents of three olive cultivars during fruit ripening. *Elsevier*, 30-34.
- Sainju, U., Dris, R., y Singh, B. (2003). Mineral nutrition of tomato. *Agricultural Research Station*, 176-183.
- Sainz, L. (2019). Efecto comparativo de diferentes formas de Zn, en la biofortificación de tomate cherry (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en condiciones de invernadero. *Universidad de Almería*, págs. 2-14.
- Saldarriaga, D. (2009). Fabricación de ladrillos aislantes y revestimientos cerámicos con diatomita de San Juan, Argentina. *Universidad de Piura*, 1-73.
- Saleem, M., Khanif, Y., Fauziah, I., Samsuri, A., y Hafeez, B. (2011). Importance of Boron for Agriculture Productivity: A Review. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*, 293-300.
- Saleem, Q., y Joody, A. (2019). EFFECT OF SILICON, CALCIUM AND BORON ON APPLE LEAF MINERALS CONTENT. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences* , 296-301.
- Shah, S., Ullah, S., Khan, N., Sajid, M., Rab, A., Amin, N., Iqbal, A., Naeem, A., Iqbal, M., Haq, S., Rahman, S., Shah, F. y Rawan, S. (2016). Effect of zinc as a foliar spray on growth and flower production of Marigold (*Tagetes erecta* L.). *Bolan Society for Pure and Applied Biology*, 738-743.
- Shetty, R., Fretté, X., Jensen, B., Shetty, N., Jensen, J., Jørgensen, H., Newman, M. y Christensen, L. (2011). Silicon-Induced Changes in Antifungal Phenolic Acids, Flavonoids, and Key Phenylpropanoid Pathway Genes during the Interaction

- between Miniature Roses and the Biotrophic Pathogen *Podosphaera pannosa*. *Plant Physiol*, 2194–2205.
- Singh, B., Kasera, S., Mishra, S., Roy, S., Rana, S., y Singh, D. (2017). Growth, yield and quality of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* var. cerasiforme) as influenced by foliar application of Zinc and Boron. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 911-914.
- Swietlik, D. (2002). Zinc Nutrition of Fruit Crops. *HortTechnology*, 45-50.
- Tariq, M., Sharif, M., Shah, Z., y Khan, R. (2007). Effect of foliar application of micronutrients on the yield and quality of sweet orange (*Citrus Sinensis* L.). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 1823-1828. doi:10.3923/pjbs.2007.1823.1828.
- Toresano, F., Camacho, F., y Valverde, A. (2012). Efect of the application of silicon hydroxide on yield and quality of cherry tomato. *Journal of Plant Nutrition*, 567-590. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/237844734>
- Trinidad, A., y Aguilar, D. (1999). Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. *Terra Latinoamericana*, 247-255.
- Trivedi, A., y Dhumal, K. (2013). Effect of soil and foliar applications of zinc and iron on the yield and quality of onion (*Allium cepa* L.). *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 41-48.
- Vargas, C., Muñoz, K., García, E., Gómez, A., Márquez, D., Coronado, S., y González, F. (2018). *Generalidades del zinc y su importancia en la gestación*. Barranquilla: Universidad del Atlántico.
- Vargas, V. (2007). *Estadística descriptiva para ingeniería ambiental*. Cali: Feriva.
- Verdeja, L., García, P., Vasquez, E., Barranzuela, J., y Pastor, R. (1992). Contribución al estudio de las diatomitas del Perú . *Sociedad española de cerámica y vidrio*, 427-433.
- Yamauchi, T., Hara, T., y Sonoda, Y. (1986). Distribution of Calcium and Boron in the Pectin Fraction of Tomato Leaf Cell Wall. *Plant and Cell Physiology*, 729–732. doi:<https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a077155>
- Zahirul, M., Akter, M. C., y KANG, H. (2018). The effect of silicon and boron foliar application on the quality and shelf life of cherry tomatoes. *Zemdirbyste-Agriculture*, 159-164.

- Zekri, M., y Obreza, T. (2003). Micronutrient deficiencies in citrus: iron, zinc, and manganese. *Institute of Food and agricultural Services University of Florida*, 1-3.
- Zellner, W. (2021). Drastic Differences in Silicon Concentrations between Roots and Leaves of 10 Different *Solanum lycopersicum* L. Varieties. *HORTSCIENCE*, 1-9.
- Zhang, M., Liang, Y., y Chu, G. (2017). Applying silicate fertilizer increases both yield and quality of table grape (*Vitis vinifera* L.) grown on calcareous grey desert soil. *Scientia Horticulturae*, 757-763.
- Zhang, Y., Hu, C., Tan, Q., Nie, Z., Zheng, C., Gui, H., Sun, X. y Zhao, X. (2015). Soil Application of Boron and Zinc Influence Fruit Yield and Quality of Satsuma Mandarin in Acidic Soils. *Soil Fertility y Crop Nutrition*, págs. 1-8. doi: <https://doi.org/10.2134/agronj14.0122>

ANEXOS

Anexo 1. *Preparación de plantines*



Anexo 2. *Preparación del sustrato para la instalación de plantines de tomate cherry*



Anexo 3. *Instalación de tratamientos en plantines de tomate cherry en bolsas*



Anexo 4. *Cultivo a los 15 días después del trasplante*



Anexo 5. *Cultivo después de un mes del trasplante*



Anexo 6. *Cultivo entutorado después de mes y medio del trasplante*



Anexo 7. *Aplicación de biosílice, boro y zinc cada 15 días*



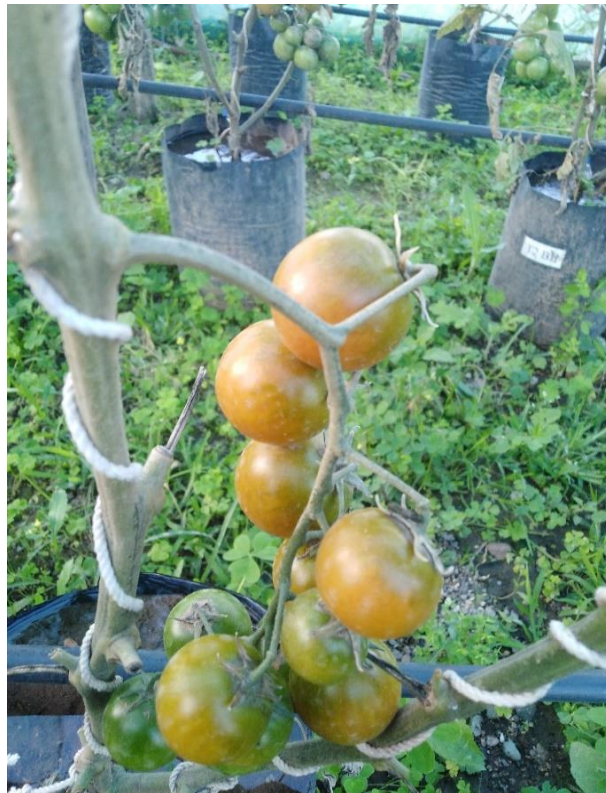
Anexo 8. *Flores de tomate cherry a los 2 meses después del trasplante*



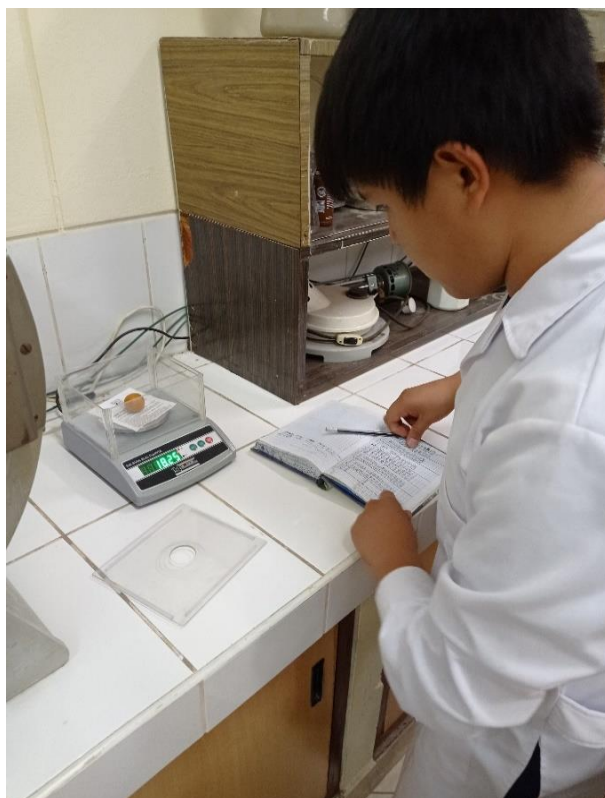
Anexo 9. *Cuajado, crecimiento y desarrollo de los frutos de tomate cherry*



Anexo 10. *Selección y conteo de frutos para evaluación*



Anexo 11. *Pesado de frutos en balanza digital*



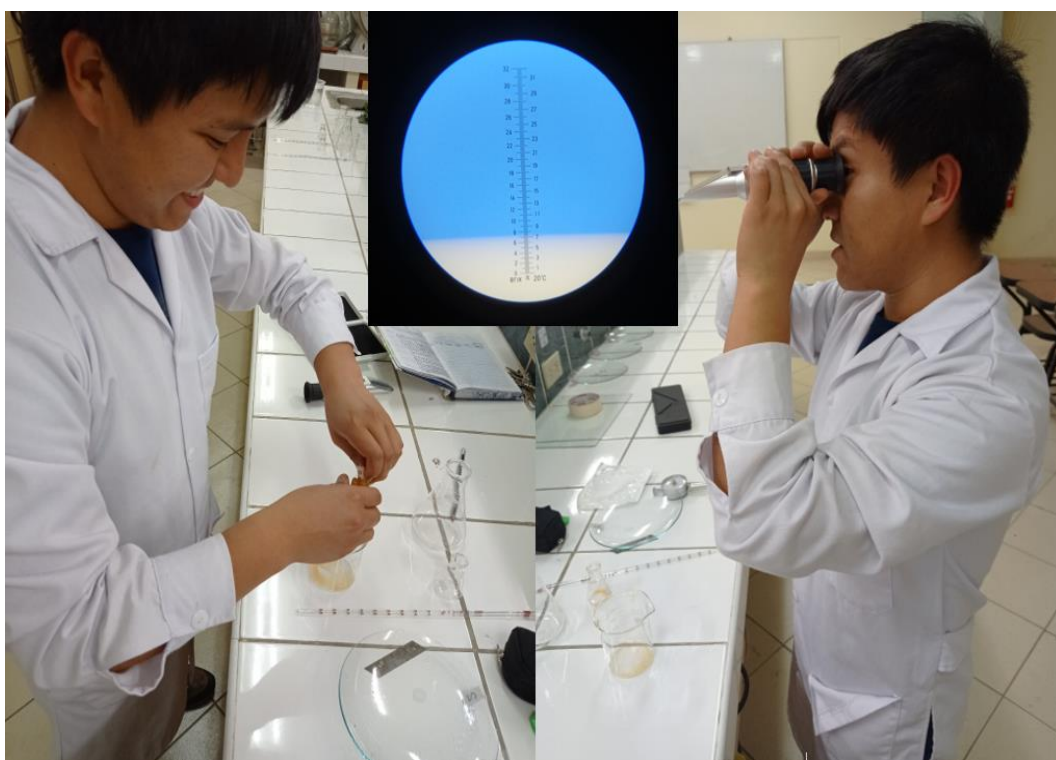
Anexo 12. *Evaluación de la firmeza de los frutos con el durómetro GY-3*



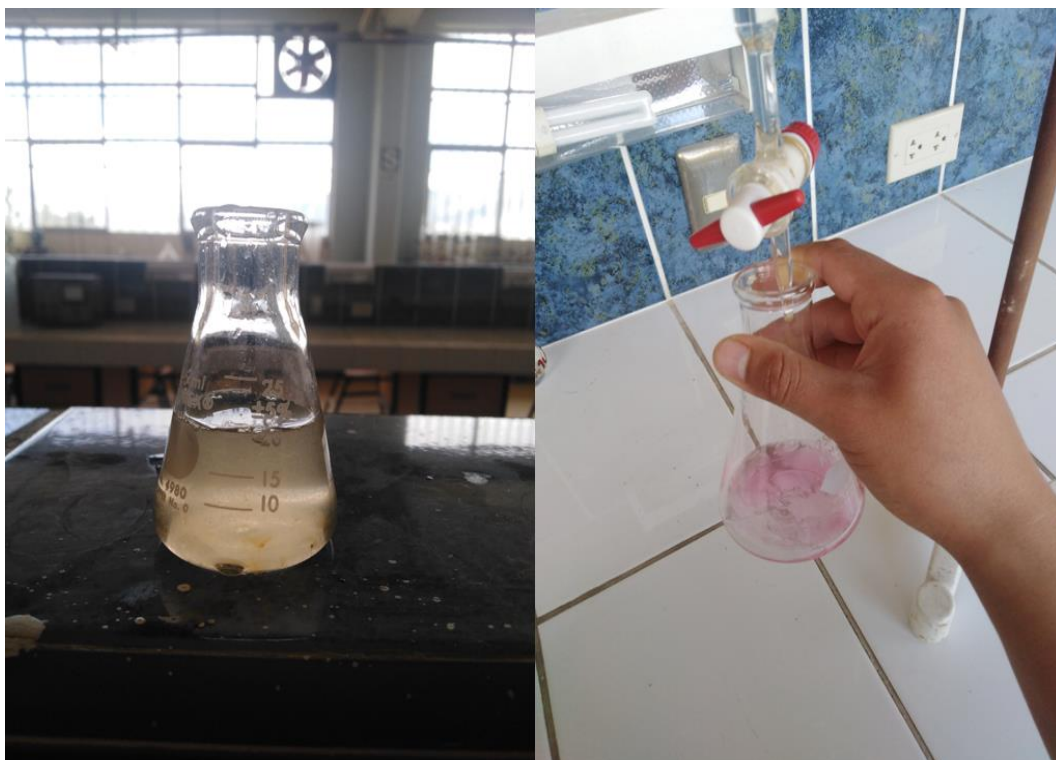
Anexo 13. *Medición de diámetro ecuatorial y diámetro polar de frutos con vernier digital*



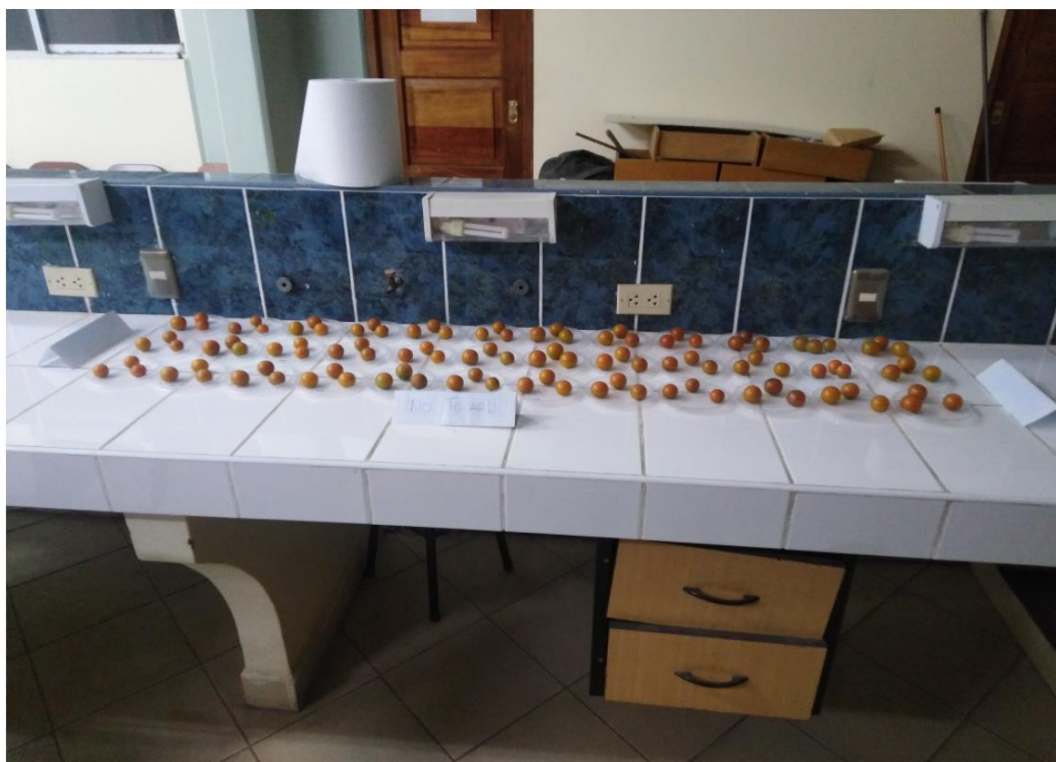
Anexo 14. *Evaluación de sólidos solubles con el refractómetro*



Anexo 15. *Evaluación y cálculo de la acidez titulable*



Anexo 16. *Evaluación de pérdida de peso de frutos de tomate cherry*



Anexo 17. *Cosecha de frutos de tomate cherry*



Anexo 18. Análisis de caracterización del suelo agrícola de Niño Yucay



MULTISERVICIOS AGROLAB

INGENIEROS TRABAJANDO POR UN AGRO SOSTENIBLE

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ANÁLISIS DE SUELOS : CARACTERIZACIÓN

ASESORÍA Y CAPACITACIÓN EN:

- EVALUACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS.
- INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS AGRÍCOLA.
- USO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS.
- ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL.
- AGRICULTURA SUSTENTABLE.

Solicitante		Sr. Gustavo A. Roca Molina		Fecha	19/07/2024
Nombre de proyecto		Biosilice, boro y zinc foliar en el rendimiento y calidad físico-química de frutos de tomate cherry (Lycopersicon esculentum) var. cerasiforme bajo cubierta. Ayacucho – 2022			
Departamento	Ayacucho	Provincia:	Huamanga	Distrito:	N/A
Localidad	Niño Yucay	Altitud (m.s.n.m.)	C.P.:		N/A
Código de muestra	13293	Referencia de Campo:	0	Cultivo anterior:	Cacao
Parámetro		Resultado	Unidad	Clasificación	
1	pH (1:1)	7.11	Unidad pH	Neutro	
2	Conductividad (1:1)	0.78	dS m. ⁻¹	No salino	
3	Carbonatos	0.00	%	Muy bajo	
4	Materia orgánica	3.14	%	Alto	
5	Fósforo disponible	115.0	ppm	Muy Alto	
6	Potasio disponible	625	ppm	Muy Alto	
7	Nitrogeno	0.15	%	Alto	
8	C.I.C.	17.02	Cmol (+),kg-1	Medio	
10	Ca ⁺⁺	11.10	Cmol (+),kg-1	Alto	
11	Mg ⁺⁺	2.78	Cmol (+),kg-1	Alto	
12	K ⁺	1.45	Cmol (+),kg-1	Alto	
13	Na ⁺	1.70	Cmol (+),kg-1	Muy alto	
14	Al ³⁺ + H ⁺	0.00	Cmol (+),kg-1	Muy bajo	
15	Saturación de bases	100	%	Alto	

Ácido	Neutro	Básico
0.00	7.31	
No salino		F. Salino
0.78		
Muy bajo	Medio	Muy alto
0.00		
3.14		
115.0		
625		
0.15		
17.02		
Bajo	Medio	Alto
11.10		
2.78		
1.45		
1.70		
0.00		
100		

Clase textural	
Arena	%
Limo	%
Arcilla	%
70	
13	
17	
Fr.A.	

Microelementos (ppm)	Metales Pesados (ppm)	
Hierro (Fe)	26.0	Plomo (Pb)
Cobre (Cu)	2.0	Cadmio (Cd)
Zinc (Zn)	14.0	
Manganeso (Mn)	27.0	Cromo (Cr)
Boro (B)	0.01	

Relaciones catiónicas	
Parámetro	Resultado
Ca / K	7.68
Ca / Mg	3.99
Mg / K	1.9
[Ca + Mg + K]/Al	
Deficiencia de Calcio	
Deficiencia de Calcio	
Ideal	

19/07/2024 R.D. Mariscal Cáceres
Responsable de Laboratorio

A = arena, A.Fr = Arena franca; Fr.A. = Franco arenoso; Fr = Franco; Fr.L = Franco limoso; L = Limoso; FrAr = Franco arcillo arenoso; FrAr = Franco arcilloso; FrArL = Franco arcillo limoso; ArA = Arcillo arenoso; ArL = Arcillo limoso; Ar = Arcilloso.

Urb. Mariscal Cáceres Mz. "G-12" - Ayacucho / (066) 312049 - 966631889 / 982781298 ✉ agrolab01@yahoo.es - agrolab107@gmail.com

Anexo 19. Datos de campo del número de frutos cuajados de tomate cherry por planta

Número de frutos cuajados por planta												
TRAT.	Biosi1 00				Biosi2 0.1				Biosi3 0.15			
	Boro1 00		Boro2 0.025		Boro1 00		Boro2 0.025		Boro1 00		Boro2 0.025	
	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2
R1	47	49	66	85	55	62	72	95	59	68	73	102
R2	47	62	73	74	62	69	75	98	62	73	83	103
R3	42	59	65	73	49	62	68	79	49	56	70	107

Anexo 20. Datos de campo del peso de frutos de tomate cherry

Peso de fruto (g)												
TRAT.	Biosi1 00				Biosi2 0.1				Biosi3 0.15			
	Boro1 00		0.025		Boro1 00		0.025		Boro1 00		0.025	
	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2
R1	9.92	12.88	14.48	16.05	12.32	14.64	17.02	21.83	13.35	16.92	19.50	24.02
R2	10.58	12.98	14.24	16.37	12.43	14.39	17.27	21.70	13.82	16.79	19.54	23.81
R3	9.83	13.32	15.18	16.29	12.24	15.13	17.73	22.38	14.02	17.56	18.89	24.72

Anexo 21. Datos de campo del diámetro ecuatorial de frutos de tomate cherry

Diametro ecuatorial del fruto (mm)												
TRAT.	Biosi1 00				Biosi2 0.1				Biosi3 0.15			
	Boro1 00		0.025		Boro1 00		0.025		Boro1 00		0.025	
	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2
R1	27.6	29.2	31.7	32.1	29.7	30.5	30.9	34.7	29.5	31.2	32.3	33.8
R2	27.4	27.6	29.6	33.7	27.4	30.5	31.5	33.1	28.4	32.6	32.4	36.2
R3	28.1	29.5	31.8	33	30.7	32	32.2	35.1	30.8	32.5	32.9	36.5

Anexo 22. Datos de campo del diámetro polar de frutos de tomate cherry

Diametro polar del fruto (mm)												
TRAT.	Biosi1 00				Biosi2 0.1				Biosi3 0.15			
	Boro1 00		0.025		Boro1 00		0.025		Boro1 00		0.025	
	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2
R1	24.6	26.8	26.3	30.1	26.8	27.9	28.2	32.7	27	28.2	29.1	33.6
R2	24.5	24.9	27.6	30.2	25.4	28.4	29.1	33.5	24.8	29.3	30.3	32.4
R3	26.4	27.8	28.9	30.3	28.7	30.1	29.9	33	29.7	30.2	30.2	34.3

Anexo 23. Datos de campo de la dureza de frutos de tomate cherry

Dureza (kg/cm ²)												
TRAT.	Biosi1 00				Biosi2 0.1				Biosi3 0.15			
	Boro1 00		0.025		Boro1 00		0.025		Boro1 00		0.025	
	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2
R1	1.00	1.10	1.05	1.25	1.30	1.29	1.20	1.70	1.60	1.70	1.45	1.95
R2	1.05	1.15	1.10	1.20	1.25	1.31	1.20	1.65	1.55	1.75	1.40	1.90
R3	1.00	1.10	1.05	1.25	1.30	1.35	1.25	1.70	1.60	1.70	1.45	2.00

Anexo 24. Datos de campo de los sólidos solubles en frutos de tomate cherry

Solidos solubles (°Bx)												
TRAT.	Biosi1 00				Biosi2 0.1				Biosi3 0.15			
	Boro1 00		0.025		Boro1 00		0.025		Boro1 00		0.025	
	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2
R1	4.6	5.6	9.6	10	5	5.2	9.6	10	5.2	5	9.8	10.6
R2	4.8	5.2	9.4	10	5.2	5.4	9.2	10	5.2	5.2	9.6	10.4
R3	4.8	5.4	9.6	10.2	5	5.2	9.8	10.2	5	5.4	9.8	10.6

Anexo 25. Datos procesados de la acidez titulable en frutos de tomate cherry

Acidez titulable (%)												
TRAT.	Biosi1 00				Biosi2 0.1				Biosi3 0.15			
	Boro1 00		0.025		Boro1 00		0.025		Boro1 00		0.025	
	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2
R1	0.51	0.70	0.93	0.96	0.77	0.83	0.83	1.09	0.83	0.83	0.93	1.18
R2	0.64	0.68	1.12	1.16	0.82	0.96	1.09	1.29	0.83	0.90	1.15	1.40
R3	0.70	0.76	0.96	1.02	0.77	0.90	0.90	1.16	0.77	0.77	0.99	1.31

Anexo 26. Datos procesados de la pérdida de peso en frutos de tomate cherry

Pérdida de peso (%)												
TRAT.	Biosi1 00				Biosi2 0.1				Biosi3 0.15			
	Boro1 00		0.025		Boro1 00		0.025		Boro1 00		0.025	
	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2	Zn1	Zn2
R1	10.11	8.31	9.22	7.91	7.66	7.79	7.76	7.19	6.39	6.32	6.90	5.16
R2	11.47	10.49	10.92	9.81	8.52	8.53	8.12	8.07	6.09	5.79	7.89	5.74
R3	11.79	11.15	11.55	8.77	7.68	6.58	6.80	6.50	6.22	6.06	6.44	4.81

**UNSCH**FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**
Bach. GUSTAVO ADOLFO ROCA MOLINA**R.D. N° 205-2024-UNSCH-FCA-D**

En la ciudad de Ayacucho a los nueve días del mes de agosto del año dos mil veinticuatro, siendo las diez con treinta horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por M.Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez, Ph.D. Marhleni Cerda Gómez como asesora, M.Sc. Alejandro Camasca Vargas y el Ing. Juan Benjamín Girón Molina; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Niveles de biosilíce, boro y zinc foliar en el rendimiento y calidad de tomate cherry (*Lycopersicum esculentum*) var. cerasiforme. Ayacucho - 2022**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo presentado por el Bachiller **GUSTAVO ADOLFO ROCA MOLINA**

El señor Decano, previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invito a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberacion y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
M.Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez	17	16	18	17
Ph.D. Marhleni Cerda Gómez	17	16	18	17
M.Sc. Alejandro Camasca Vargas	18	17	17	17
Ing. Juan Benjamín Girón Molina	16	16	16	16
PROMEDIO GENERAL				17

Acto seguido se invita a la sustentante y publico en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.


.....
M.Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez
Presidente


.....
Ph.D. Marhleni Cerda Gómez
Asesora


.....
M.Sc. Alejandro Camasca Vargas
Jurado


.....
Ing. Juan Benjamín Girón Molina
Jurado


.....
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario Docente



UNSCH

FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe coordinador responsable de la valoración y verificación de originalidad de los trabajos de investigación y de tesis de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, designado mediante la RCF N° 005-2024-UNSCH-FCA-CF; hace constar que el trabajo de tesis titulado;

Niveles de biosílice, boro y zinc foliar en el rendimiento y calidad de tomate cherry (*Lycopersicum esculentum*) var. cerasiforme. Ayacucho – 2022

Autor : Gustavo Adolfo Roca Molina
Asesor : Marhleni Cerda Gómez

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de investigación, aprobado mediante RCU N° 039-2021-UNSCH-CU, y RCU N° 1530-2023-UNSCH-CU, emitiendo un resultado de **diecinueve (19 %)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajos estándar**.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con Identificador de la entrega: 2446475508

Ayacucho, 06 setiembre de 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agrarias

Dr. Yuri Gálvez Gastelú
Coordinador de Control de originalidad de
trabajo de investigación y tesis - FCA

Niveles de biosílice, boro y zinc foliar en el rendimiento y calidad de tomate cherry (*Lycopersicum esculentum*) var. cerasiforme. Ayacucho – 2022

por Gustavo Adolfo Roca Molina

Fecha de entrega: 06-sep-2024 06:28a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2446475508

Nombre del archivo: Tesis_GARM.docx (11.03M)

Total de palabras: 17212

Total de caracteres: 89156

Niveles de biosíllice, boro y zinc foliar en el rendimiento y calidad de tomate cherry (*Lycopersicum esculentum*) var. cerasiforme. Ayacucho – 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	3%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
3	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	2%
4	www.slideshare.net Fuente de Internet	1%
5	1library.co Fuente de Internet	1%
6	docplayer.es Fuente de Internet	1%
7	repositorio.uaaan.mx Fuente de Internet	1%
8	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%

9	Submitted to American Public University System Trabajo del estudiante	<1 %
10	digibuo.uniovi.es Fuente de Internet	<1 %
11	dspace.utb.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
14	vbook.pub Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
16	revistas.uptc.edu.co Fuente de Internet	<1 %
17	Submitted to Universidad Autónoma de Nuevo León Trabajo del estudiante	<1 %
18	ciqa.repositorioinstitucional.mx Fuente de Internet	<1 %
19	investigaciones.uniatlantico.edu.co Fuente de Internet	<1 %

20	repositorio.upse.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
21	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	<1 %
22	repositorio.unaj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
24	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
25	biblioteca.uajms.edu.bo Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo

NIVELES DE BIOSÍLICE, BORO Y ZINC FOLIAR EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE TOMATE CHERRY (*Lycopersicum esculentum*) VAR.

CERASIFORME. AYACUCHO – 2022

Roca Molina, Gustavo Adolfo

gustavo321.roca@gmail.com

Cerda Gómez, Marhleni

marhleni.cerda@unsch.edu.pe

Área de investigación: Medio ambiente

Línea de investigación: Suelos, agua y medio ambiente

RESUMEN

El trabajo de investigación se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación foliar de niveles de biosílice, boro y zinc en el rendimiento y calidad de tomate cherry (*Lycopersicum esculentum*) var. cerasiforme, en arreglo factorial de 3 niveles de diatomita, 2 de boro y 2 de zinc (12 tratamientos), con 3 repeticiones, haciendo un total de 36 unidades experimentales, dispuestos y procesados en el Diseño Completamente Randomizado (DCR). Se evaluaron parámetros de rendimiento (número de frutos cuajados, peso, diámetro ecuatorial y diámetro polar) y calidad físico-químico (firmeza, sólidos solubles, acidez titulable y pérdida de peso de frutos). Se encontró que la aplicación de 0.150% de biosílice, 0.025% de boro y 0.025% de zinc, favoreció al mayor número de frutos (104), peso (24.18 g), diámetro ecuatorial (35.51 mm) y diámetro polar (33.45 mm); del mismo modo, fueron favorecidos la firmeza (1.95 kg/cm²), sólidos solubles (10.53°Bx), acidez titulable (1.30%) y menor pérdida de peso (5.24%).

Palabras clave: Tomate cherry, biosílice, boro, zinc, rendimiento.

LEVELS OF BIOSILIC, BORON AND ZINC FOLIAR IN THE YIELD AND QUALITY OF CHERRY TOMATO (*Lycopersicum esculentum*) VAR. CERASIFORME. AYACUCHO – 2022

ABSTRACT

The research work was carried out with the objective of evaluating the effect of foliar application of levels of biosilica, boron and zinc on the yield and quality of cherry tomato (*Lycopersicum esculentum*) var. cerasiform, in a factorial arrangement of 3 levels of diatomite, 2 of boron and 2 of zinc (12 treatments), with 3 repetitions, making a total of 36 experimental units, arranged and processed in the Completely Randomized Design (CRD). Performance parameters (number of set fruits, weight, equatorial diameter and polar diameter) and physical-chemical quality (firmness, soluble solids, titratable acidity and fruit weight loss) were evaluated. It was found that the application of 0.150% biosilica, 0.025% boron and 0.025% zinc favored the greatest number of fruits (104), weight (24.18 g), equatorial diameter (35.51 mm) and polar diameter (33.45 mm); Likewise, firmness (1.95 kg/cm²), soluble solids (10.53°Bx), titratable acidity (1.30%) and lower weight loss (5.24%) were favored.

Keywords: Cherry tomato, biosilica, boron, zinc, yield.

1. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Lycopersicum esculentum*) var. cerasiforme, conocido como tomate cherry o tomate cereza, posee gran demanda por sus características nutricionales y cualidades organolépticas, que poco a poco se va incluyendo en la dieta alimenticia, presente en restaurantes y bares (Hernández, 2011). Se trata de un cultivo que se originó en los andes sudamericanos, inicialmente cultivadas como plantas decorativas por la variedad de sus formas y colores, actualmente reconocido por sus propiedades antioxidantes potentes debido al contenido de licopeno. Los tomates cherry son cada vez más populares en el mercado moderno, pero todavía son poco comunes en los mercados tradicionales (Kusumiyati et al., 2023), poseen un impacto económico por el uso en la comida tipo gourmet; sin embargo, su cultivo extensivo aun es desconocido y se recomienda la siembra en invernadero donde se pueda controlar el agua y la cantidad de nutrientes a aplicar, condiciones que mejoran la calidad de la fruta, convirtiéndose así en una opción favorable. Se desconoce aún la formulación de nutrientes adecuada para el cultivo, siendo una práctica común la aplicación edáfica, ésta se puede complementar con la aplicación foliar (Khan y Kuruwanshi, 2015), sobre todo de aquellos elementos cuyas dosis resulten pequeñas como los micronutrientes, que pueden ser abastecidos a través de las hojas (Christensen, 2006), entre ellos el boro, el cual, se ha demostrado que en pequeñas dosis aplicado como foliar resulta eficiente; ya que, participa en varios procesos como la floración, crecimiento del tubo polínico y la maduración del fruto (Herrera et al., 2010). Así Hanson (2001) refiere que niveles foliares de 15 ppm de boro, son suficientes para los arándanos. El zinc, importante en el crecimiento y desarrollo, en el metabolismo de las proteínas, los carbohidratos y la fertilidad sexual de las plantas (Feitosa et al., 2011). Por su parte el silicio (elemento benéfico) ampliamente reconocido por sus múltiples efectos en las plantas, como mejorar las barreras mecánicas debido a la acumulación y polimerización de sílice en diferentes partes de la planta; así también, activar la producción de proteínas de defensa y compuestos antimicrobianos (Shetty et al., 2011). Estas fueron las consideraciones que permitieron formular el trabajo con la finalidad de evaluar el efecto de aplicar dosis de B, Zn y biosílice al follaje, como complemento de nutrición edáfica en plantas del cultivo de tomate cherry. Este trabajo tuvo como objetivo general, evaluar la influencia de la aplicación foliar de niveles de biosílice, boro y zinc en el rendimiento y calidad físico-química de frutos de tomate cherry.

2. METODOLOGÍA

2.1 Ubicación

El trabajo de investigación se desarrolló en el vivero del área de suelos, ubicado en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, cuyas coordenadas son 13°08'42"S; 74°13'21"W, altitud de 2788 m.s.n.m., en el distrito de Ayacucho, provincia Huamanga, departamento de Ayacucho.

2.2 Análisis físico químico del suelo

Teniendo en cuenta los requerimientos edáficos del cultivo, se consideró utilizar el suelo proveniente de la localidad de Niño Yucay, perteneciente al distrito de Tambillo, provincia Huamanga, departamento Ayacucho, el cual, al realizar el análisis de caracterización de suelo en un laboratorio especializado, se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 1.

Tabla 1

Análisis de caracterización del suelo agrícola de Niño Yucay

Propiedades químicas	Unidad	Valor	Interpretación
pH	-	7.11	Neutro
C.E.	dS.m ⁻¹	0.78	Normal, no salino
Nt	(%)	0.15	Medio
P	ppm	115	Muy alto
K	ppm	625	Muy alto
Hierro	ppm	26	Bajo
Cobre	ppm	2	Bajo
Zinc	ppm	14	Bajo
Manganeso	ppm	27	Bajo
Boro	ppm	0.01	Bajo
Saturación de bases	(%)	100	Suelo saturado de bases
Propiedades físicas			
Arena	(%)	70	-
Limo	(%)	13	-
Arcilla	(%)	17	-
Clase Textural		Fr. A.	Franco arenoso

2.3 Diseño experimental y tratamientos

Se emplea el Diseño Completamente Randomizado (DCR), los resultados obtenidos fueron sometidos a la prueba de ANVA y prueba de contraste de Tukey. Los factores fueron tres, con una distribución factorial de 3 niveles de biosílice (a), 2 de boro (b) y 2 de zinc (c) foliar, resultando 12 tratamientos, con 3 repeticiones haciendo un total de 36 unidades experimentales, la descripción se muestra en la tabla 2.

Tabla 2*Descripción de los tratamientos del experimento*

Tratamientos	Descripción	Código
T1	Tratamiento testigo	a1b1c1
T2	0.000% biosílice, 0.000% boro y 0.025% zinc	a1b1c2
T3	0.000% biosílice, 0.025% boro y 0.000% zinc	a1b2c1
T4	0.000% biosílice, 0.025% boro y 0.025% zinc	a1b2c2
T5	0.100% biosílice, 0.000% boro y 0.000% zinc	a2b1c1
T6	0.100% biosílice, 0.000% boro y 0.025% zinc	a2b1c2
T7	0.100% biosílice, 0.025% boro y 0.000% zinc	a2b2c1
T8	0.100% biosílice, 0.025% boro y 0.025% zinc	a2b2c2
T9	0.150% biosílice, 0.000% boro y 0.000% zinc	a3b1c1
T10	0.150% biosílice, 0.000% boro y 0.025% zinc	a3b1c2
T11	0.150% biosílice, 0.025% boro y 0.000% zinc	a3b2c1
T12	0.150% biosílice, 0.025% boro y 0.025% zinc	a3b2c2

2.4 Instalación del experimento

El trabajo de investigación tuvo un periodo de 10 meses, comprendidos desde la producción de plantines, instalación, manejo y evaluación del experimento en campo y laboratorio. Se emplearon plantas de tomate cherry (*Lycopersicum esculentum*) var. cerasiforme, cuyas semillas fueron recolectadas de una campaña anterior, estas plantas provienen de una variedad silvestre y se adaptan muy bien a las condiciones climáticas de nuestra región. A los 6 meses después del trasplante, se realizó la cosecha considerando frutos a madurez de consumo, para evaluar estos parámetros:

1) Parámetros de rendimiento

- a. **Número de frutos cuajados (rendimiento total de frutos/planta).** Se contó el número de frutos cuajados por tratamiento.
- b. **Peso de los frutos.** Se evaluó el peso de frutos usando una balanza digital en (g).
- c. **Diámetro ecuatorial y polar de los frutos.** Se midió el diámetro ecuatorial y polar con un calibrador vernier digital en milímetros (mm).

2) Parámetros de calidad físico-químico

- a. **Firmeza del fruto.** Se midió usando el durómetro modelo GY-3 en kg/cm².
- b. **Sólidos solubles.** Se midió usando un refractómetro en grados Brix (°Bx).
- c. **Acidez titulable (%).** Se realizó titulando 20 ml de solución de jugo de tomate cherry en NaOH al 0.1N, para determinar la acidez en % se aplicó la siguiente fórmula:

$$\%Acidez = \frac{G * N * meq}{M} * 100$$

G : El álcali utilizado (NaOH)

N : Normalidad del álcali utilizado (0.1N)

meq : Coeficiente del ácido predominante en el cultivo de tomate cherry (ácido cítrico 0.064)

M : Alícuota (1 ml de jugo de tomate cherry, 19 ml agua destilada y 3 gotas de fenolftaleína).

d. Pérdida de peso. La pérdida de peso, se calculó por gravimetría, pesando los frutos cada 2 días, durante 9 días, para luego realizar los cálculos y determinar la durabilidad del fruto, expresando en porcentaje la pérdida de peso.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Número de frutos cuajados

La tabla 3.1 muestra el ANVA del número de frutos cuajados de tomate cherry; el cual, indica una diferencia altamente significativa entre los tratamientos y las medias de los niveles individuales de biosílice, boro y zinc, así también, fue significativa la interacción de boro*zinc. Como resultado de la prueba de contraste Tukey de todos los tratamientos mostrados en la tabla 3.2; se observa que, el tratamiento 12, cuyas plantas recibieron las dosis altas de los tres elementos en estudio (0.150% biosílice, 0.025% boro y 0.025% zinc) influyeron en la obtención del mayor número de frutos cuajados con una media de 104 frutos de tomate cherry, seguido de aquellos que recibieron la misma dosis de boro y zinc, pero menor concentración de silicio, siendo ambos superiores a los demás tratamientos; sin duda, los tomates, como los demás cultivos necesitan de los macro y micronutrientes, sobre todo en suelo, cuyo pH se encuentre dentro del rango de 6.5 a 7 debido a la disponibilidad de los mismos exceptuando al molibdeno.

Los micronutrientes estudiados tienen menor disponibilidad en el sustrato; por ello, los tratamientos que tuvieron boro y zinc foliar, obtuvieron mejores resultados, se trata de los esenciales requeridos en menor proporción en la planta (Marschner, 2012), cuyas funciones fisiológicas en el caso del boro son las de fortalecer las paredes celulares, el metabolismo del ARN, formar parte de membranas celulares, transporte de azúcares e intervenir en el desarrollo reproductivo. El zinc es constituyente de enzimas (anhidrasa carbónica) que interviene en el proceso fotosintético, ayuda a la formación de proteínas en las plantas (Shah et al., 2016 y Hossain et al., 2017), integridad estructural y funcional de las biomembranas (Sainju et al., 2003 y Trivedi y Dhumal, 2013) e influir en el metabolismo de otros elementos caso nitrógeno y azufre (Pandav et al., 2016). Ambos elementos en combinación, influyen diferencialmente en el rendimiento y la calidad de los cultivos, tal como pasa en la producción de frutos, así lo reporta Khatri et al. (2022), tras aplicar boro y zinc foliar al cultivo de tomate variedad manisha, encontraron un efecto significativo en el número de frutos, peso, diámetro y rendimiento, a una dosis de 30 ppm de zinc; así también, observaron una floración temprana con 30 ppm de borax. Por su parte Singh et al. (2017), evaluando el crecimiento, rendimiento y calidad del tomate

cherry (*Lycopersicum esculentum*) variedad cerasiforme, concluyen que la aplicación foliar combinada de boro y zinc a una concentración de 2.0 g/l, influyó en el máximo número de frutos por racimo en 28.22, 30.33 y 32.80. Según Bibi et al. (2017), la interacción de boro y zinc, además de aumentar el número de frutos por planta de tomate, influyó también en la altura, número de ramas primarias, secundarias, y hojas por planta, resultados que son comparables a los obtenidos; no obstante, el hecho de acompañar con silicio al boro y zinc, permitió mejor comportamiento en la producción de mayor número de frutos cuajados respecto a los otros tratamientos, lo que implica que el silicio permite tener un efecto sinérgico con ambos micronutrientes y con ello potencia sus efectos, dado que el silicio es un elemento benéfico en las plantas que contribuye a mejorar la translocación de nutrientes, aumentar la eficiencia de éstos y del agua al reducir la transpiración, además de actuar como barrera mecánica y favorecer el crecimiento de las plantas, al respecto Zellner (2021), reporta que las concentraciones de silicio absorbidas por el tomate pueden ser tan altas como el de los macronutrientes. Según Bilal et al. (2022), la aplicación sinérgica de Si + B podría ser una estrategia efectiva para el crecimiento y productividad de palma datilera contra el estrés que genera el aluminio. Sin duda el aplicar simultáneamente los tres elementos favoreció en el número de frutos del tomate cherry, resultados que son concordantes con los obtenidos por Masoud et al. (2019), quienes concluyen que aplicar tres veces durante la temporada de crecimiento dosis de 0.05% de boro, 0.10% de zinc y 0.20% silicio foliar, solos o una combinación de 0.025% de boro, 0.05% zinc y 0.10% silicio, es beneficioso para mejorar la productividad, el estado nutricional y la calidad del fruto de mandarina balady.

Tabla 1.1.

Análisis de varianza del número de frutos cuajados en el cultivo de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P-Valor
Tratamientos	11	8686.08	789.64	20.19	<0.001 **
Biosílice	2	1135.17	567.58	14.51	<0.001 **
Boro	1	5112.25	5112.25	130.71	<0.001 **
Zinc	1	1863.36	1863.36	47.64	<0.001 **
Biosílice*Boro	2	98.17	49.08	1.25	0.303 ns
Biosílice*Zinc	2	109.06	54.53	1.39	0.267 ns
Boro*Zinc	1	191.36	191.36	4.89	0.037 *
Biosílice*Boro*Zinc	2	176.72	88.36	2.26	0.126 ns
Error	29	938.67	39.11		
Total	40	9624.76			

CV = 23.95%

Tabla 3.2.

Prueba de Tukey para el número de frutos cuajados de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

Tratamientos	Media	Agrupación		
T12 (a3b2c2)	104.00	a		
T8 (a2b2c2)	90.67	a	b	
T4 (a1b2c2)	77.33		b	c
T11 (a3b2c1)	75.33		b	c
T7 (a2b2c1)	71.67		c	d
T3 (a1b2c1)	68.00		c	d
T10 (a3b1c2)	65.67		c	d
T6 (a2b1c2)	64.33		c	d
T9 (a3b1c1)	56.67		d	e
T2 (a1b1c2)	56.67		d	e
T5 (a2b1c1)	55.33		d	e
T1 (a1b1c1)	45.33			e

3.2. Peso del fruto

La tabla 3.3 muestra el ANVA del peso de frutos de tomate cherry; el cual, indica una diferencia altamente significativa entre los tratamientos y los niveles individuales de biosílice, boro y zinc, así también, en la interacción de los tres foliares. La tabla 3.4 muestra los resultados de la prueba de Tukey de los tratamientos totales, donde el tratamiento 12, cuyas plantas recibieron las dosis altas de (0.150% biosílice, 0.025% boro y 0.025% zinc) aplicados en combinación foliar, influyeron en la obtención de un mayor peso de fruto con una media de 24.18 g, seguido de aquellos que recibieron las dosis mayores de boro y zinc, pero menor concentración de silicio (t8), resultados que son concordantes con lo obtenido por Singh et al. (2017), quienes aplicando una mezcla foliar de zinc (2.0 g/l) y boro (2.0 g/l), a plantas de tomate cherry (*Solanum lycopersicum*) variedad cerasiforme, incrementaron el peso de frutos en 14.87 g, por su parte Saadati et al. (2013), empleando una mezcla foliar de sulfato de zinc (0.25%) y ácido bórico (0.25%), promovieron significativamente en el peso de fruto, contenidos de azúcares y aceites solubles en los frutos del olivo (*Olea europea* L.), resultados que indican que la interacción del boro y zinc, influye positivamente en el peso de fruto de tomate cherry y otros cultivos.

Tabla 3.3.

Análisis de varianza del peso (g) de frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P-Valor
Tratamientos	11	544.36	49.49	384.14	<0.001 **
Biosílice	2	156.51	78.26	607.46	<0.001 **
Boro	1	266.23	266.23	2066.63	<0.001 **
Zinc	1	98.08	98.08	761.31	<0.001 **
Biosílice*Boro*Zinc	2	5.39	2.70	20.93	<0.001 **
Error	29	3.09	0.13		
Total	35	529.31			

CV = 24.37%

Tabla 3.4.

Prueba de Tukey para el peso (g) de frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

Tratamientos	Media	Agrupación			
T12 (a3b2c2)	24.18	a			
T8 (a2b2c2)	21.97		b		
T11 (a3b2c1)	19.31			c	
T7 (a2b2c1)	17.34				d
T10 (a3b1c2)	17.09			d	e
T4 (a1b2c2)	16.24				e
T6 (a2b1c2)	14.72				f
T3 (a1b2c1)	14.63				f
T9 (a3b1c1)	13.73			f	g
T2 (a1b1c2)	13.06				g
T5 (a2b1c1)	12.33				H
T1 (a1b1c1)	10.11				H
					i

3.3. Diámetro ecuatorial y diámetro polar

Las tablas 3.5 y 3.7 muestran los ANVA's del diámetro ecuatorial y polar de frutos de tomate cherry, obteniendo una diferencia altamente significativa entre los tratamientos y las medias individuales de los niveles de biosílice, boro y zinc en ambos casos; así también, las tablas 3.6 y 3.8 muestran las medias de la prueba de Tukey del diámetro ecuatorial y polar del total de tratamientos respectivamente, siendo resaltante en ambos casos el tratamiento 12, el cual, tiene las dosis altas de los elementos foliares (0.150% biosílice, 0.025% boro y 0.025% zinc); los cuales, incrementaron el diámetro ecuatorial y polar de frutos de tomate cherry con una media de 35.51 y 33.44 mm respectivamente, seguido de aquellos que recibieron la misma dosis de boro y zinc, pero menor concentración de silicio. En el caso del boro y zinc, ambos son requeridos para mejorar

la calidad y alto rendimiento de los cultivos. En su investigación Singh et al. (2017), concluyen que una aplicación foliar combinada a base de boro y zinc influye de manera positiva en el rendimiento y calidad de fruto de tomates cherry, particularmente en el diámetro máximo del fruto en 5.53 cm; por su parte, El-Gioushy (2016) enfatiza la importancia del uso de fuentes de silicio en el crecimiento, desarrollo y aspectos fructíferos de diferentes cultivos frutales, concluyendo que el uso de silicato de potasio al 0.1% mejora el rendimiento y la calidad en frutos de naranjo valencia. Concordando que, la aplicación de los tres elementos, favorecen el aumento de tamaño, específicamente en el diámetro ecuatorial y polar de frutos de tomate cherry.

Tabla 3.5.

Análisis de varianza del diámetro ecuatorial (mm) en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P-Valor
Tratamientos	11	175.26	15.93	14.87	<0.001 **
Biosílice	2	32.91	16.46	15.36	<0.001 **
Boro	1	94.90	94.90	88.57	<0.001 **
Zinc	1	42.19	42.19	39.37	<0.001 **
Biosílice*Boro*Zinc	2	0.14	0.07	0.06	0.938 ns
Error	29	25.72	1.07		
Total	35	195.85			

CV = 7.64%

Tabla 3.6.

Prueba de Tukey para el diámetro ecuatorial (mm) en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

Tratamientos	Media	Agrupación					
T12 (a3b2c2)	35.51	a					
T8 (a2b2c2)	34.32	a	b				
T4 (a1b2c2)	32.93	a	b	c			
T11 (a3b2c1)	32.54	a	b	c	d		
T10 (a3b1c2)	32.09		b	c	d	e	
T7 (a2b2c1)	31.56		b	c	d	e	f
T3 (a1b2c1)	31.00			c	d	e	f
T6 (a2b1c2)	31.00			c	d	e	f
T9 (a3b1c1)	29.55				d	e	f g
T5 (a2b1c1)	29.24					e	f g
T2 (a1b1c2)	28.75						f g
T1 (a1b1c1)	27.72						g

Tabla 3.7.

Análisis de varianza del diámetro polar (mm) en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P-Valor
Tratamientos	11	205.98	18.73	12.14	<0.001 **
Biosílice	2	44.87	22.44	14.55	<0.001 **
Boro	1	94.09	94.09	61.00	<0.001 **
Zinc	1	58.88	58.88	38.17	<0.001 **
Biosílice*Boro*Zinc	2	0.32	0.16	0.10	0.903 ns
Error	29	37.02	1.54		
Total	35	235.18			

CV = 9.11%

Tabla 3.8.

Prueba de Tukey para el diámetro polar (mm) en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

Tratamientos	Media	Agrupación		
T12 (a3b2c2)	33.44	a		
T8 (a2b2c2)	33.03	a		
T4 (a1b2c2)	30.17	a	b	
T11 (a3b2c1)	29.86	a	b	c
T10 (a3b1c2)	29.23		b	c
T7 (a2b2c1)	29.08		b	c
T6 (a2b1c2)	28.77		b	c d
T3 (a1b2c1)	27.59		b	c d
T9 (a3b1c1)	27.16		b	c d
T5 (a2b1c1)	26.95		b	c d
T2 (a1b1c2)	26.51			c d
T1 (a1b1c1)	25.16			d

3.4. Dureza del fruto

La tabla 3.9 muestra el ANVA de la dureza de frutos de tomate cherry; el cual, indica una diferencia altamente significativa entre los tratamientos y los niveles individuales de biosílice, boro y zinc; así también, en la interacción de los tres foliares. La tabla 3.10 muestra las medias de la prueba de Tukey de los tratamientos totales, siendo las plantas que recibieron una mezcla de las dosis altas de los tres elementos 0.150% biosílice, 0.025% boro y 0.025% zinc foliar (tratamiento 12), quienes obtuvieron el mejor resultado en el parámetro de dureza de frutos de tomate cherry con una media de 1.95 kg/cm², seguido por el tratamiento 10 (0.150% biosílice y 0.025% zinc) y 8 (0.100% biosílice, 0.025% boro y 0.025% zinc) que tienen medias similares, se puede observar que la interacción de nutrientes influyó positivamente en el parámetro evaluado, tal como

indican El Kholy et al. (2018), quienes al aplicar sílice foliar en plantas de níspero japonés (*Eriobotrya japonica*), pudieron prolongar la vida útil de la fruta, específicamente en la rigidez estructural, firmeza y dureza del fruto. En relación al efecto del boro Bibi et al. (2017), indican que aplicado como foliar, desempeña un papel importante; ya que, este nutriente está involucrado en la síntesis de la pared celular, la respiración y la integridad de la membrana celular del fruto. Del mismo modo, la participación del zinc en el cultivo lo demuestra Sainz (2019), quien luego de emplear en el follaje de tomate cherry fuentes de zinc como hidroxapatita dopada con zinc, lignosulfonato de zinc y sulfato de zinc, incrementó la dureza de los frutos.

Tabla 3.9.

Análisis de varianza de la dureza (kg/cm²) en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P-Valor
Tratamientos	11	2.81	0.26	260.13	<0.001 **
Biosílice	2	1.90	0.95	968.91	<0.001 **
Boro	1	0.08	0.08	77.12	<0.001 **
Zinc	1	0.50	0.50	511.69	<0.001 **
Biosílice*Boro*Zinc	2	0.06	0.03	30.24	<0.001 **
Error	29	0.02	0.00		
Total	35	2.56			

CV = 20.53%

Tabla 3.10.

Prueba de Tukey para la dureza (kg/cm²) en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

Tratamientos	Media	Agrupación			
T12 (a3b2c2)	1.95	a			
T10 (a3b1c2)	1.72		b		
T8 (a2b2c2)	1.68		b		
T9 (a3b1c1)	1.58			C	
T11 (a3b2c1)	1.43			d	
T6 (a2b1c2)	1.32				e
T5 (a2b1c1)	1.28				e f
T4 (a1b2c2)	1.23				e f
T7 (a2b2c1)	1.22				f
T2 (a1b1c2)	1.12				g
T3 (a1b2c1)	1.07				g h
T1 (a1b1c1)	1.02				h

3.5. Sólidos solubles

La tabla 3.11 muestra el ANVA de los sólidos solubles de frutos de tomate cherry, el cual indica una diferencia altamente significativa entre los tratamientos, los niveles individuales de biosílice, boro y zinc y la interacción de las tres soluciones foliares. Así también, la tabla 3.12 muestra la prueba de Tukey del total de tratamientos, el cual, el tratamiento completo (T12) que contiene las dosis foliares máximas (0.150% biosílice, 0.025% boro y 0.025% zinc), mostró mayor resultado en el contenido de sólidos solubles en frutos de tomate cherry con una media de 10.53 °Bx, seguido del tratamiento 8; el cual, recibió la misma dosis de boro y zinc, pero menor concentración de silicio, siendo ambos tratamientos superiores a los demás, resultados que concuerdan con lo reportado por Peña y Galecio (2019) quienes indican, que la cantidad de sólidos solubles en frutos de maracuyá (*Passiflora edulis*) fueron mayores con la aplicación edáfica de sílice (100 kg ha⁻¹). Por su parte Hernández et al. (2022), refieren que el silicio foliar en dosis de 0, 15 y 20 ppm en el cultivo de fresa variedad camino real, permitieron 6.79, 6.89 y 7.06 °Bx respectivamente, es decir, las dosis crecientes de silicio incrementaron la cantidad de sólidos solubles en frutos. Así también, Singh et al. (2017) reportaron que, aplicando mayores dosis de boro (2.0 g/l) y zinc (2.0 g/l) al follaje de tomate cherry permitió obtener 13.10 °Bx, que resulta mayor a lo obtenido en el presente trabajo, esto podría indicar que el cultivo podría resistir dosis mayores de ambos elementos.

Tabla 3.11.

Análisis de varianza de los sólidos solubles en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P-Valor
Tratamientos	11	208.48	18.95	775.32	<0.001 **
Biosílice	2	0.31	0.15	6.32	0.006 **
Boro	1	205.44	205.44	8404.55	<0.001 **
Zinc	1	1.96	1.96	80.18	<0.001 **
Biosílice*Boro*Zinc	2	0.28	0.14	5.77	0.009 **
Error	29	0.59	0.02		
Total	35	208.58			

CV = 32.49%

Tabla 3.12.

Prueba de Tukey para los sólidos solubles (°Bx) en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

Tratamientos	Media	Agrupación	
T12 (a3b2c2)	10.53	a	
T8 (a2b2c2)	10.07	b	
T4 (a1b2c2)	10.07	b	
T11 (a3b2c1)	9.73	b	c
T7 (a2b2c1)	9.53		c
T3 (a1b2c1)	9.53		c
T2 (a1b1c2)	5.40		d
T6 (a2b1c2)	5.27		d
T10 (a3b1c2)	5.20		d
T9 (a3b1c1)	5.13		d e
T5 (a2b1c1)	5.07		d e
T1 (a1b1c1)	4.73		e

3.6. Acidez titulable

La tabla 3.13 muestra el ANVA de la acidez titulable de frutos de tomate cherry, el cual, los tratamientos y las medias individuales de los niveles de biosílice, boro y zinc foliar, muestran una diferencia altamente significativa. Así también la tabla 3.14 muestra los resultados de la prueba de Tukey del total de tratamientos evaluados, donde el tratamiento 12 (0.150% biosílice, 0.025% boro y 0.025% zinc) fue superior en el parámetro de acidez titulable en frutos de tomate cherry con una media de 1.29%, seguido de aquellos que recibieron la misma dosis de boro y zinc, pero menor concentración de silicio, siendo ambos superiores a los demás tratamientos. Resultados que están relacionados con lo obtenido por Zahirul et al. (2018), quienes concluyen que los frutos de tomate cherry tratados con una mezcla de sílice (20 mM) y boro (4.85 mM), obtuvieron mayor firmeza, contenido de vitamina C, acidez titulable (0.75%) y sólidos menos solubles. Del mismo modo, en el reporte de Singh et al. (2017) refieren que la aplicación foliar combinada de boro (2.0 g/l) y zinc a (2.0 g/l), aumentó el contenido de vitamina C (14.10 mg/100 g) en frutos de tomate cherry.

Tabla 3.13.

Análisis de varianza de la acidez titulable en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P-Valor
Tratamientos	11	1.24	0.11	14.04	<0.001 **
Biosílice	2	0.14	0.07	8.50	0.002 **
Boro	1	0.83	0.83	103.73	<0.001 **
Zinc	1	0.16	0.16	19.59	<0.001 **
Biosílice*Boro*Zinc	2	0.04	0.02	2.21	0.132 ns
Error	29	0.19	0.01		
Total	35	1.36			

CV = 21.78%

Tabla 3.14.

Prueba de Tukey para la acidez titulable (%) en frutos cuajados de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

Tratamientos	Media	Agrupación		
T12 (a3b2c2)	1.29	a		
T8 (a2b2c2)	1.17	a	b	
T4 (a1b2c2)	1.04	a	b	c
T11 (a3b2c1)	1.02		b	c
T3 (a1b2c1)	1.01		b	c
T7 (a2b2c1)	0.93		b	c d
T6 (a2b1c2)	0.89		c	d
T10 (a3b1c2)	0.83		c	d e
T9 (a3b1c1)	0.81		c	d e
T5 (a2b1c1)	0.78		c	d e
T2 (a1b1c2)	0.71			d e
T1 (a1b1c1)	0.61			e

3.7. Pérdida de peso

La tabla 3.15 muestra el ANVA de la acidez titulable de frutos de tomate cherry, el cual, los tratamientos y las medias individuales de los niveles de biosílice, boro y zinc foliar, muestran una diferencia altamente significativa. La tabla 3.16 muestra los resultados de la prueba de Tukey del total de tratamientos, siendo representativo el conjunto de datos de las plantas que recibieron 0.150% biosílice, 0.025% boro y 0.025% zinc (combinación foliar en sus dosis altas), disminuyeron la pérdida de peso de frutos de tomate cherry; el cual, alcanzó a una media de 5.24% (T12) que ocupa el último lugar, a diferencia del T1 (testigo), T2, T3 y T4, quienes no recibieron biosílice; cuyo efecto, es producto de la formación de una cutícula más consistente, que se traduce en una disminución de la intensidad respiratoria de la fruta y así evitar la pérdida de peso, tal como lo reportan Zhang et al. (2017), quienes empleando fertilizante de silicato aumentaron el rendimiento de uva (*Vitis vinifera* L.) y extendieron significativamente la vida útil de la fruta. Otro efecto lo mencionan Saleem y Joody (2019); el cual indican, que el silicio no solo reduce la pérdida de agua de hojas y frutos de manzano, también los trastornos fisiológicos como el amargor y el agrietamiento de ellos. El Kholy et al. (2018) reportan que el aplicar sílice foliar a frutos de níspero japonés (*Eriobotrya japonica*) prolongó la vida útil de la fruta, resaltando así el papel importante del silicio en la rigidez estructural de las paredes celulares y la conservación de frutos a través del tiempo. Por otro lado, en relación al efecto del zinc Sainz (2019), indica que la aplicación de diferentes fuentes de zinc foliar en plantas de tomate cherry (*Lycopersicon esculentum* Mill.) otorgó mayor dureza y vida útil de los frutos. Del mismo modo el boro, por las funciones que cumple en las plantas, interactúa con los otros nutrientes para favorecer en este caso la perdurabilidad del fruto

en anaquel, pues participa en la integridad estructural y funcional de la pared celular y las membranas, el flujo de iones H^+ , K^+ , PO_4^{-3} , Rb^+ y Ca^{+2} a través de las membranas, entre otras funciones (Abou et al., 2021). Sin embargo, debido a que la deficiencia o toxicidad del boro pueden ser perjudiciales en el rendimiento de las plantas, es muy importante conocer las dosis adecuadas o próximas a ellas para cada cultivo.

Tabla 3.15.

Análisis de varianza de la pérdida de peso en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P-Valor
Tratamientos	11	111.54	10.14	14.25	<0.001 **
Biosílice	2	97.03	48.52	68.19	<0.001 **
Boro	1	1.52	1.52	2.13	0.157 ns
Zinc	1	7.59	7.59	10.66	0.003 **
Biosílice*Boro*Zinc	2	1.08	0.54	0.76	0.478 ns
Error	29	17.08	0.71		
Total	35	124.30			

CV = 24.09%

Tabla 3.16.

Prueba de Tukey para la pérdida de peso (%) en frutos de tomate cherry por efecto de la aplicación de niveles de biosílice, boro y zinc foliar

Tratamientos	Media	Agrupación			
T1 (a1b1c1)	11.12	a			
T3 (a1b2c1)	10.56	a			
T2 (a1b1c2)	9.99	a	b		
T4 (a1b2c2)	8.83	a	b	c	
T5 (a2b1c1)	7.96		b	c	d
T6 (a2b1c2)	7.64		b	c	d e
T7 (a2b2c1)	7.56		b	c	d e
T8 (a2b2c2)	7.27			c	d e
T11 (a3b2c1)	7.08			c	d e
T9 (a3b1c1)	6.23				d e
T10 (a3b1c2)	6.06				d e
T12 (a3b2c2)	5.24				e

4. CONCLUSIONES

1. La aplicación foliar de dosis altas de boro (0.025% B), zinc (0.025% Zn) y la dosis alta de biosílice (0.150% Si) en el rendimiento de frutos de tomate cherry, favorecen al mayor número de frutos por planta (104), peso (24.14 g), diámetro ecuatorial (35.51 mm) y diámetro polar (33.45 mm), seguido de aquellos que recibieron alta dosis de B, Zn y menor concentración de biosílice (0.025% B, 0.025% Zn y 0.10% Si).

2. La calidad físico-química de frutos de tomate cherry, como la firmeza (1.95 kg/cm²), sólidos solubles (10.53 °Bx), acidez titulable (1.30%) y pérdida de peso (5.24%), fueron mejores, con la aplicación foliar de las dosis altas empleadas 0.15% de biosílice, 0.025% de boro y 0.025% de zinc; seguido de aquellos que recibieron 0.025% B, 0.025% Zn y 0.10% Si.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abou, S., Abou, E., Yassen, A., y S., H. (2021). Boron, Structure, Functions and Its Interaction with Nutrients in Plant Physiology. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 117-179.
- Bibi, H., Rab, A., y Hussain, A. (2017). Effect of Calcium, Boron and Zinc Foliar Application on Growth and Fruit Production of Tomato. *Sarhad Journal of Agriculture*, 19-30. doi:<http://dx.doi.org/10.17582/journal.sja/2018/34.1.19.30>
- Bilal, S., Khan, A., Imran, M., Khan, A., Asaf, S., Al-Rawahi, A., Al-Azri, M., Al-Harrasi, A. y Lee, I. (2022). Silicon- and Boron-Induced Physio-Biochemical Alteration and Organic Acid Regulation Mitigates Aluminum Phytotoxicity in Date Palm Seedlings. *Antioxidants*, 1-22.
- Christensen, P. (2006). Foliar fertilization in vine mineral nutrient management programs. En P. Christensen, *Viticulture and Enology* (págs. 23: 1-3). Davis: University of California Davis.
- El Kholy, M. F., Mahmoud, A. A., y Mehaisen, S. (2018). Impact of Potassium Silicate Sprays on Fruiting, Fruit Quality and Fruit Storability of Loquat trees . *Middle East Journal of Agriculture*, 139-153.
- El-Gioushy, S. (2016). Productivity, Fruit Quality and Nutritional Status of Washington Navel Orange Trees as Influenced by Foliar Application with Salicylic Acid and Potassium Silicate Combinations. *Journal of Horticultural Science y Ornamental Plants*, 98-107.
- Feitosa, A., Araújo, C., y Ferreira, F. (2011). Distribution of zinc in maize plants as a function of soil and foliar Zn supply. *Journal of Agricultural Science and Soil Science*, 1-5.
- Hanson, E. (2001). Foliar boron sprays do not affect highbush blueberry productivity. *Small fruits review*, 35-41.
- Hernández, C. (2011). Producción de tomate en diferentes granulometrías de “tezontle”. Tesis de Maestría. Colegio de Postgrado “Campus Montecillo”, Mexico.

- Hernández, R., Juárez, A., Pérez, A., Lozano, C., Zermeño, A., y González, J. (2022). Influencia de fertilizantes orgánicos y del silicio sobre la fisiología, el rendimiento y la calidad nutracéutica del cultivo de fresa. *Nova Scientia*, 1-16.
- Herrera, M., González, A., Rexach, J., Camacho, J., Maldonado, J., y Navarro, M. (2010). Role of boron in vascular plants and response mechanisms to boron stress. *Plant Stress*, 115-122.
- Hossain, M., Khatun, K., Haq, E., Ahmed, M., y Shefat-Al-Maruf, F. (2017). Macro and Micro Nutritional Effect on Seed Yield of Onion. *Advances in Research*, 1-9.
- Khan, S., y Kuruwanshi, V. (2015). Foliar nutrition of plants. *Rashtriya Krishi*, 54-55.
- Khatrri, D., Bhattarai, K., Yadav, P., Thapa, P., y Wagle, N. (2022). Effect of foliar spray of zinc and boron on performance of tomato (*Solanum lycopersicum*) cv. manisha under net house condition. *RJOAS*, 252-261.
- Kusumiyati, K., Ahmad, F., Rabnawaz, M., Soleh, M., y Sundari, R. (2023). Productivity of Cherry Tomato Cultivars as Influenced by Watering Capacities and Microclimate Control Designs. *The Open Agriculture Journal*, 1-12.
- Marschner, P. (2012). *Mineral nutrition of higher plants*. Amsterdam: ELSEVIER.
- Masoud, A., El-Zahraa, F., Gouda, M., y Khodair, O. (2019). Effect of Foliar Application of Zinc, Boron and Silicon on Growth and Fruiting of Balady Mandarin Trees . *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 206-218.
- Pandav, A., Nalla, M., Aslam, T., Rana, M., y Bommesh, J. (2016). Effect of Foliar Application of Micronutrients on Growth and Yield Parameters in Eggplant cv HLB 12. *Environment y Ecology* , 1745-1748.
- Peña, R., y Galecio, M. (2019). Efecto del silicio orgánico en el rendimiento de maracuyá (*Passiflora edulis*), cultivada en Somate-Sullana. *ULCB*, 25-37.
- Saadati, S., Moallemi, N., Mortazavi, S., y Seyyednejad, S. (2013). Effects of zinc and boron foliar application on soluble carbohydrate and oil contents of three olive cultivars during fruit ripening. *Elsevier*, 30-34.
- Sainju, U., Dris, R., y Singh, B. (2003). Mineral nutrition of tomato. *Agricultural Research Station*, 176-183.
- Sainz, L. (2019). Efecto comparativo de diferentes formas de Zn, en la biofortificación de tomate cherry (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en condiciones de invernadero. *Universidad de Almería*, págs. 2-14.
- Saleem, Q., y Joody, A. (2019). EFFECT OF SILICON, CALCIUM AND BORON ON APPLE LEAF MINERALS CONTENT. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences* , 296-301.
- Shah, S., Ullah, S., Khan, N., Sajid, M., Rab, A., Amin, N., Iqbal, A., Naeem, A., Iqbal, M., Haq, S., Rahman, S., Shah, F. y Rawan, S. (2016). Effect of zinc as a foliar

- spray on growth and flower production of Marigold (*Tagetes erecta* L.). *Bolan Society for Pure and Applied Biology*, 738-743.
- Shetty, R., Fretté, X., Jensen, B., Shetty, N., Jensen, J., Jørgensen, H., Newman, M. y Christensen, L. (2011). Silicon-Induced Changes in Antifungal Phenolic Acids, Flavonoids, and Key Phenylpropanoid Pathway Genes during the Interaction between Miniature Roses and the Biotrophic Pathogen *Podosphaera pannosa*. *Plant Physiol*, 2194–2205.
- Singh, B., Kasera, S., Mishra, S., Roy, S., Rana, S., y Singh, D. (2017). Growth, yield and quality of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*) as influenced by foliar application of Zinc and Boron. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 911-914.
- Trivedi, A., y Dhumal, K. (2013). Effect of soil and foliar applications of zinc and iron on the yield and quality of onion (*Allium cepa* L.). *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 41-48.
- Zahirul, M., Akter, M. C., y KANG, H. (2018). The effect of silicon and boron foliar application on the quality and shelf life of cherry tomatoes. *Zemdirbyste-Agriculture*, 159-164.
- Zellner, W. (2021). Drastic Differences in Silicon Concentrations between Roots and Leaves of 10 Different *Solanum lycopersicum* L. Varieties. *HORTSCIENCE*, 1-9.
- Zhang, M., Liang, Y., y Chu, G. (2017). Applying silicate fertilizer increases both yield and quality of table grape (*Vitis vinifera* L.) grown on calcareous grey desert soil. *Scientia Horticulturae*, 757-763.