

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL  
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**



**TESIS:**

**Efecto de la aplicación foliar de biosílíce, boro y zinc en el  
rendimiento y calidad de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) bajo  
cubierta. Ayacucho - 2750 m.s.n.m.**

Para optar el título profesional de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

PRESENTADO POR:

**Bach. Carlos Avelino NAJARRO GAMBOA**

ASESORA:

**Ph.D. Marhleni CERDA GOMEZ**

**AYACUCHO - PERÚ**

**2025**

## DEDICATORIA

*A mis padres y hermanos por todo el soporte que recibí desde pequeño, en cada momento y en cada etapa de mi crecimiento.*

*A mis hermanos Adonis, Rosario, Diana, Catalina, Gabriel y Perseo, por darme la mejor infancia a pesar de los obstáculos.*

*A mi mamá, Herminia Gamboa Lizarbe que está a mi lado ahora para ver que se cumplieron las metas por las que tanto luchó.*

*A Leidy Lucero que significa para mí la esperanza y un nuevo comienzo.*

*A mis amigos que formaron parte de mi educación, con los que compartí momentos inolvidables en el colegio y en la universidad.*

*A mis maestros que fortalecieron mis valores y deseos de superación, impartíendome conocimientos y lecciones de vida.*

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga por haberme brindado la oportunidad de formarme profesionalmente.

A la Facultad de Ciencias Agrarias por permitirme estudiar en sus ambientes durante mi permanencia hasta culminar mis estudios.

A la Escuela Profesional de Agronomía y al M. Sc. Fortunato Álvarez por facilitarme el ambiente del invernadero, lugar donde se realizó esta investigación.

A la Ph.D. Marhleri Cerda Gómez, por brindarme su tiempo y asesoramiento durante la realización de la presente investigación.

A todos mis compañeros y amigos quienes me acompañaron durante mis estudios.  
Gracias.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
ÍNDICE GENERAL .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS .....	ix
RESUMEN .....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO I .....	13
MARCO TEÓRICO .....	13
1.1.    Origen de la fresa.....	13
1.2.    Clasificación taxonómica .....	13
1.3.    Descripción y morfología .....	14
1.4.    Composición química.....	14
1.5.    Requerimiento edafoclimático.....	15
1.6.    Enfermedades y desórdenes.....	16
1.6.1.    Moho gris.....	16
1.6.2.    Pudrición de raíz.....	17
1.6.3.    Marchitez por Verticillium .....	17
1.6.4.    Podredumbre negra de la raíz .....	18
1.7.    Rendimiento y requerimiento nutricional.....	18
1.7.1    Rendimiento.....	18
1.7.2.    Requerimiento nutricional .....	19

1.7.3.	Estudios sobre extracción .....	20
1.8.	Fertilización foliar .....	20
1.8.1.	Mecanismos de penetración.....	21
1.8.2.	Disoluciones y sus propiedades.....	21
1.8.3.	Factores ambientales y biológicos.....	22
1.8.4.	Movilidad y transporte de nutrientes.....	22
1.9.	Parámetros físico – químicos del cultivo.....	33
1.9.1.	Acidez titulable (contenido de ácido cítrico).....	34
1.9.2.	Firmeza.....	34
1.9.2.	Sólidos solubles (contenido de azúcares).....	34
CAPÍTULO II.....		35
METODOLOGÍA.....		35
2.1.	Ubicación del experimento.....	35
2.2.	Unidad experimental.....	35
2.3.	Material biológico.....	35
2.4.	Sustrato .....	35
2.5.	Condiciones meteorológicas.....	36
2.6.	Tratamientos y diseño experimental.....	38
2.7.	Instalación y conducción .....	39
2.7.1.	Preparación del sustrato.....	39
2.7.2.	Macetas.....	39

2.7.3.	Riego y control de arvenses.....	39
2.7.4.	Dosis de aplicaciones y abonamiento:.....	39
2.7.5.	Sanidad .....	40
2.7.8.	Duración del trabajo .....	41
2.8.	Parámetros de evaluación .....	41
2.8.1.	Parámetros fisicoquímicos de fresa .....	41
2.9.	Análisis estadístico .....	43
CAPÍTULO III .....		44
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		44
3.1	Parámetros físico – químicos.....	44
3.1.1.	Número de frutos cuajados y retenidos .....	44
3.1.2.	Peso de fruto .....	46
3.1.3.	Diámetro ecuatorial .....	49
3.1.4.	Longitud de frutos .....	50
3.1.5.	Sólidos solubles totales (contenido de azúcares).....	52
3.1.6.	Acidez titulable (contenido de ácido cítrico).....	54
3.1.7.	Materia seca de frutos.....	56
3.1.8.	Firmeza del fruto .....	57
3.1.9.	Rendimiento total de frutos/planta .....	60
CAPÍTULO IV .....		62
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		62
Conclusiones.....		62

Recomendaciones .....	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	64
ANEXOS .....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 .....	14
<i>Distribución de las principales especies e híbridos del género Fragaria.</i> .....	14
Tabla 1.2 .....	14
<i>Componentes aproximados para 100g de fresa cruda.</i> .....	14
Tabla 1.3 .....	20
<i>Producción agropecuaria de fresa 2013 – 2023.</i> .....	19
Tabla 1.4 .....	19
<i>Composición que debe tener los suelos donde se vaya a sembrar fresa.</i> .....	19
Tabla 1.5 .....	20
<i>Extracción de principales elementos nutritivos en fresa (kg·ha<sup>-1</sup>).</i> .....	20
Tabla 1.6 .....	20
<i>Clasificación de nutrientes con respecto a su movilidad en el floema.</i> .....	20
Tabla 2.1 .....	36
<i>Resultados del análisis físico – químico – biológico del sustrato empleado.</i> .....	36
Tabla 2.2 .....	37
<i>Registro de la precipitación (mm) en la provincia de Huamanga.</i> .....	37
Tabla 2.3 .....	37
<i>Registro de la temperatura media mensual (°C) en la provincia de Huamanga.</i> .....	37
Tabla 2.4 .....	39
<i>Descripción de tratamientos.</i> .....	39
Tabla 3.1 .....	44
<i>Análisis de varianza del número de frutos cuajados y retenidos de la fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosílice, boro y zinc.</i> .....	44
Tabla 3.2 .....	45
<i>Prueba Duncan para el número de frutos cuajados y retenidos de la fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosílice, boro y zinc.</i> .....	45

Tabla 3.3. ....	46
<i>Análisis de varianza del peso del fruto de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosílice, boro y zinc. ....</i>	46
Tabla 3.4. ....	47
<i>Prueba Duncan para el peso del fruto (g·fruto<sup>-1</sup>) de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosílice, boro y zinc. ....</i>	47
Tabla 3.5. ....	49
<i>Análisis de varianza del diámetro ecuatorial del fruto de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosílice, boro y zinc. ....</i>	49
Tabla 3.6. ....	49
<i>Prueba Duncan del diámetro ecuatorial del fruto (cm) de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosílice, boro y zinc. ....</i>	49
Tabla 3.7. ....	50
<i>Análisis de varianza de la longitud del fruto de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosílice, boro y zinc. ....</i>	50
Tabla 3.8. ....	51
<i>Prueba Duncan de la longitud del fruto (cm) de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosílice, boro y zinc. ....</i>	51
Tabla 3.9. ....	52
<i>Análisis de varianza de los sólidos solubles del fruto de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosílice, boro y zinc. ....</i>	52
Tabla 3.10. ....	52
<i>Prueba Duncan de los sólidos solubles del fruto (grados brix) de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosílice, boro y zinc. ....</i>	52
Tabla 3.11. ....	54
<i>Análisis de varianza de la acidez titulable del fruto de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosílice, boro y zinc. ....</i>	54
Tabla 3.12. ....	55
<i>Prueba Duncan de la acidez titulable del fruto de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosílice, boro y zinc. ....</i>	55
Tabla 3.13. ....	56
<i>Análisis de varianza de la materia seca del fruto de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosílice, boro y zinc. ....</i>	56

Tabla 3.14. ....	58
<i>Análisis de varianza de la firmeza del fruto de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosílice, boro y zinc. ....</i>	<i>58</i>
Tabla 3.15. ....	58
<i>Prueba Duncan de la firmeza del fruto (<math>\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}</math>) de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosílice, boro y zinc. ....</i>	<i>58</i>
Tabla 3.16. ....	60
<i>Análisis de varianza del rendimiento total por planta de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosílice, boro y zinc. ....</i>	<i>60</i>
Tabla 3.17. ....	60
<i>Prueba Duncan del rendimiento total por planta (<math>\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}</math>) de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosílice, boro y zinc. ....</i>	<i>60</i>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. ....	38
<i>Diagrama ombrotérmico de Huamanga durante el período 2012-2022 ....</i>	<i>38</i>
Figura 3.1. ....	57
<i>Contenido de materia seca (%) del fruto de fresa en los tratamientos estudiados. ....</i>	<i>57</i>

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Registro de parámetros fisicoquímicos evaluados. ....	76
Anexo 2. Registro de datos para el rendimiento y frutos cuajados ....	77
Anexo 3. Gráfico de líneas para todos los parámetros evaluados. ....	78
Anexo 4. Resultado del análisis de caracterización de suelos. ....	81
Anexo 5. Panel fotográfico. ....	82

## RESUMEN

El experimento se instaló en invernadero, ubicado en el campus de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga, a una altitud de 2750 m.s.n.m. Se estudiaron en macetas de 2 kg de capacidad en suelo ligeramente alcalino, en cultivo de fresas, el efecto de aplicar al follaje dos niveles de boro, zinc y silicio, en ocho tratamientos: T1 (0-0-0), T2 (0.025% boro), T3 (0.05% zinc), T4 (0.05% zinc + 0.025% boro), T5 (0.2% sílice), T6 (0.2% sílice + 0.025% boro), T7 (0.2% sílice + 0.05% zinc), T8 (0.025% boro + 0.05% zinc + 0.2% sílice), con cuatro repeticiones, en el diseño completamente randomizado, un total de 32 unidades experimentales. Se hicieron 5 aplicaciones desde el mes de instalado, espaciados cada 20 días, hasta inicio de maduración de frutos. Se evaluaron parámetros de calidad y rendimiento en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) variedad San Andreas. Los resultados muestran que aplicar simultáneamente B, Zn y Si aumentó significativamente el peso, diámetro, longitud de fruto, sólidos solubles (contenido de azúcares), acidez titulable (contenido de ácido cítrico), frutos cuajados por planta, firmeza y rendimiento, sin diferencia en la materia seca del fruto. La aplicación individual del biosílice influyó significativamente en la firmeza del fruto y positivamente en todos los parámetros evaluados. El boro y zinc individualmente tuvieron efectos positivos en la mayoría de los parámetros a excepción de la firmeza del fruto (B), peso y longitud del fruto (Zn). La aplicación del tratamiento completo (0.025% B + 0.05% Zn + 0.2% Biosílice) incrementa significativamente el rendimiento y las características fisicoquímicas del fruto en el peso ( $16.90 \text{ g}\cdot\text{fruto}^{-1}$ ), diámetro ecuatorial (3.29 cm) y longitud del fruto (3.73 cm), sólidos solubles totales (11.28 °Bx [contenido de azúcares]), acidez (1.01% [contenido de ácido cítrico]) y firmeza del fruto ( $0.85 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ ).

**Palabras clave:** fresa, boro, zinc y biosílice foliar.

## INTRODUCCIÓN

La fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) es una fruta roja deliciosa, de sabor delicado, refrescante y atractiva (Sharma, 2002, como se cita en Rashid, 2019). Es buena fuente de compuestos bioactivos que incluyen vitamina C, E, b-caroteno, compuestos fenólicos, folato y potasio, con bajo contenido calórico (Kazemi, 2014). Existe amplia variedad de cultivares adaptadas a condiciones de costa y sierra del país (Olivera, 2012). Sin embargo, la necesidad de continuar explorando y afinando algunos aspectos relacionados a la nutrición mineral del cultivo, es tanto edáfico como foliar. El cultivo resulta exigente en nutrientes debido a su elevado metabolismo. El fruto posee una epidermis delgada y elevada humedad, resultando muy perecible y expuesto al deterioro causado por daño mecánico o por microorganismos (Undurraga y Vargas, 2013). Este aspecto es determinante durante su comercialización, así como la permanencia en anaquel. Consideramos que una adecuada nutrición que contribuya al incremento de la resistencia con nutrientes de relaciones sinérgicas y de aplicación foliar, es una perspectiva interesante a la convencional, evitando la aplicación excesiva de fertilizantes y el óptimo uso por la planta, sin poner en riesgo la calidad de cosecha. Existen elementos que por su función favorecen la constitución de paredes celulares resistentes, producto de la formación de carbohidratos complejos que mejora la resistencia de las frutas. Así el boro y el silicio tienen por objeto contribuir con la formación de complejos que coadyuvan la conformación de paredes celulares (Głazowska, *et al.*, 2018, como se cita en Yan *et al.* 2018) y el zinc, en la integridad estructural y funcional de la membrana biológica (Umair *et al.*, 2020). De otro lado al silicio, se le atribuyen otras funciones como la regulación fisiológica, metabolismo bioquímico y antioxidante en plantas para aliviar estrés abiótico y biótico (Carrasco-Gil *et al.*, 2018); dado que permite la formación de compuestos orgánicos de defensa mediante la alternancia de la expresión génica (Snyder *et al.*, 2007), por lo que adquiere un carácter minucioso como elemento de uso poco extendido en el cultivo de fresa y nuestro medio. Las aplicaciones pueden ser foliares, que algunas veces resultan más efectivas; sin embargo, las dosis deben ser menores y frecuentes, lo que influye en los costos, por ello son complementos importantes (Fernández *et al.*, 2013). Por tales razones se plantearon estudiar las aplicaciones foliares de boro, zinc y biosílice al cultivo

de fresa en condiciones de invernadero y evaluar el efecto en los parámetros fisicoquímicos y rendimiento de frutos, planteando los siguientes objetivos:

### **Objetivo general**

Evaluar el efecto de la aplicación foliar de biosílice, boro y zinc sobre los parámetros fisicoquímicos y rendimiento de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) bajo cubierta.

### **Objetivos específicos**

1. Evaluar el efecto de la aplicación foliar individual de biosílice, boro y zinc sobre los parámetros fisicoquímicos de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) bajo cubierta.
2. Evaluar la influencia de la aplicación foliar de biosílice, boro y zinc sobre el rendimiento de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) bajo cubierta.

## CAPÍTULO I

### MARCO TEÓRICO

#### 1.1. Origen de la fresa

Pritts *et al.* (1998) señalan que el origen exacto de la fresa *Fragaria x ananassa* Duch, no está del todo claro, pero la evidencia indica que se derivó como resultado de la polinización cruzada entre dos especies americanas llevadas a Europa: *Fragaria virginiana* Duch y *Fragaria chiloensis* Linn y gradualmente comenzaron a aparecer cruces de estas dos especies en los jardines europeos, su sabor recordaba un poco a la piña por lo que se hizo conocida como “fresa piña”. En 1766, Antoine Nicholas Duchesne publicó una hipótesis sobre el origen híbrido en base a su experiencia con el cultivo de fresas y conocimiento de las prácticas británicas, finalmente, la “fresa piña” fue nombrada *Fragaria x ananassa* Duch.

#### 1.2. Clasificación taxonómica

La fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) es una especie hortícola originada por el cruce de dos especies octaploides del mismo género ( $2n = 8x = 56$ ) *Fragaria chiloensis* (L.) Duch X *Fragaria virginiana* L (Olivera, 2003).

La fresa cultivada pertenece al género *Fragaria*, dentro de la familia *Rosaceae*, tribu *Rosaceae* o *Potentilleae*. El género *Fragaria*, con un número básico de cromosomas  $x = 7$  (Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca, 2008) incluye 25 especies e híbridos y se distribuye por toda la zona templada del hemisferio Norte (Tabla 1.1) (Bonet, 2010; citado en Correa y Alarcón, 2015).

#### Tabla 1.1

*Distribución de las principales especies e híbridos del género Fragaria.*

Espece	Distribución
<i>Fragaria vesca</i>	A. Norte, N Asia, África N, Europa
<i>Fragaria viridis</i>	Europa, Asia E y C
<i>Fragaria nigerrensis</i>	Sudeste de Asia
<i>Fragaria daltoniana</i>	Himalaya
<i>Fragaria rubicola</i>	Himalaya
<i>Fragaria moupinensis</i>	Tibet, Yunan, China
<i>Fragaria orientalis</i>	Siberia, Manchuria, Mongolia, Corea
<i>Fragaria moschata</i>	Europa N, Rusia, Siberia
<i>Fragaria virginiana</i>	América del Norte
<i>Fragaria chiloensis</i>	Chile S, Costa A. Norte (Alaska-California)
<i>Fragaria ovalis</i>	América del Norte
<i>Fragaria ananassa</i>	Ampliamente distribuida en el Mundo

Fuente: Hancock (2009); como se cita en Correa y Alarcón (2015)

### 1.3. Descripción y morfología

Una planta de fresa está formada por una corona de la que crecen hojas, flores, estolones, coronas secundarias de ramas, racimos de flores y raíces adventicias. Las hojas están dispuestas en espiral, cada una tiene tres folíolos, las estomas están solo en el envés de las hojas (Pritts *et al.*, 1998).

Cada año, las hojas y las raíces aparecen en niveles sucesivamente más altos de la corona. Por lo tanto, la planta tiende a crecer fuera del suelo y desarrolla un contacto pobre entre la raíz y el suelo con la edad (Ellis *et al.*, 2006).

Es cultivada para la producción de sus frutos, los que son altamente apreciados por los consumidores por su delicado sabor, agradable aroma y color rojo intenso (León, 2013; citado en Correa y Alarcón, 2015).

Las flores de la fresa están constituidas por varios cientos de pistilos superpuestos en un receptáculo hipertrofiado (Olivera, 2012) la cual es su parte comestible (Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca, 2008). La fecundación de cada óvulo da lugar a un fruto seco indehiscente denominado aquenio, el crecimiento y coloración del receptáculo carnoso [parte comestible] es estimulado por el desarrollo de los aquenios y da lugar a la infrutescencia de la fresa (Olivera, 2012).

### 1.4. Composición química

**Tabla 1.2***Componentes aproximados para 100g de fresa cruda.*

Denominación	Unidad
Agua	91.1 g
Energía (factores generales de agua)	35 kcal
Energía (factores específicos de agua)	31 kcal
Nitrógeno	0.1 g
Proteína	0.64 g
Lípido total (grasa)	0.22 g
Grasa total (NLEA)	0.17 g
Ceniza	0.41 g
Carbohidratos	Unidad
Hidratos de carbono, por diferencia	7.63 g
Hidratos de carbono, por suma	7.13 g
Fibra, dieta total	1.8 g
Azúcares, NLEA total	5.34 g
Minerales	Unidad
Calcio, Ca	12 mg
Hierro, Fe	0.28 mg
Magnesio, Mg	11.8 mg
Fósforo, P	20 mg
Potasio, K	89 mg
Sodio, K	10 mg
Zinc, Zn	0.18 mg
Cobre, Cu	0.119 mg
Manganeso, Mn	0.28 mg
Selenio, Se	0.4 ug
Vitaminas y otros componentes	Unidad
Vitamina C, ácido ascórbico total	56 mg
Niacina	0.386 mg
Caroteno, beta	7 ug
Luteína + zeaxantina	22 ug
Aminoácidos	Unidad
Ácido aspártico	0.136 g
Ácido glutámico	0.126 g

*Fuente: FoodData Central. U.S. Department of Agriculture (2019)*

### 1.5. Requerimiento edafoclimático

En general, las fresas toleran una amplia gama de tipos y condiciones de suelo (Pritts *et al.*, 1998) desde arenosos hasta franco arcillosos (Ellis *et al.*, 2006). El suelo ideal para la

producción de fresas es un suelo franco arenoso bien drenado, en general, los sitios que producen buenas cosechas de alfalfa tienden a ser buenas para las fresas (Pritts *et al.*, 1998).

No se puede esperar una buena producción sin un drenaje adecuado del suelo durante todo el año. La fresa no puede tolerar el agua estancada, se deben considerar los sistemas de drenaje de losetas si la tierra está mal drenada (Ellis *et al.*, 2006).

La planta de fresa soporta bien valores de pH entre 5,8 y 7,2, con un valor óptimo en torno a 6,5 e incluso menor. Es sensible a la salinidad (daño con más de  $1,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ). Es así como con valores de  $2,5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  su rendimiento se reduce en un 50 % (Soqumich, 2006; Villagrán *et al.*, 2012; INDAP, 2013; citado en Correa y Alarcón, 2015).

Las coronas de fresa se lesionan cuando su temperatura se acerca a los  $-7 \text{ }^\circ\text{C}$ , esto se soluciona utilizando cubiertas o mantillo. Con la selección adecuada de variedades, las fresas se pueden cultivar en cualquier lugar donde la temporada de crecimiento dure al menos cuatro meses. Las altas temperaturas (más de  $32 \text{ }^\circ\text{C}$ ) reducen significativamente la iniciación de los botones florales y el crecimiento de las raíces. Por lo tanto, las fresas que se van a cultivar en un clima cálido primero deben enfriarse en otro lugar para que se produzca una fructificación satisfactoria (Pritts *et al.*, 1998).

## **1.6. Enfermedades y desórdenes**

La resistencia de las plantas es el principal método para combatir la mayoría de las enfermedades. Cuando se planten fresas, se debe dar prioridad a las variedades resistentes. Plantar exclusivamente variedades no resistentes podría provocar la pérdida total de la cosecha (Pritts *et al.*, 1998). Por lo que, al existir una amplia gama de variedades de fresa, se debe optar por cultivar la que mejor se adapte al lugar donde se va a establecer el cultivo, tomando en cuenta las condiciones edafoclimáticas y la presencia de enfermedades. Sin embargo, a continuación, se exponen los principales problemas en las plantaciones de fresa.

### **1.6.1. Moho gris**

Es una de las enfermedades de pudrición de la fruta más graves y comunes de la fresa. Es causado por el hongo *Botrytis cinerea*. Las condiciones favorables son los períodos prolongados de lluvia y nubosidad, durante la floración y cosecha. (Ellis *et al.*, 2006).

El crecimiento abundante de hongos de color marrón grisáceo, esponjoso, en el tejido infectado (pétalos, pedicelos, sépalos y las frutas.) es responsable del nombre de moho gris de la enfermedad. La resistencia no está disponible en la mayoría de los cultivares; por lo tanto, la aplicación de fungicidas durante la floración y el uso de diversas prácticas culturales son métodos de control crucial. (Ellis *et al.*, 2006).

### **1.6.2. Pudrición de raíz**

Es provocada por *Phytophthora fragariae* que pudre la raíz y prevalece en muchos suelos, especialmente en aquellos que retienen agua debido a un drenaje deficiente (Pritts *et al.*, 1998). Una vez que se establece en el campo, el patógeno puede sobrevivir en el suelo hasta 13 años y probablemente mucho más (Ellis *et al.*, 2006).

Muchas variedades comerciales de fresa son susceptibles al patógeno; sin embargo, existen otras que poseen buena resistencia a varias razas del patógeno. El uso de variedades resistentes y la selección de sitios con buen drenaje del suelo son los métodos clave de control (Ellis *et al.*, 2006).

### **1.6.3. Marchitez por *Verticillium***

El marchitamiento es causado por el hongo del suelo *Verticillium dahliae*. Es más favorable cuando el clima es fresco y nublado intercalado con días cálidos y luminosos, cuando la temperatura del suelo es de 21 a 24 °C (Ellis *et al.*, 2006).

Para diagnosticar la enfermedad se busca la presencia de hojas interiores verdes en las plantas marchitas después de que las hojas exteriores hayan muerto, y el historial de cultivos y malezas del campo. El hongo *Verticillium* vive en el tejido vascular de las plantas infectadas y bloquea el flujo de agua, por lo que las plantas se marchitan y mueren. Las estructuras de reposo latentes del hongo se producen dentro de las plantas infectadas y se liberan en el suelo a medida que el tejido de la planta se descompone. Estas estructuras germinan en la primavera cuando entran en contacto con las raíces de las plantas nuevas para causar la ronda de infección de la nueva temporada. (Pritts *et al.*, 1998).

Este hongo puede infectar a casi 300 plantas huéspedes diferentes, incluidas muchas frutas, verduras, árboles, arbustos y flores, así como numerosas malezas y algunos cultivos de campo. Por lo que se recomienda la rotación de cultivos (Ellis *et al.*, 2006). *Chenopodium spp*,

*amaranthus spp* y *solanum spp* son malezas comunes que permiten que el hongo se desarrolle hasta niveles dañinos (Pritts *et al.*, 1998). Una vez que el hongo se establece en el campo o jardín, puede permanecer vivo durante 25 años o más. Sin embargo, varios cultivares tienen resistencia al marchitamiento por *Verticillium* (Ellis *et al.*, 2006).

#### **1.6.4. Podredumbre negra de la raíz**

La pudrición negra de la raíz es el nombre general de varios trastornos de la raíz que producen síntomas similares. Aunque no se conoce la causa exacta de la pudrición negra de la raíz, se cree que uno o más de los siguientes son los responsables: hongos del suelo (*Rhizoctonia*, *Phyium* y *Fusarium*), nematodos, daño invernal, quema de fertilizantes, compactación del suelo, daño por herbicidas, sequía, exceso de sal, exceso de agua (suelos saturados) o pH inadecuado del suelo (Ellis *et al.*, 2006). La pudrición negra de la raíz se caracteriza por plantas atrofiadas, con bajo vigor o en declive cuyas raíces están cubiertas con lesiones negras (Pritts *et al.*, 1998). Una vez que la enfermedad se establece (aparece) en la plantación, poco o nada se puede hacer para controlarla (Ellis *et al.*, 2006).

Algunas variedades de fresa parecen tolerantes a las causas individuales, pero ninguna variedad muestra resistencia o tolerancia a todas las causas. Para ayudar prevenirla se deben elegir sitios de plantación que tienen un mínimo historial reciente de producción de fresas, preferiblemente al menos una rotación de tres años (Pritts *et al.*, 1998).

### **1.7. Rendimiento y requerimiento nutricional**

#### **1.7.1 Rendimiento**

Si en la siembra se usa esquejes de fresa de la campaña anterior se obtiene un rendimiento de 10 hasta 15 t·ha<sup>-1</sup> (según el promedio de los datos de la OIA del Ministerio de Agricultura), mientras que, si se usa material libre de virus se obtiene de 40 a 50 t·ha<sup>-1</sup> (Olivera, 2012).

La fresa se cultiva mayormente en la costa del país, pero últimamente se está difundiendo su cultivo en la sierra. El fruto tiene mayor demanda en el hemisferio Norte, la ventaja que posee Perú es que la producción que ofrece es en contra estación, cuando hay mayor demanda en Europa y Norteamérica (Olivera, 2012).

Según los datos de la Oficina de Información Agraria (OIA) del Ministerio de Agricultura, en el año 2010 en el Perú se sembraron alrededor de 1 200 ha de fresa, con un rendimiento promedio nacional de 17 t ha<sup>-1</sup> y una producción de 19 977 toneladas (Olivera, 2012). Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú (2024), en el año 2023 el Perú alcanzó una producción total de 43 176 toneladas.

**Tabla 1.3**

*Producción agropecuaria de fresa 2013 – 2023.*

Año	Miles de toneladas métricas
2013	30.8
2014	35.0
2015	25.3
2016	25.7
2017	24.7
2018	23.2
2019	28.1
2020	21.6
2021	37.8
2022	45.8
2023	43.2

*Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática (2023)*

### **1.7.2. Requerimiento nutricional**

La planeación de la fertilización depende de los siguientes factores: variedad de la planta, requerimientos de agua y nutrición del cultivo, y análisis fisicoquímico del agua de riego y del suelo (Cámara de Comercio de Bogotá [CCB], 2015).

**Tabla 1.4**

*Composición que debe tener los suelos donde se vaya a sembrar fresa.*

Denominación	Nivel óptimo
pH	5.5 – 6.5
Materia orgánica	4 a 6 %
Nitrógeno asimilable	100 a 200 ppm
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	20 a 30 ppm
Potasio (K <sub>2</sub> O)	120 a 180 ppm
Calcio (Ca)	1000 a 1500 ppm
Magnesio (Mg)	150 a 200 ppm

Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	100 a 200 ppm
Cloruros (Cl)	menos de 20 ppm
Sodio (Na)	menos de 100 ppm
Manganeso (Mn)	4 ppm
Hierro (Fe)	10 ppm
Zinc (Zn)	3 ppm
Boro (B)	2 ppm
Cobre (Cu)	1 ppm

Fuente: Cámara de comercio de Bogotá [CCB], 2015

### 1.7.3. Estudios sobre extracción

Según investigaciones de Avitia *et al.* (2014), el orden de extracción de macro nutrientes es de: Ca > K > Mg > N > P. Además, la extracción nutrimental total, considerando una densidad de población de 8 325 plantas·ha<sup>-1</sup>, en kg·ha<sup>-1</sup> es: 174 de N, 57.2 de P, 237.6 de K, 250.9 de Ca y 185.7 de Mg, cantidades que deben ser repuestas al suelo para mantener su fertilidad.

**Tabla 1.5**

*Extracción de principales elementos nutritivos en fresa (kg·ha<sup>-1</sup>).*

Autor	Nitrógeno (N)	Fósforo (Expresado como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Potasio (Expresado como K <sub>2</sub> O)
Branza ati	150 - 250	90 -180	270 – 400
Verdier	250 - 300	125 - 150	400
López	200	180	250

Fuente: Mora (2013); como se cita en Instituto Tecnológico Superior de Coalcomán (2018)

### 1.8. Fertilización foliar

La aplicación al suelo es el método más común para suministrar nutrientes esenciales a las plantas. Sin embargo, las plantas superiores también pueden absorber nutrientes minerales cuando se aplican como pulverizaciones foliares en concentraciones adecuadas (Fageria *et al.*, 2009). El papel de las células estomáticas en el proceso de absorción foliar ha sido un asunto de interés desde los comienzos del siglo XX. (Schönherr y Bukovac, 1972; citado en Fernández *et al.*, 2013). La fertilización foliar se considera un método de suministro de nutrientes más respetuoso con el medio ambiente, ya que, la pulverización de nutrientes sobre las hojas reduce las cantidades de fertilizantes, lo que determina un manejo más eficiente de fertilizantes y una

mejor absorción por parte de las plantas, al tiempo que evita la lixiviación del suelo (Onofrei *et al.*, 2017; citado en Rodolfi *et al.*, 2021)

### **1.8.1. Mecanismos de penetración**

Los procesos mediante los cuales una solución de nutrientes que se aplica al follaje de un cultivo es asimilada por las plantas incluyen: contacto con la hoja y adsorción a la superficie de la misma, penetración cuticular estomática a través de otras estructuras epidérmicas, absorción celular y penetración en los compartimentos celulares metabólicamente activos en la hoja, y finalmente, en su caso, la translocación y la utilización de los nutrientes absorbidos por la planta (Fernández *et al.*, 2013).

En la pared celular externa de la epidermis vegetal se deposita una sustancia grasa: la cutina, la cual, juntamente con la cera, constituye la cutícula. Esta capa cubre todas las partes del brote, incluso en las partes florales, su espesor varía en las distintas plantas, dependiendo de las condiciones ambientales y otros factores (Chuncho *et al.*, 2013). La diferente polaridad, apolaridad e interacciones por puentes de hidrógeno que pueden ocurrir entre los grupos funcionales y compuestos presentes en la cutícula pueden facilitar o dificultar el proceso de penetración cuticular de compuestos agroquímicos predominantemente polares o apolares (Fernández *et al.*, 2013).

Las estructuras epidérmicas como los estomas, tricomas o lenticelas, presentes en las superficies de hojas y frutos, son permeables a las disoluciones aplicadas a la superficie y pueden desempeñar un papel significativo en cuanto a la absorción de agroquímicos (Fernández *et al.*, 2013). Esta permeabilidad hace posible suministrar nutrientes a los tejidos y órganos de la planta permitiendo sortear los mecanismos de translocación que pueden limitar el suministro de nutrientes a las plantas bajo ciertas condiciones de crecimiento y en relación con los elementos inmóviles (Fernández *et al.*, 2013).

### **1.8.2. Disoluciones y sus propiedades**

Dado que las superficies de las plantas son hidrófobas y rugosas en mayor o menor grado dependiendo de la especie de planta, órgano y las condiciones de crecimiento, las soluciones de agua pura (sin formular) puede que se absorban de forma limitada por el follaje (Fernández *et al.*, 2013). En 1972 se postuló que el agua pura no puede infiltrarse espontáneamente por vía estomática a menos que se añada a la solución un agente tensioactivo

que reduzca la tensión superficial de la disolución por debajo de  $30 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$  (Schönherr y Bukovac, 1972; citado en Fernández *et al.*, 2013).

Para mejorar la tasa de absorción, la retención y retardar la velocidad de secado en las superficies foliares existen una variedad de coadyuvantes como los agentes tensioactivos, sinergizadores, adherentes y humectantes; los cuales, pueden ser aplicados juntamente con los compuestos de elementos minerales para reducir la tensión superficial de la solución y mejorar las propiedades de contacto con las superficies vegetales (Fernández *et al.*, 2013).

### **1.8.3. Factores ambientales y biológicos**

**Factores ambientales.** Las interacciones ambientales de la luz, temperatura y humedad tienen efecto en la energía y los metabolitos necesarios para la absorción, metabolismo y transporte de nutrientes (Fernández *et al.*, 2013). El estado nutricional de la planta, producto de su desarrollo en el medio en el que se estableció; así como, su interacción con su medio biótico y abiótico, tienen efecto en la asimilación de los nutrientes aplicados en la planta (Fernández *et al.*, 2013).

**Factores biológicos.** La edad de las hojas (senescencia), superficie (distribución y densidad de estomas, pelos y tricomas), composición (espesor y composición química de la cutícula) y el estado fisiológico de la hoja comprometen la mojabilidad, retención, disponibilidad, absorción, asimilación y movilización de los nutrientes minerales aplicados en la planta (Fernández *et al.*, 2013). La arquitectura de la planta (estructura, tamaño y distribución de sus órganos) y el estado metabólico (crecimiento y estado fenológico) comprometen la superficie de retención, distribución, absorción y la re-movilización de los nutrientes minerales aplicados en la planta (Fernández *et al.*, 2013).

El medio ambiente afecta todos los aspectos de la fertilización foliar desde las reacciones físicas y químicas de los materiales pulverizados; la arquitectura de la planta; la composición cuticular de la hoja; hasta el destino de los nutrientes una vez que entran a la planta; y, por lo tanto, la eficacia y eficiencia de la fertilización foliar (Fernández *et al.*, 2013). Por tales razones, su entendimiento es esencial para el desarrollo de formulaciones de fertilizantes foliares y su práctica (Fernández *et al.*, 2013).

### **1.8.4. Movilidad y transporte de nutrientes**

La eficacia de las pulverizaciones foliares no sólo depende de la absorción de los nutrientes, sino también del transporte de estos nutrientes a otras partes de la planta como frutos, granos, hojas jóvenes, etc. (Bukovac y Wittwer, 1957; citado en Fernández *et al.*, 2013). La capacidad de un nutriente para entrar, moverse y salir del floema hacia los tejidos; son los factores que determinan la movilidad de un nutriente en el floema (Fernández *et al.*, 2013).

**Tabla 1.6**

*Clasificación de nutrientes con respecto a su movilidad en el floema.*

Móvil	Intermedio o de movilidad condicional	Baja movilidad
Potasio	Sodio	Calcio
Nitrógeno	Hierro	Sílice
Azufre	Zinc	Manganeso
Magnesio	Cobre	Boro (depende de la especie)
Fósforo	Molibdeno	
Boro (depende de la especie)		
Cloro		

*Fuente: Epstein y Bloom (2005); citado en Fernández et al. (2013)*

Cuando las plantas se cultivan con niveles deficientes de nutrientes, más del 90% de los micronutrientes están presentes en estructuras permanentes y en particular en la pared celular; su movilidad tiene un impacto significativo sobre la incidencia, la expresión y la corrección de las deficiencias de éstos (Zhang y Brown, 1999; citado en Fernández *et al.*, 2013).

**Nitrógeno.** Dentro de la atmosfera terrestre el nitrógeno se considera como el más abundante y representa un 78% del volumen total (Pérez, 2017). La mayor cantidad de nitrógeno se localiza en la parte superior del suelo, a un metro inmediatamente bajo la superficie, esto es debido a que las concentraciones del nitrógeno disminuyen fuertemente en relación a la profundidad (Barker & Bryson, 2007).

Las fuentes principales de N en el suelo son el nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y representan las formas en la que son absorbidas por las plantas (Barker & Bryson, 2007). El pH condiciona la absorción de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ , ya que, cuando el pH disminuye, la absorción de estos puede disminuir o aumentar, respectivamente (Rao y Rains, 1976, como se cita en Mengel y Kirkby, 2000). Para que el  $\text{NO}_3^-$  sea utilizado por la planta primero es necesario que se reduzca a  $\text{NH}_4^+$  (Barker & Bryson, 2007), siendo la enzima nitrato reductasa se encarga de convertir el

$\text{NO}_3^-$  en nitrito, luego la enzima nitrito reductasa reduce este nitrito a  $\text{NH}_4^+$  en los cloroplastos; luego, el  $\text{NH}_4^+$  y el ácido glutámico forma glutamina gracias a la enzima glutamina sintetasa, también se puede formar glutamato a partir de glutamina con la intervención de la enzima glutamato sintasa; así, el glutamato formado se moviliza mediante aminotransferasas a un alfa oxiaácido para formar un alfa aminoácido. Los aminoácidos forman proteínas, que luego pueden ser utilizadas para aumentar la superficie fotosintética mediante el crecimiento de hojas (Pérez, 2017). Por lo tanto, una deficiencia de N en la planta causaría un crecimiento defectuoso.

Se reconoce que en el caso de macronutrientes las aplicaciones foliares tienen el objetivo de complementar a la edáfica, ya que, son muy pequeñas las dosis aplicadas cuando se las compara con la fertilización a través del suelo (Salas, 2002).

**Fósforo.** El fósforo, después del nitrógeno, es considerado el segundo macronutriente más limitante en la totalidad de organismos vivos, en donde se incluyen las plantas (Vance *et al.*, 2003). En el suelo, se divide en dos clases principales: orgánico e inorgánico, el primero se encuentran en los fosfolípidos, fosfatos de inositol y ácidos nucleicos (primero deben ser mineralizados para poder ser absorbidos por las plantas), mientras que el segundo se encuentra en formas químicamente definidas y cristalizadas, estructuras amorfas y en la solución del suelo como iones (Pérez, 2017).

Normalmente, las plantas absorben fósforo bajo la forma de  $[\text{H}_2\text{PO}_4]^{-1}$  o  $[\text{HPO}_4]^{-2}$ . Además, bajo condiciones específicas, también puede absorberse bajo la forma de fosfatos orgánicos solubles (Sánchez, 2007). Dentro de la planta, el fosfato es de muy fácil movilidad, pudiendo ser traslocado tanto hacia arriba como hacia abajo (Mengel y Kirkby, 2000). Sus propiedades únicas pueden producir anhídridos y ésteres hidrolizables, los cuales cumplen un papel importante para el almacenamiento y la transferencia de energía durante los procesos bioquímicos (ADP y ATP) (Sánchez, 2007). Es por ello por lo que desempeña importantes funciones que van desde la transferencia de energía, fotosíntesis, transducción de señales, activador enzimático, síntesis y estabilidad de membranas, hasta formar parte de la estructura de ácidos nucleicos y fosfolípidos (Schachtman y Shin, 2007).

**Potasio.** La meteorización de minerales que contienen potasio representa la fuente principal de potasio (Mengel y Kirkby, 2000), estos minerales son los feldespatos potásicos, la microclina y ortoclasa (Pérez, 2017).

El ion  $K^+$  es la forma en que las plantas absorben el potasio del suelo (Mengel, 2007). Se reconoce que el catión más abundante en las plantas es el potasio (Chen *et al.*, 2016). La permeabilidad de las membranas permite que el potasio tenga una muy alta movilidad en las plantas (Mengel y Kirkby, 2000), el papel decisivo para esta movilidad se le atribuye a la diferencia electroquímica entre el medio externo (apoplasto de raíces y hojas) y el citosol (Mengel, 2007).

Dentro de la vacuola se almacena  $K^+$  y no solo representa una reserva, además cumple funciones osmóticas muy importantes (Mengel, 2007). Se conoce al potasio como un elemento relacionado a la calidad del fruto, puesto que participa como activador enzimático, en la fotosíntesis, transporte de floema, síntesis de proteínas, y en otras funciones metabólicas (Wang *et al.*, 2013).

**Calcio.** En el suelo se encuentra calcio en los carbonatos de calcio (calcita y dolomita), fosfatos, feldespatos y anfífiboles (Mengel y Kirkby, 2000). También se encuentra en la apatita, fluorapatita, hidroxiapatita y clorapatita (Pilbeam y Morley, 2007). En la planta es casi inmóvil y es absorbido como  $Ca^{2+}$  (Pérez, 2017).

El calcio cumple una función muy importante dentro de la pared celular manteniendo su integridad, ya que interactúa con funciones carboxílicas del ácido urónico que constituyen las cadenas de polisacáridos de la pectina (Vicente *et al.*, 2007, como se cita en Chen *et al.*, 2011). La pectina es un gel hidratado que contiene poros donde la concentración de calcio es directamente proporcional al tamaño de estos, este gel mantiene moléculas de xiloglucano (XG) en posición entre sí, a su vez, las moléculas XG mantienen unidas las microfibrillas de celulosa dentro de la pared celular, por lo que el calcio brinda resistencia a la pared celular (Pilbeam y Morley, 2007).

**Magnesio.** En los suelos el magnesio está presente en minerales como la biotita, serpentina, olivino y hornablenda, también en la vermiculita, montmorillonita, illita y clorita (Mengel y Kirkby, 2000). Existe competencia con el potasio ( $K^+$ ) y calcio ( $Ca^{2+}$ ), a medida que estos aumentan la disponibilidad de magnesio disminuye (Sun *et al.*, 2013).

Las plantas absorben magnesio en forma de ion  $Mg^{2+}$  (Pérez, 2017), dentro de las plantas el  $Mg^{2+}$  puede ser muy móvil, logrando ser translocado a los ápices y hojas jóvenes desde las hojas maduras (Steucek y Koontz, 1970, como se cita en Mengel y Kirkby, 2000).

El magnesio cumple funciones muy importantes al ser componente de la clorofila, estabilizador estructural de nucleótidos y como cofactor de procesos enzimáticos (desfosforilación, fosforilación e hidrólisis de muchos compuestos) (Merhaut, 2007). Aproximadamente 75% del Mg de las hojas participa en la síntesis de proteínas (White *et al.*, 2009, como se cita en Guo *et al.*, 2016).

**Azufre.** En la corteza terrestre puede encontrarse azufre en forma de sulfuros, sulfatos y azufre elemental (Pérez, 2017). En el suelo, el azufre orgánico se encuentra como sulfatos fenólicos, colinas y lípidos, también se halla unido al carbono en forma de aminoácidos (Mengel y Kirkby, 2000).

El sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) es la forma principal en la que las plantas absorben azufre del suelo (Mengel y Kirkby, 2000), el azufre y el nitrógeno están fuertemente relacionadas en su absorción y asimilación, siendo la relación orgánica adecuada N/S alrededor de 20:1 (Brunold *et al.*, 2003, como se cita en Haneklaus *et al.*, 2007). La capacidad de las plantas para movilizar azufre en forma acrópeta es relativamente pobre, por lo que no es muy móvil en la planta una vez absorbida (Mengel y Kirkby, 2000). Casi todo el  $\text{SO}_4^{2-}$  absorbido por las raíces es reducido a sulfuro para unirse a la cisteína, este  $\alpha$ -aminoácido trabaja como precursor y donante de azufre reducido en la síntesis de la mayor parte de compuestos orgánicos de azufre (Brunold *et al.*, 1990, como se cita en Haneklaus *et al.*, 2007). La formación de enlaces disulfuros entre cadenas de polipéptidos es una de las funciones principales del azufre; además, mediante las ferredoxinas los átomos de azufre y hierro se vinculan, para luego unirse a la cadena proteica por medio de los átomos de azufre en la cisteína (Mengel y Kirkby, 2000).

**Hierro.** En el suelo el de hierro disponible en las arcillas, minerales e hidróxidos como  $\text{Fe}^{2+}$  y la mayor parte se encuentra insoluble no disponible para las plantas como  $\text{Fe}^{3+}$  (Pritts *et al.*, 1998). Su disponibilidad es altamente dependiente del pH, que, al incrementarse, la actividad del  $\text{Fe}^{3+}$  se reduce (Mengel y Kirkby, 2000).

El  $\text{Fe}^{3+}$  se reduce a  $\text{Fe}^{2+}$  cuando el suelo se encuentra en condiciones anaeróbicas (Römheld y Nikolic, 2007), con ello se aumenta la solubilidad del Fe (Mengel y Kirkby, 2000), pero cuando se drena el  $\text{Fe}^{2+}$  se vuelve a oxidar a  $\text{Fe}^{3+}$  (Römheld y Nikolic, 2007).

En las plantas el hierro no es muy móvil (Mengel y Kirkby, 2000) y se almacena en las hojas como ferritina luego de transformarse a  $\text{Fe}^{3+}$  y transferirse con ácido cítrico en forma

quelatada (Piaggese, 2004). El hierro forma parte de dos grupos de proteínas principales las hemo y hierro-azufre, al incorporarse a ellas adquiere una función esencial (Bienfait y Van Der Mark, 1983, como se cita en Römheld y Nikolic, 2014); las primeras contienen un complejo hierro-porfirina presente en los citocromos como un grupo protésico (Römheld y Nikolic, 2007), la segunda tiene un gran potencial redox negativo para transferir electrones en las reacciones de la fotosíntesis, para la enzima reductasa y participa en la reducción del nitrito en acción con la enzima nitrito reductasa (Römheld y Nikolic, 2007). Además, se encuentran sistemas enzimáticos hemo como la peroxidasa, citocromo oxidasa y catalasa (Mengel y Kirkby, 2000), la catalasa participa en las reacciones de fotorrespiración, en la vía de glicolato y contribuye en la protección de cloroplastos de radicales libres formados mediante división de H<sub>2</sub>O en la fotosíntesis (Römheld y Nikolic, 2007), la peroxidasa participa en la polimerización de fenoles para formar lignina y su actividad se ve reducida en las raíces en condiciones de déficit de hierro (Mengel y Kirkby, 2000).

**Manganeso.** Se encuentra manganeso en una variedad de rocas primarias y en los minerales ferromagnésicos particularmente (Mengel y Kirkby, 2000), la principal fuente es la pirolusita (MnO<sub>2</sub>), también se encuentra en óxido de manganeso III (Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), tetra óxido de trimanganeso (Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) y en el carbonato (Humphries *et al*, 2007).

En el suelo se encuentra como ion intercambiable Mn<sup>2+</sup> o Mn<sup>3+</sup>, en estos estados se pueden formar complejos metálicos a través de quelatos, exudados de raíces, materia orgánica y residuos de plantas para aumentar su solubilidad y poder ser absorbidos (Humphries *et al.*, 2007).

El manganeso no se transfiere de las hojas más viejas a las hojas jóvenes deficientes en manganeso debido a que tiene muy poca movilidad dentro de la planta (Khoshru, 2023). Los síntomas de su deficiencia se dan como clorosis inter nerval y pequeñas manchas cloróticas que se van haciendo confluentes (Piaggese, 2004,).

Su acción principal es la de activador enzimático de transferasas, deshidrogenasas, hidroxilasas y descarboxilasas presentes en la respiración, síntesis de lignina, aminoácidos y en la carga hormonal (Alejandro, 2020). Sin embargo, en algunos casos puede ser sustituido por un ion metálico diferente como es el caso del magnesio (Humphries *et al*, 2007).

**Cobre.** El cobre es de los metales más antiguos conocidos por el hombre (Kopsell y Kopsell, 2007). En el suelo, el cobre se encuentra casi únicamente en su forma bivalente ( $\text{Cu}^{2+}$ ) (Mengel y Kirkby, 2000) y, en contraste con otros cationes, se encuentra adherido fuertemente a sitios inorgánicos de intercambio (Grimme, 1968, como se cita en Mengel y Kirkby, 2000); esta característica hace que sea muy inmóvil y además para las plantas esta forma intercambiable no es disponible rápidamente (Mengel y Kirkby, 2000).

En las plantas, el cobre se absorbe como  $\text{Cu}^{2+}$  (ion bivalente) (Piaggese, 2004), entre los elementos esenciales, su tasa de absorción se encuentra entre las más bajas y una vez dentro se mantiene escasamente inmóvil (Kopsell y Kopsell, 2007), en la materia seca se encuentra generalmente entre 2 y 20 ppm (Mengel y Kirkby, 2000).

El cobre tiene la propiedad de activar muchas enzimas con diversas funciones (Piaggese, 2004), debido a que es capaz de transferir electrones en enzimas y proteínas que en su estructura contienen cobre, durante su ciclo de óxido-reducción entre sus estados  $\text{Cu}$  y  $\text{Cu}^{2+}$  (Harrison *et al.*, 1999).

**Níquel.** En relación con el tipo de suelo y su pH, el níquel puede ser muy móvil en el suelo y la lluvia ácida puede movilizarlo aún más (Brown, 2007). Sin embargo, no se puede descartar la posibilidad de que existan suelos que sean deficientes en níquel, más aún cuando la pureza de fertilizantes se sigue mejorando (Brown, 2007).

El níquel se absorbe por las plantas como catión divalente  $\text{Ni}^{2+}$  (Pérez, 2017), y su requerimiento es el más bajo en contraste con los otros elementos esenciales (Brown, 2007).

El níquel también cumple una función de activador de la ureasa que requiere unirse con dos átomos de Ni (Rodríguez-Jiménez *et al.*, 2016), se reconoce que la ureasa es necesaria para que los fertilizantes que contienen urea puedan ser accesibles para las plantas (Witte *et al.*, 2002), esta enzima cataliza la hidrólisis de la urea en  $\text{CO}_2$  y  $\text{NH}_3$ ; en ausencia de níquel, incrementa la concentración de urea y adquiere el comportamiento de compuesto tóxico, los síntomas se manifiestan como necrosis en las puntas de los folíolos (Rodríguez-Jiménez *et al.*, 2016). En contraste, la toxicidad por exceso de níquel produce clorosis en las hojas y necrosis que avanza hasta la muerte de la planta (Brown, 2007).

**Molibdeno.** En los suelos la molibdenita ( $\text{MoS}_2$ ) es la fuente de molibdeno principal, luego se encuentra la wulfenita ( $\text{PbMoO}_4$ ), powellita ( $\text{CaMoO}_4$ ) y ferrimolibdita ( $\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$ )

· 8H<sub>2</sub>O) que también contribuyen al contenido de molibdeno (Hamlin, 2007). El ion molibdato (MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) es la forma en las plantas absorben el molibdeno, es por ello que es posible alterar el pH del suelo para manipular la absorción de molibdeno (Hamlin, 2007).

En contraste con otros microelementos, los suelos alcalinos el molibdeno es más fácilmente asimilable por las plantas que suelos ácidos o arenosos (Piaggese, 2004), esta característica peculiar, hace que el comportamiento de molibdato en el suelo se asemeje más a un fosfato y/o sulfato (Mengel y Kirkby, 2000). En el suelo la absorción de molibdeno puede ser estimulada por el fósforo, ya que se forma un complejo fosfomolibdato, el cual es de fácil absorción por las plantas (Rana *et al.* 2020, como se cita en Li *et al.*, 2022). La relación del sulfato sobre el molibdato en el suelo está relacionado a la competencia entre MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> que se genera durante su absorción por las raíces (Hamlin, 2007). Por estas razones se puede decir que el fósforo soluble aumenta la absorción de molibdeno y la presencia de azufre disponible la disminuye.

En las plantas, la movilidad del molibdeno es moderada (Mengel y Kirkby, 2000). El molibdeno es un importante componente de enzimas, sobre todo las involucradas con el metabolismo del nitrógeno; entre ellas se encuentran las nitrogenasas, nitrato reductasas, xantina deshidrogenasas y aldehído oxidasas (Hamlin, 2007). La enzima nitrogenasa se encarga de catalizar la reducción de nitrógeno molecular (N<sub>2</sub>) a amoníaco (NH<sub>3</sub>) (Mishra *et al.*, 1999, como se cita en Hamlin, 2007). La enzima nitrato reductasa cataliza la reducción del nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) a nitrato (HNO<sub>3</sub>) (Mengel y Kirkby, 2000). Es por esto que se atribuye al molibdeno funciones muy importantes para la formación de aminoácidos y proteínas (Piaggese, 2004).

**Silicio.** Etimológicamente el Silicio (Si) proviene del latín *silix*, corresponde al segundo elemento más abundante en la corteza terrestre con 27.7%. (Rebault, 2004, como se cita en Palacios, 2012). Las plantas lo absorben como ácido silícico [Si (OH)<sub>4</sub>] (Hernández, 2014). Es un elemento químico no metálico, que pertenece a la familia del carbono, grupo IV de la tabla periódica; la sílice pura es un sólido duro, gris oscuro con un brillo metálico y con estructura cristalina (Pérez, 2017).

La captación de silicio por las plantas vasculares es un proceso muy complejo caracterizado por la selectividad del transporte y la acumulación de Si en tejidos específicos; esto puede diferir tanto entre especies como dentro de cada especie de planta (Pontigo *et al.*, 2015).

La capacidad de las plantas de acumular de Silicio en su estructura va desde 0,1 a 10,0% de Si (peso seco) (Epstein, 1999; citado en Hernández, 2014). Su deficiencia ahora se reconoce como un factor limitante, especialmente para las plantas que tienden a acumularlo más (Hernández, 2014). En la planta, el ácido silícico se transporta desde las células corticales hasta la estela, posteriormente, el silicio se libera en la xilema y se transloca a través de la corriente de transpiración a los brotes, aquí se concentra durante la pérdida de agua asociada con el proceso de transpiración y se transforma en sílice amorfa ( $\text{SiO}_2 - n\text{H}_2\text{O}$ ) por polimerización de Si (Ma y Yamaji, 2006; citado en Pontigo *et al.*, 2015). En consecuencia, la sílice amorfa se acumula principalmente en la pared celular de hojas, tallos y cáscaras (Prychid *et al.*, 2004; citado en Pontigo *et al.*, 2015); se ha sugerido en diversas investigaciones que esta capa mineralizada sub cuticular disminuye la transpiración epidérmica (Markovich *et al.*, 2017). La sílice también se puede depositar en células de raíces, tubérculos e inflorescencias de una variedad de especies de plantas (Hodson y Sangster 1988; citado en Pontigo *et al.*, 2015).

Dentro de la planta, el ácido silícico al igual que el bórico, reacciona con los o-fenoles tales como el ácido cafeico, un precursor en la biosíntesis de lignina, para formar complejos: mono, di, o poliméricos de Si. Por lo tanto, es posible que el Si afecte la síntesis de la lignina. (Weiss e Herzog, 1978; citado en Mengel y Kirkby, 2000). Esta posible relación entre el Si y la síntesis de lignina obviamente es de importancia desde un punto de vista estructural, así como indica una función bioquímica para el elemento (Mengel y Kirkby, 2000).

Estudios recientes sugieren que la suplementación de Si equilibra el metabolismo de poliaminas y etileno para mitigar el estrés abiótico (Manivannan y Ahn, 2017). Las poliaminas, por su carácter policationico (cargadas positivamente), pueden unirse y formar complejos con moléculas polianiónicas (cargadas negativamente), tales como algunas proteínas, los fosfolípidos, las pectinas, el ADN y el ARN, entre otras (Galston 1983; Galston y Kaur-Shawney 1987; citado en Mendoza y Rocha, 2002). Por lo tanto, la regulación de los genes de biosíntesis de poliaminas por Si pudiese ayudar a mejorar los procesos fundamentales en las células bajo estrés, además de aumentar el crecimiento y el desarrollo de las plantas (Manivannan y Ahn, 2017).

El uso de aplicaciones foliares con compuestos de silicio es relativamente nuevo. Inicialmente (en 1990) se utilizaron aplicaciones foliares con silicatos. En 2003, se introdujo

las aplicaciones foliares con ácido silícico (estabilizado) y recientemente también se han aplicado aerosoles foliares con nanopartículas de sílice (Henk, 2018).

**Boro.** El boro es absorbido por las plantas en forma de iones borato (Gorbea, 2010; citado en Acosta, 2013). No es un componente de las enzimas y sus efectos sobre el metabolismo de las plantas aún son objeto de estudio, esto se debe a que la mayoría de los estudios se enfocan en conocer los efectos de su deficiencia y lo que sucede cuando se suministra boro (Clavijo, 2001).

Es un elemento único en el que la movilidad del B en el floema es fuertemente dependiente de la especie vegetal (Brown y Shelp, 1997; Brown y Bassil, 2011; citado en Fernández *et al.*, 2013). En la mayoría de las especies, en gran medida el B se transporta por la xilema y muestra una marcada inmovilidad una vez que se deposita en la hoja. Se sugiere que esta inmovilidad es ya sea la consecuencia de la incompatibilidad del B con el floema o por quedar atrapado por un poluto (Shelp, 1997; citado en Fernández *et al.*, 2013).

La deficiencia de boro se asocia a alteraciones morfológicas. Es probable que las interacciones entre boro, AIA y la diferenciación de tejidos sean una consecuencia de los efectos causados por el boro sobre el metabolismo de fenoles (Alarcón, 2001); la deficiencia de boro induce la acumulación de fenoles que inhiben la elongación de la raíz, y que al ser activados por la luz producen radicales superóxidos que pueden dañar las membranas (Alegría, 2016). Ciertos fenoles también inducen cambios morfológicos similares a niveles anormales de AIA, que provoca una clara inhibición del crecimiento (Alarcón, 2001).

En estudios realizados con meristemas de ápices radicales, se ha encontrado que la síntesis de ADN y de la división celular cesan, sin afectar el alargamiento celular, produciendo hinchamiento del ápice de la raíz (Pérez, 2017).

La alteración en la síntesis de ARN puede deberse a la esencialidad del boro en la síntesis de bases nitrogenadas como el uracilo. De esta forma, los ribosomas no se pueden formar y, en consecuencia, la síntesis de proteínas es afectada adversamente. Este proceso es fundamental en los tejidos meristemáticos radicales, que cesan su división celular, apareciendo las raíces más cortas y abollonadas (Alarcón, 2001). El uracilo, es precursor de la UDPG (uridin-glucosa-difosfato), que es una coenzima esencial en la formación de sacarosa, principal

forma de transporte de los azúcares. Si se inhibe su síntesis, se ve afectada la translocación de los asimilados formados en las hojas (Alarcón, 2001).

El boro participa en el metabolismo de los carbohidratos y facilita el transporte de azúcares formando un complejo permeable boro-azúcar aumentando la permeabilidad de la membrana celular (Pérez, 2017), lo que mejora la distribución de los glúcidos en la planta. El boro participa en la formación de complejos con estructuras polihidroxílicos con configuraciones cis-dioles los cuales al reaccionar con el ácido bórico producen mono y diésteres estables (Clavijo, 2001); se puede observar que las paredes celulares presentan los más altos contenidos en boro (hasta el 50% del boro total de las plantas), principalmente complejo bajo la configuración cis-diol (Alarcón, 2001).

La carencia de boro puede conducir a la formación de calosa, compuesto cercano a la celulosa, que puede obturar los tubos cribosos, afectando el transporte por el floema (Alarcón, 2001). El boro participa en la desactivación fisiológica de la calosa mediante la formación de borato de calosa en la interfaz del tubo polínico con el estilo; esto hace que la intervención del boro en la germinación del polen y en el crecimiento del tubo polínico sea particularmente imprescindible para la producción de frutos (Lewis, 1980; citado en Kirkby y Römheld, 2007).

La insuficiencia de boro activa fuertemente la acción de la enzima IAA-Oxidasa que destruye las auxinas necesarias para el crecimiento del tubo polínico; por lo que, para que haya una buena floración y cuaje del fruto, debe haber una adecuada dotación de fitohormonas, especialmente auxinas tanto en el grano de polen como en el estigma de la flor (Callegas *et al.*, 2004; citado en Compo-Expert, 2021).

**Zinc.** El zinc es absorbido por la planta como catión divalente ( $Zn^{2+}$ ) o quelato vía radical o foliar (Alegría, 2016). En las plantas, el  $Zn^{2+}$  no es oxidado ni reducido y actúa como componente metálico de enzimas o como cofactor (Clavijo, 2001).

El zinc en la planta es esencial debido a su participación en la síntesis de triptófano, ácido indol acético, metabolismo del almidón, actúa como cofactor de enzimas, metabolismo de ácidos nucleicos y biosíntesis de proteínas (Swietlik, 1999; citado en Masoud, *et al.*, 2019).

El zinc es constituyente de la enzima anhidrasa carbónica, que cataliza la formación de ácido carbónico a partir de  $CO_2$  y agua. Esta enzima está localizada tanto en los cloroplastos

como en el citoplasma (Alegría, 2016) y ayuda a elevar la concentración de CO<sub>2</sub> facilitando su transferencia al cloroplasto, para aumentar la tasa de carboxilación de la enzima RuBisCO (ribulosa 1,5-difosfato carboxilasa), esta enzima participa en el ciclo de Calvin e incorpora CO<sub>2</sub> en carbohidratos durante la fotosíntesis (Escudero *et al.*, 2012).

Alegría (2016), menciona que otra función importante del zinc, es ser parte del aminoácido triptófano, precursor de las auxinas que, entre otras funciones, promueven el crecimiento principalmente por aumento de la expansión celular. El mismo autor señala que el triptófano es el principal precursor del ácido indolacético (AIA) que se sintetiza principalmente en las yemas y luego se transporta polarmente hacia la raíz, estimulando el crecimiento de raíces secundarias.

Al tener un rol esencial sobre la formación de auxinas (fitohormonas que actúan sobre la elongación celular), el Zinc también estaría involucrado en la germinación del polen y crecimiento del tubo polínico al modificar niveles de esta fitohormona en la flor (Callegas *et al.*, 2004; citado en Compo-Expert, 2021).

El zinc se incluye como cofactor de la enzima ARN polimerasa, en deficiencia de zinc se produce actividad más baja de la enzima y una mayor degradación del ARN, lo cual se traduce en una disminución de la síntesis de proteínas, esto resulta en un consumo más bajo de carbohidratos lo que conduce a una disminución de la fotosíntesis y propicia una mayor producción de radicales de oxígeno (Kirkby y Römheld, 2007).

El Zn controla la generación de radicales tóxicos de O<sub>2</sub> al interferir en la oxidación del NADPH, y participa en la remoción de radicales de O<sub>2</sub> por su rol en la enzima superóxido dismutasa (Cu-Zn-SOD). Al existir deficiencia de Zn, la generación de O<sub>2</sub><sup>-</sup> aumenta, estos rompen los dobles enlaces de los ácidos grasos poliinsaturados y los fosfolípidos de las membranas, lo que lleva a una pérdida de azúcares, aminoácidos y potasio (K) (Kirkby y Römheld, 2007).

### **1.9. Parámetros físico – químicos del cultivo**

El análisis fisicoquímico de los alimentos es primordial en el aseguramiento de la calidad, ya que ayuda a determinar el valor nutricional y controlar el cumplimiento de ciertos

parámetros, además del estudio de adulteraciones, irregularidades, contaminaciones, en alimentos frescos (Millán y Ciro, 2012; citado en Cazar, 2016).

#### ***1.9.1. Acidez titulable (Contenido de ácido cítrico)***

Se refiere al punto al cual el número de equivalentes del valorante es igual al de la sustancia titulada se define como el punto de equivalencia y es en éste en el que se producirá un cambio brusco de pH visualmente perceptible (Muñoz y Vega, 2014; citado en Cazar, 2016).

#### ***1.9.2. Firmeza***

La firmeza es una percepción humana que surge de la interacción con el alimento al momento de su manipulación o ingesta. Se considera como la fuerza que se necesita para romper los tejidos carnosos, mide la resistencia a daños físicos que suceden durante la manipulación, recolección y transporte (Cazar, 2016).

#### ***1.9.2. Sólidos solubles totales (contenido de azúcares)***

Se determina mediante la medida de grados Brix, estos comprueban el contenido de sacarosa (azúcar) disuelta en un líquido, siendo un grado Brix el índice de refracción que da una disolución del 1% de sacarosa (Gil, 2010; citado en Cazar, 2016).

## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA**

#### **2.1. Ubicación del experimento**

El trabajo de investigación se instaló en la ciudad universitaria, en ambiente cercano a la Escuela Profesional de Agronomía (Pampa del Arco), distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga. Cuyas coordenadas geográficas son:

- Latitud: 13° 08' 43" S
- Longitud: 74° 13' 21" W
- Altitud: 2750 m.s.n.m.

#### **2.2. Unidad experimental**

Se usaron bolsas de polietileno de baja densidad cuyas dimensiones son 23 cm de ancho por 40 cm de largo, con fuelles laterales de 10 cm. Cada bolsa de polietileno contuvo 2 kg de tierra y con una planta de fresa por bolsa. Siendo 8 tratamientos (incluyendo al testigo) con 4 repeticiones, haciendo un total de 32 unidades experimentales.

#### **2.3. Material biológico**

Se empleó el cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) de la variedad San Andreas. Mediante la reproducción por esquejes. Los esquejes proceden de campos de cultivo de fresa ubicados en el distrito de Chiara, aclimatados a condiciones de la sierra del Perú.

#### **2.4. Sustrato**

Para el sustrato utilizado se mezcló tierra agrícola, musgo serrano y humus de lombriz, en una proporción de 7:2:1, la mezcla fue analizada en un laboratorio especializado de suelos, en la ciudad de Ayacucho (anexo 4), con el fin de conocer las características del sustrato.

**Tabla 2.1.**

*Resultados del análisis físico – químico – biológico del sustrato empleado.*

Componente	Valor	Unidad	Método De Análisis	Interpretación
pH	7,67	-	Potenciómetro	Ligeramente alcalino
CE	2,89	(dS·m <sup>-1</sup> )	Conductímetro	Suelo libre de excesos de sales y sodio
Carbonatos	2,75	%	Volumétrico	Medio
N-total	0,11	%	Semi-micro Kjeldhal	Medio
M.O.	2,16	%	Walkley y Black	Medio
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	145	Ppm	Olsen modificado	Muy alto
Kdisp	850	Ppm	Morgan y Peech	Muy alto
Ar	58	%	Bouyoucos	
Limo	21	%		
Arcilla	21	%		
Clase Text	Fr.Ar.A.	-		Moderadamente fina
CIC	27,57	meq·100g <sup>-1</sup>	Extracción con acetato de amonio	Alto
Ca	18,21	meq·100g <sup>-1</sup>		Alto
Mg	4,38	meq·100g <sup>-1</sup>		Alto
K	3,89	meq·100g <sup>-1</sup>		Muy Alto
Na	1,09	meq·100g <sup>-1</sup>		Alto
Al+H	0	-	Extracción con cloruro de potasio (KCl)	-
%SB	100	%	-	Suelo saturado de bases
Ca/Mg	4,16	-	-	El magnesio mayor que calcio
Ca/K	4,68	-	-	El potasio mayor que el calcio
Mg/K	0,89	-	-	El potasio mayor que el magnesio

*Fuente: Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y abonos AGROLAB.*

## 2.5. Condiciones meteorológicas

El experimento se realizó bajo cubierta en un invernadero protegido con malla raschel. Los datos históricos tanto de la precipitación como la temperatura media (2012 - 2022) en la provincia de Huamanga se muestran a en las tablas 2.2 y 2.3. Además, se muestra un diagrama ombrotérmico de Huamanga durante el período 2012 – 2022 en la figura 2.1, obtenido con los mismos datos de temperatura media y precipitación.

Estación : INIA  
 Distrito : Andrés Avelino Cáceres Dorregaray  
 Provincia : Huamanga  
 Departamento : Ayacucho  
 Altitud : 2735 m.s.n.m.  
 Latitud : 13° 10' 07.55" S  
 Longitud : 74° 12' 14.06" O

**Tabla 2.2.**

*Registro de la precipitación (mm) en la provincia de Huamanga.*

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2012	53,1	153,9	110,7	74,3	2,4	10,7	2,4	2,1	28,7	27,2	54,7	152,7
2013	99,4	108,8	70,6	13,9	19,3	2,8	8,4	34,5	14,9	51,7	60,1	127,7
2014	138,8	164,0	126,9	23,8	11,0	0,7	5,2	0,9	24,5	22,6	76,4	98,7
2015	62,8	61,3	74,5	27,4	5,6	0,0	6,6	8,1	6,7	75,9	21,3	161,7
2016	31,4	152,9	33,3	30,7	11,5	4,8	4,0	3,5	8,4	34,7	26,6	52,6
2017	111,5	125,5	104,6	46,3	15,8	0,0	11,8	7,5	12,6	43,8	44,8	70,5
2018	110,2	120,2	60,2	45,2	15,2	5,0	4,0	3,5	40,8	22,6	36,7	54,9
2019	106,3	116,8	62,8	11,7	5,6	2,8	8,4	34,5	14,9	51,7	60,1	127,7
2020	56,7	60,8	63,6	15,7	13,5	0,0	2,0	0,0	7,9	0,0	33,0	54,4
2021	88,8	82,9	98,9	137,7	11,8	1,4	3,4	3,4	1,6	24,3	37,0	32,2
2022	107,6	97,3	120,5	37,2	1,7	3,8	1,1	7,4	13,3	0,9	29,7	73,0

Fuente: Estación Meteorológica Huamanga – INIA.

**Tabla 2.3.**

*Registro de la temperatura media mensual (°C) en la provincia de Huamanga.*

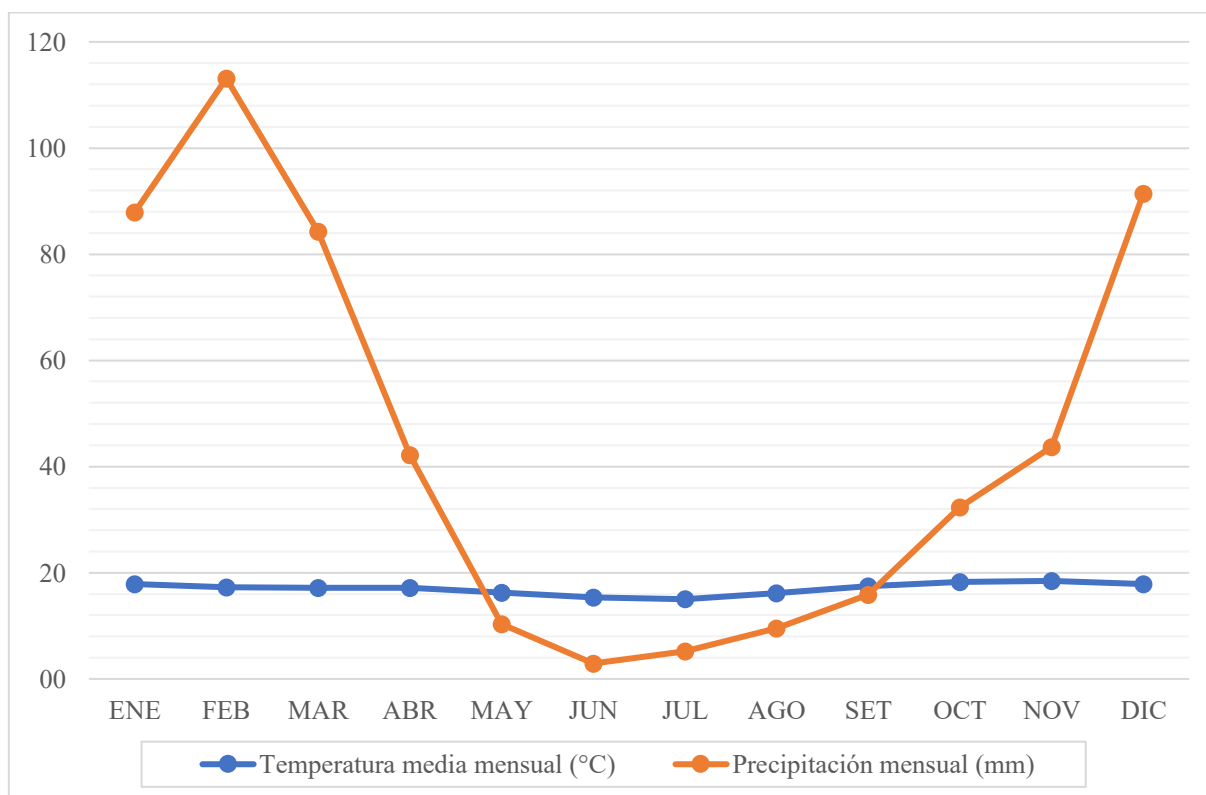
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

2012	17,1	16,5	16,1	17,1	16,1	15,2	15,1	15,5	16,6	18,3	18,6	16,9
2013	17,3	17,4	17,6	17,6	16,5	15,9	14,8	15,9	17,4	17,8	18,4	17,0
2014	17,1	17,9	18,2	17,9	16,6	14,3	14,0	15,2	17,1	17,8	17,9	17,8
2015	17,6	16,4	15,9	16,5	16,3	15,4	15,4	16,2	17,0	17,4	17,9	16,9
2016	19,2	18,1	18,1	18,4	15,5	15,1	15,5	15,8	18,1	18,3	18,9	18,4
2017	17,2	17,0	16,4	17,0	16,8	16,4	15,2	17,1	18,0	18,0	18,0	17,7
2018	16,7	16,8	16,8	15,8	15,8	15,3	15,5	15,8	17,2	18,7	19,1	18,8
2019	20,7	16,6	17,4	18,1	16,1	15,1	14,7	16,4	16,9	18,2	18,3	18,1
2020	17,7	18,0	17,8	17,5	16,8	14,3	13,8	15,8	17,5	19,0	18,7	17,8
2021	17,6	17,5	17,1	16,7	16,0	16,2	15,6	17,1	17,7	19,1	18,4	18,4
2022	17,5	17,1	16,8	16,5	16,1	15,4	15,8	16,7	18,2	19,1	19,2	18,1

Fuente: Estación Meteorológica Huamanga – INIA

**Figura 2.1.**

*Diagrama ombrotérmico de Huamanga durante el período 2012-2022*



## 2.6. Tratamientos y diseño experimental

El experimento se instaló con ocho tratamientos, siguiendo un diseño completamente randomizado (DCR) con arreglo factorial de tres factores  $2A \times 2B \times 2C$ , con cuatro repeticiones, haciendo un total de 32 unidades experimentales.

**Tabla 2.4.**

*Descripción de tratamientos.*

<b>Tratamiento</b>	<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
T1	T	Testigo
T2	B	boro
T3	Zn	zinc
T4	Zn + B	zinc + boro
T5	Si	silicio
T6	Si + B	biosílice + boro
T7	Si + Zn	biosílice + zinc
T8	B + Zn + Si	boro + zinc + biosílice

## **2.7. Instalación y conducción**

### **2.7.1. Preparación del sustrato**

La elaboración del sustrato consistió en mezclar humus de lombriz, musgo serrano y suelo de la zona de Pampa del Arco, en proporción 7:2:1, la misma que fue empleada en cada una de las macetas.

### **2.7.2. Macetas**

Las macetas de polietileno (23 cm x 40 cm) de baja densidad con fuelle (10 cm) en los laterales, de 2 kg de capacidad, en la cual se dispuso el sustrato, para albergar cada planta de fresa.

### **2.7.3. Riego y control de arvenses**

El riego y control de arvenses durante la conducción de experimento se realizó de manera manual, controlando que las macetas se mantuvieran a capacidad de campo y las arvenses fueron retiradas en cuanto fueron detectadas para evitar su crecimiento, de forma que no afectasen a las plantas de fresa ni al sustrato al ser extraídas.

### **2.7.4. Dosis de aplicaciones y abonamiento:**

Las dosis por elemento fueron: 0.025% de boro, 0.005% de zinc y 0.20% de biosílice, cuyas fuentes fueron ácido bórico  $H_3BO_3$  (17% B), sulfato de zinc  $SO_4Zn$  (16% Zn) y diatomita

(90% sílice biogénico o biosílice), respectivamente. Estas aplicaciones se realizaron durante el crecimiento del cultivo hasta el inicio de la floración.

Además, se realizaron abonamientos en 5 oportunidades con nitrógeno (diluyendo 138.6 g de sulfato de amonio en 350 ml de agua) y hierro (sulfuro de hierro diluido). Ambas aplicaciones se realizaron durante las etapas de crecimiento vegetativo y fructificación.

#### **2.7.5. Sanidad**

Para el control fitosanitario se utilizaron productos orgánicos de manera preventiva y de control, como el extracto de ajo para prevenir y controlar áfidos y cochinillas e infusiones con canela para la aparición de hongos. Gracias a estas aplicaciones preventivas, no se encontraron plagas ni enfermedades en las plantas.

#### **2.7.6. Ciclo del cultivo**

El desarrollo de la fresa se divide en dos etapas, una vegetativa y otra productiva. Durante la etapa vegetativa desde la siembra se observa el crecimiento de los primeros brotes, desarrollo de las hojas, formación de estolones, crecimiento de órganos florales y posterior floración. Durante la etapa productiva se observa la formación de frutos, maduración, senescencia y finaliza en el reposo vegetativo. Resultando en un ciclo total de aproximadamente 5 meses (Instituto Tecnológico Superior de Coalcomán, 2018).

#### **2.7.7. Cultivo en contenedores**

Según indica Jackson y Williamson (2004), El cultivo en contenedores otorga ventajas debido a la manejabilidad, compensando la falta de espacio, suelos pobres, climas inadecuados. La mayoría de los frutales puede cultivarse en contenedores si se tienen las consideraciones adecuadas:

**Sustrato.** Se requiere de un sustrato que brinde drenaje, pero no excesivo, esto se logra por la mezcla de partes razonables de elementos que brinden soltura (arena), elementos que brinden propiedades fisicoquímicas adecuadas y que sean fuente de nutrientes rápidamente disponibles (materia orgánica y arcilla)

**Luz.** Dependiendo de la especie se requerirá más o menos sombra, evitando los cambios rápidos a la exposición solar. Este requerimiento puede ser controlado trasladando los contenedores durante el cambio de clima o construyendo infraestructura.

**Temperatura.** Cada especie tendrá mayor o menor resistencia al frío, en contenedores las raíces no están bien aisladas a los cambios de temperatura en comparación a si estarían en el suelo, por esta razón, el cuidado debe ser mayor, el tamaño de los contenedores debe ser adecuado para mantener las raíces protegidas, controlando las corrientes de aire, radiación y heladas.

**Agua.** Una de las causas que generan mayores pérdidas son las prácticas de riego inadecuadas, ya sea por falta de riego o un exceso de este. La frecuencia depende del tipo y tamaño de maceta, los requerimientos de la especie, temperatura, humedad, tipo de sustrato, clima, entre otros. Se requiere realizar un estudio y planificación adecuados.

**Nutrición.** Es importante fertilizar de forma equilibrada, de acuerdo con los requerimientos, ya que un exceso puede provocar la acumulación de sales. Esta acumulación es un problema especialmente en contenedores, donde la cantidad de sustrato es limitada y podría generar pérdidas si no se trata con rapidez.

**Podas.** Con el tiempo el tamaño de la planta puede aumentar y superar la capacidad del sistema radicular, por ello, es esencial realizar podas para compensar el crecimiento en contenedores reducidos.

#### ***2.7.8. Duración del trabajo***

El trabajo de investigación se condujo durante 6 meses, desde la instalación del experimento en diciembre de 2021 hasta culminar con las evaluaciones en laboratorio en mayo de 2022.

### **2.8. Parámetros de evaluación**

#### ***2.8.1. Parámetros fisicoquímicos de fresa***

**Número de frutos cuajados y retenidos (unidad).** Se evaluó contando los frutos totales que una planta logró retener y cuajar durante la duración del experimento.

**Peso de frutos (g).** La determinación del peso de frutos se realizó empleando una balanza eléctrica de precisión.

**Diámetro ecuatorial de fruto (cm).** Se determinó empleando un vernier, midiendo la parte más ancha del talamo hinchado perpendicular al eje central.

**Longitud del fruto (cm).** Se determinó midiendo la longitud del talamo abultado desde su base hasta el extremo opuesto.

**Sólidos solubles totales (°Bx) (contenido de azúcares).** Se determinó los sólidos solubles totales en grados Brix empleando o utilizando un refractómetro de mano, habiendo extraído previamente el jugo de la fruta.

**Acidez titulable (Contenido de ácido cítrico) (%).** Se cuantificó por titulación, para lo cual se tomó una alícuota de 1 ml de jugo extraído del fruto y llevar a diluir veinte veces con 19 ml de agua destilada, posteriormente se añadió cuatro gotas de indicador fenolftaleína, y proceder a titular con hidróxido de sodio 0.1N hasta el punto de viraje. Para ello, previamente calculó el volumen de la alícuota de NaOH y obtener el volumen ( $V_1$ ) de la solución madre necesaria para obtener NaOH de 0.1N, mediante la siguiente fórmula:

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

Con el gasto obtenido se procedió a calcular la acidez, mediante la siguiente fórmula:

$$\%A = \left[ \frac{(0.064)(N_{NaOH})(ml \text{ gasto})}{g \text{ muestra}} \right] * 100$$

**Materia seca de frutos (%).** Se determinó por gravimetría, para lo cual se picó y pesó el fruto de fresa en una luna de reloj previamente tarada, se dejó secar en estufa a 105 °C hasta que la muestra pierda toda la humedad, es decir cuando el peso fue constante.

**Firmeza del fruto ( $kg \cdot cm^{-2}$ ).** Haciendo uso de un durómetro (modelo GY-3) se pudo determinar la firmeza del fruto.

**Rendimiento de fruto por planta ( $g \cdot planta^{-1}$ ).** Se determinó pesando y sumando la producción total final de cada unidad experimental. La totalidad de flores generadas por planta

cuajaron y llegaron a madurar, por lo que, la cantidad de flores es igual a la cantidad de frutos generados y evaluados.

## **2.9. Análisis estadístico**

Los datos resultantes se procesaron mediante análisis de varianza y pruebas de contraste Duncan con gráficos de la respuesta a las aplicaciones. Los datos obtenidos fueron procesados usando el programa SPSS Statistics 26 (2019) y Excel (2019).

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Parámetros físico – químicos

##### 3.1.1. Número de frutos cuajados y retenidos

El análisis de varianza (ANVA) del número de frutos cuajados y retenidos se muestra en la Tabla 3.1. Se observa que si existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos estudiados. El coeficiente de variación 23.23 % indica que el experimento se encuentra dentro de los límites permisibles para experimentos (Vargas, 2007).

**Tabla 3.1.**

*Análisis de varianza del número de frutos cuajados y retenidos de la fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosilice, boro y zinc.*

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc	P valor	
Tratamiento	7	2013.75	251.72	122.66	0.000	**
Si	1	2.53	2.53	1.23	0.278	ns
Zn	1	0.28	0.28	0.14	0.714	ns
B	1	1.53	1.53	0.75	0.396	ns
Si * Zn	1	7.03	7.03	3.43	0.077	ns
Si * B	1	3.78	3.78	1.84	0.187	ns
Zn * B	1	7.03	7.03	3.43	0.077	ns
Si * Zn * B	1	22.78	22.78	11.10	0.003	**
Error	24	49.25	2.05			
Total	31	2063.00				

CV: 22,23 %

**Tabla 3.2.**

*Prueba Duncan para el número de frutos cuajados y retenidos de la fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosilice, boro y zinc.*

Tratamiento	N	Promedio	Grupo Duncan		
Boro	4	10.00	a		
Boro + Zinc + Silicio	4	8.75	a	b	
Silicio + Zinc	4	8.25	a	b	c
Silicio	4	8.25	a	b	c
Zinc	4	7.75	a	b	c
Silicio + Boro	4	7.25		b	c
Zinc + Boro	4	6.25			c
Testigo	4	6.25			c

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

La prueba de Duncan (Tabla 3.2) para el número de frutos cuajados y retenidos muestra que el mejor efecto corresponde al tratamiento con aplicación de solo boro (10 frutos cuajados por planta), seguido de un segundo grupo de tratamientos como el tratamiento completo boro + zinc + silicio (8.75 frutos cuajados por planta), luego un tercer grupo constituido cuando se aplican silicio + zinc, solo silicio, zinc y silicio + boro, con menor número de frutos cuajados y retenidos. El último grupo constituido por los tratamientos que recibieron boro + zinc y testigo.

Estos resultados son comparables con Arunkumar *et al.* (2022), quienes manejando pantas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) concluyeron que la aplicación foliar de boro a razón de 60g por 0.404 has, aumenta el número de flores en 34.66% y el porcentaje de cuajado de frutos fue 4.89% más que el tratamiento testigo.

Investigaciones realizadas por Quddus *et al.* (2021), demostraron que en plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) la combinación del boro y el zinc influyen sobre el número de frutos, ya que, utilizando boro 2 kg·ha<sup>-1</sup> y Zn 3 kg·ha<sup>-1</sup> aplicados al suelo, lograron obtener la mayor cantidad de frutos por planta (63.72% más que el testigo).

Las relaciones que se dan entre el boro y zinc pueden influir significativamente en el metabolismo de la planta, al tener la capacidad de interferir en la composición mineral a través de sus interacciones individuales con otros nutrientes dentro de la planta (Baxter 2009, como se cita en Quddus *et al.*, 2021).

Asimismo, Silva *et al.* (2023), estudiaron dosis foliares de silicio en plantas de frambuesa (*Rubus idaeus*) y expusieron que la aplicación de silicio (889,29 mg·dm<sup>-3</sup>) influye sobre el número de frutos cuajados por planta, pasando de 70 frutos a 125 frutos por planta, 78 % más que el testigo sin aplicaciones. Estos autores discuten la capacidad del silicio para reducir el potencial hídrico de la planta, esto produce que se minimice la transpiración foliar y se aproveche el agua en todas las rutas metabólicas, lo que les da la oportunidad de expresar su máximo potencial productivo.

Para explicar los resultados se hace necesario mencionar la intervención del boro en la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico, mediante la desactivación fisiológica de la calosa (Kirkby y Römheld, 2007) y la desactivación de la enzima IAA-Oxidasa para mantener un adecuado suministro de auxinas las cuales son imprescindibles para el crecimiento del tubo polínico (Compo-Expert, 2021). De la misma forma el zinc forma parte del aminoácido triptófano que es un precursor de las auxinas (Alegría, 2016), lo que confirma su participación para mantener los niveles de esta fitohormona durante la floración hasta el amarre de frutos. A estos procesos se suma la participación del silicio en la formación de sílice amorfa que se acumula en la periferia de hojas y tallos para disminuir la transpiración epidérmica excesiva (Ma y Yamaji, 2006).

### 3.1.2. *Peso de fruto*

El análisis de varianza (ANVA) del peso del fruto se muestra en la tabla 3.3. Se observa que existe diferencia altamente significativa en los tratamientos. El coeficiente de variación 30.81 % indica que el experimento se encuentra dentro de los límites permisibles de precisión para este tipo de experimentos (Vargas, 2007).

**Tabla 3.3.**

*Análisis de varianza del peso del fruto de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosilíce, boro y zinc.*

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc	P valor	
Tratamiento	7	4290.41	536.30	199.40	0.000	**
Si	1	14.50	14.50	5.39	0.029	*
Zn	1	85.38	85.38	31.75	0.000	**
B	1	109.66	109.66	40.77	0.000	**

Si * Zn	1	1.01	1.01	0.38	0.545	ns
Si * B	1	0.78	0.78	0.29	0.595	ns
Zn * B	1	90.27	90.27	33.56	0.000	**
Si * Zn * B	1	0.46	0.46	0.17	0.681	ns
Error	24	64.55	2.69			
Total	31	4354.96				

CV: 30,81 %

**Tabla 3.4.**

*Prueba Duncan para el peso del fruto ( $\text{g}\cdot\text{fruto}^{-1}$ ) de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosílice, boro y zinc.*

Tratamiento	N	Promedio	Grupo Duncan
Boro + Zinc + Silicio	4	16.90	a
Zinc + Boro	4	15.75	a
Silicio + Zinc	4	10.39	b
Silicio + Boro	4	10.16	b
Silicio	4	9.89	b
Boro	4	9.24	b
Testigo	4	8.83	b
Zinc	4	8.14	b

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

La prueba de Duncan (Tabla 3.4) muestra que la aplicación compuesta de boro + zinc + biosílice permite obtener frutos de fresa de mayor peso ( $16.90 \text{ g}\cdot\text{fruto}^{-1}$ ); seguidos sin diferencia estadística de aquellos obtenidos aplicando boro y zinc ( $15.75 \text{ g}\cdot\text{fruto}^{-1}$ ). La aplicación de B + Zn + biosílice incrementan el peso del fruto hasta en 91.89%, respecto al testigo ( $8.83 \text{ g}\cdot\text{fruto}^{-1}$ ) y cuando se aplica solo B + Zn el peso de fruto aumenta en 78.37 %, respecto al testigo. Estos resultados son comparables a los hallados por Quddus *et al.* (2021), quienes encontraron que la aplicación de  $2 \text{ kg B}\cdot\text{ha}^{-1}$  junto a  $3 \text{ kg Zn}\cdot\text{ha}^{-1}$  al suelo incrementan el rendimiento de fresa, además refieren que la interacción de B y Zn fue dominante.

En otros cultivos como la mandarina Balady, Masoud *et al.* (2019), reportan que la aplicación foliar de B, Zn y Si solos o combinados aumentaron significativamente el rendimiento, retención y calidad de fruta. Del mismo modo Rodríguez (2018), refiere que la aplicación foliar de boro, zinc, hierro y calcio en diferentes estados fenológicos al cultivo de mora (*Rubus glaucus* Benth), mejoraron significativamente el peso del fruto.

Sin duda la participación de cada micronutriente es indispensable en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Es importante mencionar que el zinc es un micronutriente componente de enzimas como la Anhidrasa carbónica que intervienen en el metabolismo de carbono, participa en el metabolismo de ácidos nucleicos, componente de auxinas (Tsonev y Lidon, 2012). Alegría (2016) menciona que el zinc es parte del aminoácido triptófano, precursor de las auxinas que promueven la expansión celular, por lo tanto, el zinc participa en la formación de órganos de la planta implicados en el crecimiento y desarrollo de frutos. Así el zinc es beneficioso para mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos (Chattha *et al.*, 2017). En el mismo sentido concluyen Klofac *et al.* (2023) tras aplicar foliarmente el zinc, al cultivo de maíz, siendo la forma quelatada, la mejor respecto de la sulfatada y óxidos.

Por su parte el boro conocido por participar en la estructura de la pared celular, capaz de favorecer el proceso de polinización de las flores, por ende, desarrollo de frutos (Singh *et al.*, 2020). También se le atribuye participación en la división celular, metabolismo y transporte de azúcares, germinación y formación de semillas (Nazir *et al.*, 2019). Por ello Bayar *et al.* (2024), concluyen que la aplicación foliar de boro al cultivo de maíz en 1 % mejora significativamente el crecimiento, rendimiento y los componentes del rendimiento. Los reportes de Saridas *et al.* (2021) al aplicar boro a plantas de fresa Fortuna, indican la influencia en el rendimiento, calidad comercial de la misma y la actividad de las abejas en la polinización, sin embargo, resulta ser más efectiva la aplicación edáfica que al follaje.

En relación con el silicio, existe mucha información de los efectos benéficos. Así Zydlyk *et al.* (2009), observaron que aplicando Actisil a 0.1 % mejora el crecimiento de fresa sin importar la condición del suelo. Wang *et al.* (2015), resaltan que la aplicación foliar de sílice funciona directamente y se evita la inmovilización química o física que se produce en el suelo, lo que ayuda en la movilidad en el floema. La conclusión de Avestan *et al.* (2019), indican que las plantas de fresa tratadas con nano dióxido de silicio fueron más capaces de mantener la estructura de la cera epicuticular, el contenido de clorofila y el contenido de carotenoides y acumularon menos prolina en relación con las plantas tratadas solo con sal y sin nano dióxido de silicio. Ma y Yamaji (2006) mencionan que el ácido silícico absorbido por la planta comienza a concentrarse a través de la transpiración y luego se polimeriza. Se sugiere que esta capa mineralizada disminuye la transpiración epidérmica (Markovich *et al.*, 2017), es así como el uso del agua durante la fotosíntesis es más eficaz.

La respuesta obtenida producto de la aplicación de los tres elementos, cada uno de los cuales estaría contribuyendo en cada proceso fisiológico desde fotosíntesis, actividad enzimática, transporte de nutrientes y fotosintatos, así como de estructura, hace que el mayor peso de fruto se consigue con los tres, seguido de aquellos de efecto combinado o donde exista la presencia de silicio resulta mejor.

### 3.1.3. Diámetro ecuatorial

**Tabla 3.5.**

*Análisis de varianza del diámetro ecuatorial del fruto de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosilice, boro y zinc.*

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc	P valor	
Tratamiento	7	246.59	30.82	1215.69	0.000	**
Si	1	0.14	0.14	5.63	0.026	*
Zn	1	0.43	0.43	16.83	0.000	**
B	1	1.88	1.88	74.20	0.000	**
Si * Zn	1	0.14	0.14	5.68	0.025	*
Si * B	1	0.03	0.03	1.16	0.293	ns
Zn * B	1	0.72	0.72	28.24	0.000	**
Si * Zn * B	1	0.00	0.00	0.01	0.913	ns
Error	24	0.61	0.03			
Total	31	247.20				

CV: 12,94 %

El análisis de varianza del diámetro ecuatorial del fruto muestra que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos, por lo que se procede con la prueba de contraste Duncan. El coeficiente de variación 12.94 % indica que el experimento se encuentra dentro de los límites permisibles para experimentos (Vargas, 2007).

**Tabla 3.6.**

*Prueba Duncan del diámetro ecuatorial del fruto (cm) de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosilice, boro y zinc.*

Tratamiento	N	Promedio	Grupo Duncan
Boro	4	3.29	a
Boro + Zinc + Silicio	4	3.24	a

Silicio + Zinc	4	2.90	b
Silicio	4	2.65	c
Zinc	4	2.57	c
Silicio + Boro	4	2.51	c
Zinc + Boro	4	2.45	c
Testigo	4	2.45	c

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

La prueba de Duncan (Tabla 3.6) del diámetro ecuatorial de frutos muestra que el mejor efecto corresponde al tratamiento con boro (3.29 cm), seguidos sin diferencia estadística de aquellos obtenidos aplicando el tratamiento completo boro + zinc + silicio (3.24 cm). El tratamiento silicio + zinc (2.90 cm) produce efectos similares, pero mayores que el tratamiento silicio (2.65 cm); el cual, a su vez, produce efectos similares y sin diferencia estadística que los que recibieron zinc (2.57 cm), silicio + boro (2.51 cm), zinc + boro (2.45 cm) y testigo (2.45 cm). La acción de boro en la fisiología del cultivo, nuevamente se pone de manifiesto, permitiendo mejorar el tamaño ecuatorial del fruto. Del mismo modo cuando va unido al zinc y silicio, tal como fuera explicado líneas arriba.

#### **3.1.4. Longitud de frutos**

El análisis de varianza (ANVA) de la longitud de frutos se muestra en la tabla 3.7.

**Tabla 3.7.**

*Análisis de varianza de la longitud del fruto de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosílice, boro y zinc.*

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc	P valor
Tratamiento	7	299.00	37.37	344.68	0.000 **
Si	1	0.11	0.11	1.03	0.321 ns
Zn	1	0.82	0.82	7.54	0.011 *
B	1	1.27	1.27	11.75	0.002 **
Si * Zn	1	0.02	0.02	0.21	0.652 ns
Si * B	1	0.00	0.00	0.00	0.992 ns
Zn * B	1	1.36	1.36	12.55	0.002 **
Si * Zn * B	1	0.06	0.06	0.53	0.472 ns
Error	24	2.60	0.11		
Total	31	301.60			

CV: 14,78 %

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 3.7) señalan que existe alta significancia estadística entre tratamientos, lo cual indica que los tratamientos foliares influyeron en el valor la longitud del fruto. Por tal razón, se procedió a realizar la prueba de contraste Duncan. El coeficiente de variación 14.78 % indica que el experimento se encuentra dentro de los límites permisibles de precisión para experimentos (Vargas, 2007).

**Tabla 3.8.**

*Prueba Duncan de la longitud del fruto (cm) de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosílice, boro y zinc.*

Tratamiento	N	Promedio	Grupo Duncan
Boro + Zinc + Silicio	4	3.73	a
Zinc + Boro	4	3.48	a
Silicio	4	2.96	b
Boro	4	2.88	b
Silicio + Boro	4	2.86	b
Silicio + Zinc	4	2.84	b
Testigo	4	2.81	b
Zinc	4	2.75	b

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

En la tabla 3.8 de la prueba de contraste Duncan (Tabla 3.8), los tratamientos que tuvieron mayor efecto sobre la longitud del fruto fueron boro + zinc + silicio (3.73 cm) y zinc + boro (3.48 cm), los demás tratamientos solos o combinados con silicio (2.96 cm), boro (2.88 cm), silicio + boro (2.86 cm), silicio + zinc (2.84 cm), testigo (2.81 cm) y zinc (2.75 cm), tuvieron menor influencia respecto a los primeros, pues poseen menor longitud, sin diferencia estadística entre sí.

Del mismo modo en el caso del peso de frutos de fresa, la aplicación foliar de boro, zinc y biosílice resulta favorable, tal como se mencionó líneas arriba la participación de los tres elementos interactuando entre sí, al parecer provocan un efecto favorable en cada una de las funciones donde participan mejorando la calidad del fruto, o más exactamente aumentando el tamaño (diámetro ecuatorial y longitud) del fruto de la fresa, mediante su participación en la formación de AIA (auxinas) (Alarcón, 2001; Alegría, 2016), metabolismo de carbohidratos (Pérez, 2017; Escudero *et al.*, 2012; Alarcón, 2001), ARN (Alarcón, 2001; Kirkby y Römheld,

2007; Manivannan y Ahn, 2017), y sus efectos sobre la fotosíntesis (Escudero *et al.*, 2012). Es decir, la combinación de los nutrientes aplicados directamente al follaje mejoró la eficiencia de los procesos metabólicos en la fresa y como consecuencia el aumento del tamaño del fruto fue mayor, demostrándose que la aplicación conjunta de los elementos es mejor que su aplicación individual, que a su vez es mejor que no aplicar nada.

### 3.1.5. Sólidos solubles totales (contenido de azúcares)

**Tabla 3.9.**

*Análisis de varianza de los sólidos solubles (contenido de azúcares) del fruto de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosilíce, boro y zinc.*

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc	P valor	
Tratamiento	7	3295.57	411.95	1124.62	0.000	**
Si	1	0.13	0.13	0.36	0.556	ns
Zn	1	1.42	1.42	3.88	0.061	ns
B	1	2.50	2.50	6.84	0.015	ns
Si * Zn	1	0.46	0.46	1.26	0.272	ns
Si * B	1	0.69	0.69	1.90	0.181	ns
Zn * B	1	2.36	2.36	6.45	0.018	*
Si * Zn * B	1	2.82	2.82	7.69	0.011	**
Error	24	8.79	0.37			
Total	31	3304.36				

CV: 7,76 %

En base al análisis de varianza de sólidos solubles (contenido de azúcares) del fruto (Tabla 3.9) se obtiene que existe diferencia estadística significativa entre tratamientos. El coeficiente de variación 7.76 % indica que el experimento se encuentra dentro de los límites permisibles de precisión para experimentos (Vargas, 2007).

**Tabla 3.10.**

*Prueba Duncan de los sólidos solubles (contenido de azúcares) del fruto de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosilíce, boro y zinc.*

Tratamiento	N	Promedio	Grupo Duncan
Boro + Zinc + Silicio	4	11.28	a
Zinc + Boro	4	10.51	a      b
Zinc	4	10.29	b

Silicio	4	10.25	b	c
Silicio + Boro	4	9.96	b	c
Boro	4	9.89	b	c
Testigo	4	9.58	b	c
Silicio + Zinc	4	9.29		c

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

La prueba de Duncan (Tabla 3.10) para los sólidos solubles totales del fruto (grados brix) de la tabla 3.10 muestra que, el mejor efecto corresponde al tratamiento completo boro + zinc + silicio (11.28 °Bx), seguido por el tratamiento zinc + boro (10.51 °Bx) que produce un efecto similar y es equivalente a su vez al efecto del zinc (10.29 °Bx), pero mayores que los tratamientos silicio (10.25 °Bx), silicio + boro (9.96 °Bx), boro (9.89 °Bx), testigo (9.58 °Bx) y silicio + zinc (9.29 °Bx).

El resultado concuerda con lo obtenido por Chaturvedi *et al.* (2005), quienes utilizando sulfato de Zn al 0.4 % y sulfato ferroso al 0.2 % en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) cultivar “Chandler”, demostraron que la aplicación foliar influye aumentando el peso, la acidez y los sólidos solubles totales del fruto. Kazemi M. (2014), encuentra que las concentraciones altas de sulfato de Zn (150 mg L<sup>-1</sup>) y hierro (1000 mg·L<sup>-1</sup>) en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) cultivar “Pájaro”, aumentaron los sólidos solubles totales, acidez titulable y vitamina C en frutos. López *et al.* (2018), aplicando dosis de Zn entre 7.5 y 15 µmol·L<sup>-1</sup> en solución, a fresa de variedad Albión aumentan el rendimiento y calidad del fruto. La participación del zinc en la incorporación de CO<sub>2</sub> en carbohidratos (Alegría, 2016; Escudero *et al.*, 2012), tiene implicancia en la posterior acumulación de azúcares en el fruto; del mismo modo su participación en la enzima superóxido dismutasa, que controla la generación de radicales superóxidos, y en ausencia de zinc dañan las membranas produciendo pérdida de azúcares y aminoácidos esenciales (Kirkby y Römheld, 2007). Por lo tanto, la presencia de zinc en la planta asegura una correcta acumulación de azúcares en el fruto.

Wójcik y Lewandowski (2003), en plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) cultivar “Elsanta”, demostraron que fueron tratadas con aspersiones de B y Ca aumentaron la concentración de sólidos solubles y acidez titulable de la fruta después de 3 días de mantenimiento a temperatura ambiente. La intervención del boro como precursor de la coenzima UDPG que colabora en la formación de sacarosa (Alarcón, 2001), podría explicarse que en déficit de boro el transporte de azúcares formados en la hoja disminuya y su posterior

incorporación al fruto se compromete. Los cambios sobre los niveles de AIA en la planta producidos por la presencia o ausencia de boro y zinc desencadenan procesos que determinan una mayor o menor acumulación de azúcares en el fruto (Alegría, 2016; Alarcón, 2001).

Ouellette *et al.* (2017), estudiando cultivares de fresa (Charlotte, Seascape, Monterey, Albion, Amandine y Verity); demostraron que la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) tiene los transportadores adecuados para absorber Si, clasificándola claramente como una especie competente en silicio. Estudios como los de Yaghubi *et al.* (2019), evaluando la respuesta de fresa a silicato de potasio ( $K_2O_3Si$ ), bajo estrés por salinidad de cloruro de sodio (NaCl) en cultivares “Kurdistan” y “Paros”; encontraron que el silicato de potasio incrementó los sólidos solubles totales (TSS) y la acidez titulable (TA), que son los principales factores que determinan el sabor de la fruta de fresa. La protección que brinda la formación de silicio amorfo en las hojas mejora la eficiencia de la fotosíntesis (Ma y Yamaji, 2006; Markovich *et al.*, 2017), cuyos productos serán utilizados en la formación de azúcares que eventualmente llegarán al fruto. De esta manera, el efecto sinérgico del zinc, boro y silicio sobre la acumulación de sólidos solubles del fruto se ve reflejado en los resultados; donde, su aplicación conjunta aumentó los grados brix de los frutos de la fresa en comparación con el testigo.

### 3.1.6. Acidez titulable (Contenido de ácido cítrico)

El análisis de varianza (ANVA) se muestra en la tabla 3.11.

**Tabla 3.11.**

*Análisis de varianza de la acidez titulable (contenido de ácido cítrico) del fruto de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosilice, boro y zinc.*

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc	P valor	
Tratamiento	7	27.66	3.46	795.12	0.000	**
Si	1	0.00	0.00	0.82	0.374	ns
Zn	1	0.01	0.01	1.68	0.207	ns
B	1	0.04	0.04	8.63	0.007	**
Si * Zn	1	0.01	0.01	3.02	0.095	ns
Si * B	1	0.01	0.01	2.22	0.149	ns
Zn * B	1	0.01	0.01	2.33	0.140	ns
Si * Zn * B	1	0.00	0.00	0.32	0.579	ns
Error	24	0.10	0.00			
Total	31	27.76				

CV: 8,38 %

En base al análisis de varianza de la acidez titulable del fruto se obtiene que existe diferencia estadística significativa entre tratamientos. El coeficiente de variación 8.38 % indica que el experimento se encuentra dentro de los límites permisibles de precisión para experimentos (Vargas, 2007).

**Tabla 3.12.**

*Prueba Duncan de la acidez titulable (contenido de ácido cítrico) del fruto de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosilice, boro y zinc.*

Tratamiento	N	Promedio	Grupo Duncan		
Boro + Zinc + Silicio	4	1.01	a		
Zinc + Boro	4	0.98	a	b	
Silicio + Boro	4	0.97	a	b	
Zinc	4	0.93	a	b	c
Silicio	4	0.92	a	b	c
Boro	4	0.89		b	c
Testigo	4	0.88		b	c
Silicio + Zinc	4	0.86			c

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

En la tabla 3.12 de la prueba de contraste Duncan, los tratamientos que tuvieron mayor efecto sobre la longitud del fruto fueron boro + zinc + silicio (1.01 %), produciendo un efecto similar pero menor con el tratamiento zinc + boro (0.98 %), seguido por el tratamiento silicio + boro (0.97 %), los cuales tienen efectos similares pero mayores que los tratamientos zinc (0.93 %), silicio (0.92 %), boro (0.89 %), testigo (0.88 %) y silicio + zinc (0.86 %).

Estos resultados pueden contrastarse con los obtenidos por Silva *et al.* (2013), quienes aplicando dosis crecientes de silicio foliar en plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch), concluyeron que la aplicación de Si ( $69 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), promovió aumento de acidez titulable (contenido de ácido cítrico) en 24 % en comparación con el testigo.

Estudios realizados por Quddus *et al.* (2021), en plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch), aplicando dosis crecientes de boro y zinc al suelo, demuestran una interacción positiva en la aplicación conjunta a razón de  $2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  y  $3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , respectivamente, estos elementos

influyeron sobre el contenido de vitamina C, lográndose obtener la mayor cantidad vitamina C por fruto (47.8 % más que el testigo). Estos resultados de mayor porcentaje de acidez (contenido de ácido cítrico) obtenido pueden ser comparados al experimento realizado en esta investigación, debido a que el boro participa en la síntesis del uracilo para formar ARN ribosómico, lo cual es singularmente fundamental en tejidos meristemáticos de la raíz (Pérez, 2017), además, su deficiencia induce aumento de fenoles que inhiben su crecimiento (Alarcón, 2001). Además, el zinc es constituyente de la enzima anhidrasa carbónica, de gran importancia para incorporar carbono durante la fotosíntesis (Escudero *et al.*, 2012); el carbono captado luego puede ser utilizado para la formación de diversos compuestos químicos relacionados a la acidez (contenido de ácido cítrico) de la fruta y la participación del silicio para elevar la eficiencia fisiológica de la planta, estas condicionantes pueden explicar que el tratamiento completo haya sido superior en contraste con los otros.

### 3.1.7. *Materia seca de frutos*

El análisis de varianza (ANVA) del contenido de materia seca (Tabla 3.13) muestra diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. El coeficiente de variación 4.61 % indica que el experimento se encuentra dentro de los límites permisibles de precisión para experimentos (Vargas, 2007).

**Tabla 3.13.**

*Análisis de varianza de la materia seca del fruto de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosilíce, boro y zinc.*

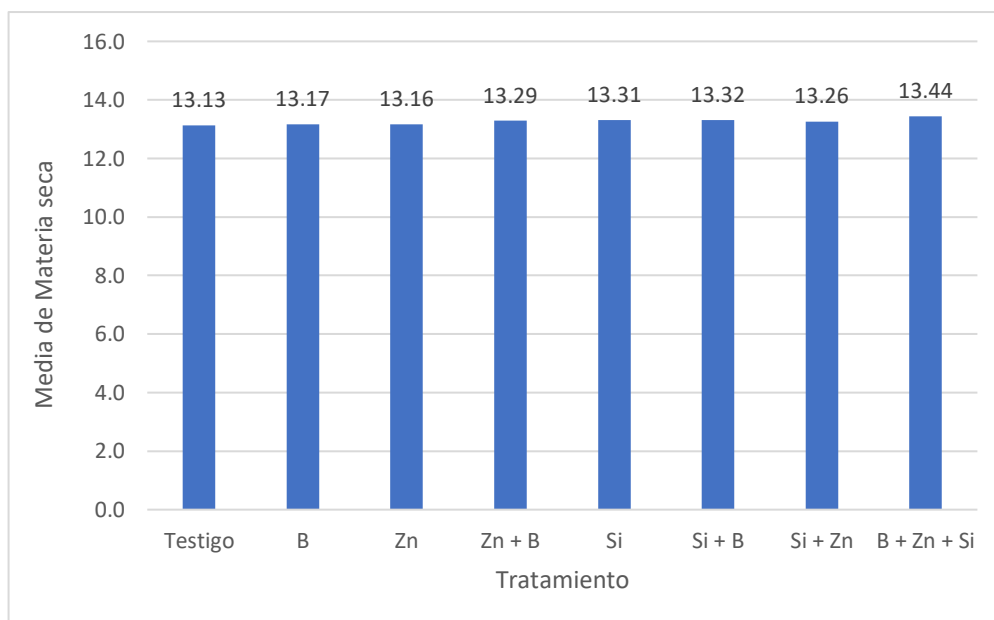
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc	P valor	
Tratamiento	7	5625.77	703.22	1495.76	0.000	**
Si	1	0.17	0.17	0.36	0.556	ns
Zn	1	0.02	0.02	0.05	0.824	ns
B	1	0.06	0.06	0.13	0.722	ns
Si * Zn	1	0.00	0.00	0.01	0.934	ns
Si * B	1	0.00	0.00	0.00	0.979	ns
Zn * B	1	0.04	0.04	0.08	0.784	ns
Si * Zn * B	1	0.00	0.00	0.01	0.939	ns
Error	24	11.28	0.47			
Total	31	5637.05				

CV: 4,61 %

El resultado del análisis de varianza (Tabla 3.13) muestra que no hubo efectos significativamente diferenciados en los tratamientos. Sin embargo, la aplicación individual y mixta de boro, zinc y silicio si tuvieron efectos sobre la materia seca del fruto, debido a un ligero aumento de materia seca respecto del testigo, variación numérica, no siendo estadísticamente significativa (Figura 3.1).

**Figura 3.1.**

*Contenido de materia seca (%) del fruto de fresa en los tratamientos estudiados.*



Se observa que la materia seca de los frutos resulta ser mayores como respuesta a la aplicación compuesta de boro + zinc + silicio (13.44 %), gracias al aumento de sólidos solubles totales (contenido de azúcares) en los frutos de fresa, debido a las influencias de los elementos en la fisiología de las plantas tal como fueron explicadas en parámetros anteriores. Después le siguen los tratamientos silicio + boro (13.32 %), silicio (13.31 %) y zinc + boro (13.29 %) y son mayores que los tratamientos silicio + zinc (13.26 %), boro (13.17 %), zinc (13.16 %) y testigo (13.13 %).

### **3.1.8. Firmeza del fruto**

El análisis de varianza (ANVA) se muestra en la tabla 3.14, se concluye que si se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Por lo que, se procedió a realizar la prueba de contraste Duncan.

**Tabla 3.14.**

*Análisis de varianza de la firmeza del fruto de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosilíce, boro y zinc.*

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc	P valor	
Tratamiento	7	13.76	1.72	595.10	0.000	**
Si	1	0.45	0.45	155.93	0.000	**
Zn	1	0.03	0.03	11.01	0.003	**
B	1	0.04	0.04	12.31	0.002	**
Si * Zn	1	0.02	0.02	5.28	0.031	*
Si * B	1	0.06	0.06	21.17	0.000	**
Zn * B	1	0.01	0.01	2.01	0.169	ns
Si * Zn * B	1	0.00	0.00	0.31	0.583	ns
Error	24	0.07	0.00			
Total	31	13.83				

CV: 22,93 %

El coeficiente de variación 22.93 % indica que el experimento se encuentra dentro de los límites permisibles de precisión para experimentos (Vargas, 2007).

**Tabla 3.15.**

*Prueba Duncan de la firmeza del fruto ( $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosilíce, boro y zinc.*

Tratamiento	N	Promedio	Grupo Duncan		
Boro + Zinc + Silicio	4	0.85	a		
Silicio + Boro	4	0.82	a		
Silicio + Zinc	4	0.68	b		
Silicio	4	0.68	b		
Zinc + Boro	4	0.58	c		
Zinc	4	0.57	c d		
Testigo	4	0.50	d e		
Boro	4	0.44	e		

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

La prueba de Duncan (Tabla 3.15) para la firmeza del fruto muestra que el mejor efecto corresponde al tratamiento completo boro + zinc + silicio ( $0.85 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ ), esto significa un incremento del 70 % de firmeza del fruto respecto al testigo; el tratamiento silicio + boro ( $0.82 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) produce efectos similares, pero mayores que el tratamiento silicio + zinc ( $0.68 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ )

<sup>2</sup>); el cual, produce efectos similares que el tratamiento de solo silicio ( $0.68 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ). Además, se observa que tanto el testigo como aquellos que recibieron solo B y Zn obtienen menor valor de firmeza respecto de aquellos en los que se incluye el Si.

Los resultados muestran efectos similares a los obtenidos por otros investigadores como Munaretto *et al.* (2018), quienes estudiando la productividad y calidad postcosecha de frutos de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) cultivares Aromas y Albión, aplicando dosis foliares de  $\text{SiO}_2$  en precosecha y almacenamiento refrigerado; concluyen que la aplicación de silicio mostró ser eficiente en el mantenimiento de la firmeza de los frutos de ambos cultivares, siendo esta característica de gran importancia ya que permite recorrer mayores distancias hasta el mercado, sin que se dañen las cualidades nutricionales y visuales de las fresas.

Zahedi *et al.* (2020), reportan que la aplicación de  $\text{Se/SiO}_2$  en plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch), bajo niveles de estrés por sequía, aumentó la firmeza de la fruta en comparación con las plantas asperjadas con agua; la pulverización de  $\text{Se/SiO}_2$ -NPs ( $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) resultó en un aumento del 48/32/50 % de la firmeza en los tres niveles de estrés.

Wójcik y Lewandowski (2003), demostraron que plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) cultivar “Elsanta”, aspersiones de B y Ca aumentaron la firmeza y resistencia a la pudrición por *Botrytis* en comparación con los de las parcelas de control. Acosta (2013), en el cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) variedad Oso Grande, bajo cubierta, reporta que la aplicación de Ca y B disminuyen la cantidad de frutos deformes, mejorando la firmeza y los sólidos solubles totales en el fruto.

Aplicar silicio a la planta influye en la formación de polímeros y contribuye con la mejor resistencia de las paredes celulares (Mengel y Kirkby, 2000). El boro también participa en la conformación de las paredes celulares, las cuales presentan los más altos contenidos de boro, ya que mediante procesos complejos producen di ésteres estables (Clavijo, 2001; Alarcón, 2001). La implicancia del zinc y el boro en el mejoramiento del metabolismo de la planta (Alegría, 2016; Alarcón, 2001), concluyen en una mejor formación de estructuras celulares en la planta y muy posiblemente en el fruto.

Si bien la aplicación individual del silicio mejoró la firmeza de la fruta, esta se vio superada por su aplicación en adición con boro o zinc; ya que, la aplicación de silicio mejoró las condiciones para que el zinc y boro optimicen su función en la planta, produciendo una

mejor conformación del fruto, esto en contraste con los tratamientos individuales. Es así que la sola aplicación de biosílice permitió un incremento de la firmeza de fruta en 36% respecto al testigo, en presencia de los otros nutrientes se mantiene con el Si + Zn 36% yendo en aumento con 64% Si + B hasta 70% con la aplicación de Zn + B + Si, todos ellos respecto al testigo.

### 3.1.9. Rendimiento total de frutos/planta

El análisis de varianza (ANVA) mostrada en la tabla 3.16, existe diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Por lo que, se procedió a realizar la prueba de contraste Duncan.

**Tabla 3.16.**

*Análisis de varianza del rendimiento total por planta de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosílice, boro y zinc.*

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fc	P valor	
Tratamiento	7	245299.40	30662.42	61.19	0.000	**
Si	1	4173.32	4173.32	8.33	0.008	**
Zn	1	3421.84	3421.84	6.83	0.015	*
B	1	6439.59	6439.59	12.85	0.001	**
Si * Zn	1	1298.46	1298.46	2.59	0.121	ns
Si * B	1	373.93	373.93	0.75	0.396	ns
Zn * B	1	1512.14	1512.14	3.02	0.095	ns
Si * Zn * B	1	3035.76	3035.76	6.06	0.021	*
Error	24	12026.51	501.10			
Total	31	257325.91				

CV: 38,53 %

**Tabla 3.17.**

*Prueba Duncan del rendimiento total por planta ( $g \cdot planta^{-1}$ ) de fresa bajo cubierta por efecto de la aplicación de biosílice, boro y zinc.*

Tratamiento	N	Promedio	Grupo Duncan
Boro + Zinc + Silicio	4	139.37	a
Zinc + Boro	4	91.15	b
Boro	4	88.94	b
Silicio + Zinc	4	84.61	b
Silicio	4	84.42	b

Silicio + Boro	4	72.72	b	c
Zinc	4	61.67	b	c
Testigo	4	48.00		c

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

La prueba de Duncan (Tabla 3.17) para el rendimiento total por planta muestra que el mejor efecto corresponde al tratamiento completo boro + zinc + silicio ( $139.37 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$ ), los tratamientos zinc + boro ( $91.15 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$ ), boro ( $88.94 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$ ), silicio + zinc ( $84.61 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$ ) y silicio ( $84.42 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$ ) producen efectos similares, pero mayores que los tratamientos silicio + boro ( $72.72 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$ ), zinc ( $61.67 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$ ) y testigo ( $48 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$ ).

Las funciones del zinc, boro y silicio sobre el metabolismo de las plantas abarcados tanto en la revisión bibliográfica como para el apartado del peso del fruto explican también el aumento del rendimiento total, ya que, al mejorar el valor del peso del fruto se incrementa también el rendimiento, al ser el peso el factor principal para medir el rendimiento.

Las implicancias a las que están sujetas las aplicaciones de boro, zinc y silicio confluyen en una mayor eficiencia del manejo de los recursos dentro de la planta, de las cuales pueden hacerse mención la fotosíntesis, metabolismo de las auxinas, carbohidratos, ARN, entre otros.

Los resultados del rendimiento total por planta pueden ser contrastados con los resultados del peso del fruto, donde se observa que se le atribuye al mejor efecto al tratamiento completo en comparación con los testigos, esto no hace más que confirmar la importancia de las relaciones entre estos elementos.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Conclusiones

1. Las aplicaciones foliares de 0.025 % B + 0.05 % Zn + Biosílice 0.2 % biosílice, a plantas de fresa favorecen significativamente las características fisicoquímicas del fruto, como peso ( $16.90 \text{ g}\cdot\text{fruto}^{-1}$ ), diámetro (3.29 cm), longitud (3.73 cm), SST (11.28 °Bx), acidez (contenido de ácido cítrico) (1.01 %) y firmeza ( $0.85 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ ), siendo superior a los otros tratamientos.
2. El mayor rendimiento de fresas por planta se obtiene con la aplicación de 0.025 % boro + 0.05 % zinc + 0.2 % sílice, que alcanza a  $139.37 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$ , siendo 52.9 % mayor que cuando se emplean dos elementos y 190.35 % mayor al tratamiento testigo.
3. Cualquier aplicación individual de B, Zn y biosílice mejoran las características evaluadas, no obstante, el biosílice muestra mejores resultados de rendimiento y calidad.

#### Recomendaciones

1. Se recomienda la aplicación mixta de boro, zinc y silicio en el cultivo de fresa durante el desarrollo vegetativo hasta la aparición del órgano floral.

2. Se recomienda continuar investigando la nutrición con elementos menores en condiciones de campo. Determinar el nivel de aplicación foliar mixta de boro, zinc y silicio que maximice el rendimiento.
3. Realizar investigaciones que midan las concentraciones de silicio que absorben especies poco estudiadas, así como su aplicación foliar vs edáfica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, M. A. (2013). *Aplicación foliar de tres dosis de Calcio y tres dosis de Boro en el cultivo de fresa (Fragaria x ananassa Duch) cultivar Oso Grande, bajo cubierta*. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio institucional U.T.A. Ecuador. <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/3944>.
- Alarcón, V. A. (2001). *El boro como nutriente esencial*. Ediciones Horticultura (Ed.), Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros 36-47. ISSN 1132-2950, N° 155. <https://bit.ly/3uykG7n>.
- Alegría, M. W. (2016). *Texto básico para profesional en ingeniería forestal en el área de fisiología vegetal*. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Biblioteca Institucional del IIAP Iquitos. LIB04564. <https://bit.ly/3ymo06F>.
- Alejandro, S.M., Höller, S., Meier, B., y Peiter, E. (2020). Manganese in Plants: From Acquisition to Subcellular Allocation. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00300>.
- Arunkumar, K.H., Varghese, M.J., Sudhakar, S., Marimuthu, R., Paul, P.K., Ashiba, A., y Abishek, R. (2022). Foliar application of calcium and boron on yield and quality attributes of strawberry. *Pharma Innovation*, 11(4):2054-2057. <https://bit.ly/4cbG0CE>. Avestan, S., Ghasemnezhad, M., Esfahani, M. y Byrt, C. S. (2019). Application of Nano-Silicon Dioxide Improves Salt Stress Tolerance in Strawberry Plants. *Agronomy*. 2019; 9(5):246. <https://doi.org/10.3390/agronomy9050246>.
- Avitia, G. E., Pineda. P. J., Castillo, G. A., Trejo, T. L., Corona, T.T. y Cervantes, U. E. (2014). Extracción nutrimental en fresa (*Fragaria x ananassa Duch*). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(3), 519-524. <https://bit.ly/3Fhdfoc>.
- Barker, A. V. y Bryson. G. M. (2007). *Nitrogen*. In: Barker, A.V., Pilbeam, D.J. (Eds.), *Handbook of Plant Nutrition*. Taylor & Francis Group CRC Press, Boca Raton, FLA, pp. 21–50. <https://bit.ly/3eiaDLI>.
- Bayar, J., Shah, Sh.; Khan, W., Okla, M., Alwasel, Y., Saleh, I., AbdElgawad, H., Rahim, W., Iqbal, B. y Jalal, A. (2024). Boron Foliar Application Improves Growth, Yield and Grain Quality of Maize. *Polish Journal of Environmental Studies*, 33(3), 3079-3089. <https://doi.org/10.15244/pjoes/177183>.

- Brown, P. H. (2007). *Nickel*. In: Barker, A.V., Pilbeam, D.J. (Eds.), *Handbook of Plant Nutrition*. Taylor & Francis Group CRC Press, Boca Raton, FLA, pp. 395–409. <https://bit.ly/3eiaDLl>.
- Burnell, J.N. (1988). The Biochemistry of Manganese in Plants. In: Graham, R.D., Hannam, R.J., Uren, N.C. (eds) *Manganese in Soils and Plants. Developments in Plant and Soil Sciences*, vol 33. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-2817-6\\_10](https://doi.org/10.1007/978-94-009-2817-6_10).
- Cámara de comercio de Bogotá. (2015). *Manual fresa*. Vicepresidencia de Fortalecimiento Empresarial. Programa de Apoyo Agrícola y Agroindustrial. <https://bit.ly/3CfCAgm>.
- Carrasco-Gil, S., Rodríguez-Menéndez, S., Fernández, B., Pereiro, R., De la Fuente, V. y Hernández-Apaolaza, L. (2018). Silicon induced Fe deficiency affects Fe, Mn, Cu and Zn distribution in rice (*Oryza sativa* L.) growth in calcareous conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, 125, pp. 153-163. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.01.033>
- Cazar, V. I. (2016). *Análisis físico-químico para la determinación de la calidad de las frutas*. [tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio institucional U.C.E. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/11453>.
- Chattha, M. U., Hassan, M. U., Khan, I., Chattha, M. B., Mahmood, A., Chattha, M. U., Nawaz, M., Subhani, M. N., Kharal, M. y Khan, S. (2017) Biofortification of Wheat Cultivars to Combat Zinc Deficiency. *Frontiers in Plant Science*, 2017, Mar 14;8:281. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00281>.
- Chaturvedi, O.P., Singh, A.K., Tripathi, V.K. y Dixit, A.K. (2005). Effect of zinc and iron on growth, yield and quality of strawberry cv. Chandler. *Acta Hortic.* 696, 237-240. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.696.41>.
- Chen, D., Cao, B., Wang, S., Liu, P., Deng, X., Yin, L, y Zhang, S. (2016). Silicon moderated the K deficiency by improving the plant-water status in sorghum. *Scientific Reports*, 6, 22882. <https://doi.org/10.1038/srep22882>.
- Chen, F., Liu, H., Yang, H., Lai, S., Cheng, X., Xin, Y., Yang, B., Hou, H., Yao, Y., Shao-bing, Z., Bu, G., y Deng, Y. (2011). Quality attributes and cell wall properties of strawberries (*Fragaria annanassa* Duch) under calcium chloride treatment. *Food Chemistry*, 126, 450-459. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.009>.
- Chuncho, G., Chuncho, C. y Aguirre, Z. (2019). *Anatomía y morfología vegetal*. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. ISBN-978-9978-355-57-2. <https://bit.ly/3IaUKUP>.

- Clavijo, P. J. (2001). *Metabolismo de los nutrientes en las plantas*. En Silva-Mojica F. (Ed.), *Fertilidad de Suelos Diagnóstico y Control*. 13-28. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, S.C.C.S. ISSN: 958-95-299-1-7. <https://bit.ly/3nGi6Zg>.
- Compo-Expert (2021). *Nutrición floral*. Departamento Técnico COMPO Expert Chile. <https://bit.ly/4bELnK8>.
- Correa, A. y Alarcón, L. (2015). *Cultivo de frutilla, en una realidad sin bromuro de metilo en Chile*. Santiago. <https://bit.ly/30y99ci>.
- Detmann, K. C., Araújo, W. L., Martins, S. C. V., Sanglard, L. M. V. P., Reis, J. V., Detmann, E., Rodrigues, F. Á., Nunes-Nesi, A., Fernie, A. R. y DaMatta, F. M. (2012). Silicon nutrition increases grain yield, which, in turn, exerts a feed-forward stimulation of photosynthetic rates via enhanced mesophyll conductance and alters primary metabolism in rice. *New Phytologist*. 196(3): 752-762. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04299.x>.
- Ellis, M., Funt, R., Wright, S., Doohan, D., Welty, C., Williams, R., Brown, M., Ohio State University; K. Demchak, Penn State Univ.; y E. Wahle, University of Illinois. (2006). *Midwest Strawberry Production Guide* (OSU Bulletin 926). <https://bit.ly/3AeO4De>.
- Escudero-Almanza, D., Ojeda-Barrios, D., Hernández-Rodríguez, O., Sánchez-Chávez, E., Ruíz-Anchondo, T. y Sida-Arreola, J. (2012). Carbonic anhydrase and zinc in plant physiology. *Chilean Journal of Agricultural Research*, vol.72, n.1, pp.140-146. ISSN 0718-5839. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392012000100022>.
- Fageria, N., Barbosa, F. M., Moreira, A. y Guimarães, C. (2009). Foliar Fertilization of Crop Plants, *Journal of Plant Nutrition*. 32:6, 1044-1064, <https://doi.org/10.1080/01904160902872826>.
- Fernández, V., Sotiropoulos, T., Brown, P. (2013). *Foliar Fertilization: Scientific Principles and Field Practices*. First Edition Publisher: International Fertilizer Industry Association (IFA). ISBN: 979-10-92366-00-6. <https://bit.ly/3ul4NRx>.
- Gou, T., Yang, L., Hu, W., Chen, X., Zhu, Y., Guo, J. y Gong, H. (2020). Silicon improves the growth of cucumber under excess nitrate stress by enhancing nitrogen assimilation and chlorophyll synthesis. *Plant Physiology and Biochemistry*. 152, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.04.031>.
- Guo, W., Nazim, H., Liang Z. y Yang, D. (2016). Magnesium deficiency in plants: An urgent problem. *The Crop Journal*, 2016, 4(2): 83-91. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2015.11.003>.

- Hamlin, R. L. (2007). *Molybdenum*. In: Barker, A.V., Pilbeam, D.J. (Eds.), Handbook of Plant Nutrition. Taylor & Francis Group CRC Press, Boca Raton, FLA, pp. 375–394. <https://bit.ly/3eiaDL1>.
- Haneklaus, S., Bloem, E., Schnug, E., Kok, L. J., y Stulen, I. (2007). *Sulfur*. In: Barker, A.V., Pilbeam, D.J. (Eds.), Handbook of Plant Nutrition. Taylor & Francis Group CRC Press, Boca Raton, FLA, pp. 21–50. <https://bit.ly/3eiaDL1>.
- Harrison, M. D., Jones, C. E. y Dameron, C. T. (1999). Copper chaperones: function, structure and copper-binding properties. *Journal of Biological Inorganic Chemistry*. 1999 Apr;4(2):145-53. <https://doi.org/10.1007/s007750050297>.
- Henk, M. L. (2018). The Effects of Foliar Sprays with Different Silicon Compounds. *Plants* (Basel, Switzerland), 7(2), 45. <https://doi.org/10.3390/plants7020045>.
- Hernández, A. L. (2014). *¿Can silicon partially alleviate micronutrient deficiency in plants? a review*. *Plant* 240, 447–458. <https://doi.org/10.1007/s00425-014-2119-x>.
- Humphries, J. M., Stangoulis J. C. R. y Graham, R. D. (2007). *Manganese*. In: Barker, A.V., Pilbeam, D.J. (Eds.), Handbook of Plant Nutrition. Taylor & Francis Group CRC Press, Boca Raton, FLA, pp. 121–144. <https://bit.ly/3eiaDL1>.
- Instituto Nacional de Estadística en Informática. (2020). *Compendio estadístico Perú 2020*. [compendio]. <https://bit.ly/4fyOWoJ>.
- Instituto Tecnológico Superior de Coalcomán. (2018). *Manual de producción de fresa en Coalcomán Michoacán*. México. [Manual]. <https://bit.ly/30qeget>.
- Jackson, K. L. y Williamson, G. J. (2004). *Growing Fruit Crops in Containers*. Horticultural Science Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. <https://bit.ly/4kODCWF>.
- Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca. (2008). *La fresa de Huelva*. Andalucía, España: Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía Servicio de Publicaciones y Divulgación. Dirección General de la Producción Agrícola y Ganadera. <https://bit.ly/3DjiH9j>.
- Kazemi, M. (2014). Influence of foliar application of iron, calcium and zinc sulfate on vegetative growth and reproductive characteristics of strawberry cv. “Pajaro”. *Trakia Journal of Sciences* 2014. Vol.12. No.1, pp.21-26. ISSN: 1313-7050. <https://bit.ly/3yn2RKg>.

- Khoshru, B., Mitra, D., Nosratabad, A.R., Reyhanitabar, A., Mandal, L., Farda, B., Djebaili, R., Pellegrini, M., Guerra-Sierra, B.E., Senapati, A., Panneerselvam, P., y Mohapatra, P.K. (2023). Enhancing Manganese Availability for Plants through Microbial Potential: A Sustainable Approach for Improving Soil Health and Food Security. *Bacteria*. <https://doi.org/10.3390/bacteria2030010>.
- Klofac, D., Antosovsky, J. y Skarpa, P. (2023). Effect of Zinc Foliar Fertilization Alone and Combined with Trehalose on Maize (*Zea mays* L.) Growth under the Drought. *Plants* (Basel). 2023 Jul 3;12(13):2539. <https://doi.org/10.3390/plants12132539>.
- Kopsell, D. E. y Kopsell, D. A. (2007). *Copper*. In: Barker, A.V., Pilbeam, D.J. (Eds.), *Handbook of Plant Nutrition*. Taylor & Francis Group CRC Press, Boca Raton, FLA, pp. 293–328. <https://bit.ly/3eiaDLl>.
- Kirkby, E. y Römheld, V. (2007). *Micronutrients in plant physiology: functions, uptake and mobility*. Proceedings 543, The International Fertilizer Society, P. O. Box, York, YO32 5YS, United Kingdom. <https://bit.ly/3yjFcd0>.
- Liang, Y., Nikolic, M., Bélanger, R., Gong, H. y Song, A. (2015). Silicon-Mediated Tolerance to Other Abiotic Stresses, Silicon in Agriculture. *Springer*, pp. 161–179. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-9978-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-94-017-9978-2_8).
- Li, Y., Wang, R., Wang, B., Zhang, Y., Gu, B., Wang, Z., Liu, H. y Jiang, Y. (2022). Plant molybdenum uptake as mediated by synergism with phosphorus but antagonism with sulfur in a fertilized and mown meadow, *Research Square*, 06 July 2022, <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1796257/v1>.
- López, H. A., Castillo, G. A. M., Trejo, T. L. I., Avitia, G. E., y Valdez, A. L. A. (2018). Respuesta de fresa cv. Albión a dosis crecientes de zinc. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(8), 1591-1601. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i8.1716>.
- Maillar, A., Ali, N., Schwarzenberg, A., Jamois, F., Yvin, J. y Hosseini, S.A. (2018). Silicon transcriptionally regulates sulfur and ABA metabolism and delays leaf senescence in barley under combined sulfur deficiency and osmotic stress. *Environ. Exp. Bot.* 155, 394–410. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.07.026>.
- Ma, J., y Yamaji, N. (2006). Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science*, 11, 392-397. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2006.06.007>.

- Mali, M. y Aery, N. (2008). Influence of silicon on growth, relative water contents and uptake of silicon, calcium and potassium in wheat grown in nutrient solution. *Journal of Plant Nutrition*. 31, 1867–1876. <https://doi.org/10.1080/01904160802402666>.
- Manivannan, A. y Ahn, Y. K. (2017). Silicon Regulates Potential Genes Involved in Major Physiological Processes in Plants to Combat Stress. *Frontiers in Plant Science*. PMID: 28824681; PMCID: PMC5541085. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01346>.
- Markovich, O., Steiner, E., Kouřil, Š., Tarkowski, P., Aharoni, A. y Elbaum, R. (2017). *Silicon promotes cytokinin biosynthesis and delays senescence in Arabidopsis and Sorghum*. *Plant, Cell & Environment*. 40,1189-1196. <https://doi.org/10.1111/pce.12913>.
- Masoud, A. A., Ibraheem, F. E. y Khodair, O. A. (2019). Effect of Foliar Application of Zinc, Boron and Silicon on Growth and Fruiting of Balady Mandarin Trees. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*. Vol. 50 Issue 2, p206-218. 13p. <https://doi.org/10.21608/ajas.2019.41249>.
- Mendoza, F. y Rocha, S. (2002). Polyamines: growth regulators with Multiples effects in plants. *Revista Palmas*; Volumen 23, Número 4 (2002); 39-46. 0121-2923. <https://bit.ly/3uyAYNM>.
- Mengel, K. (2007). *Potassium*. In: Barker, A.V., Pilbeam, D.J. (Eds.), *Handbook of Plant Nutrition*. Taylor & Francis Group CRC Press, Boca Raton, FLA, pp. 51–90. <https://bit.ly/3eiaDL1>.
- Mengel, K. y Kirkby E. (2000). *Principios de nutrición vegetal*. Instituto Internacional de la Potasa. 4ta. Ed y 1era en español. Basilea - Suiza. <https://bit.ly/3Iwal1G>.
- Merhaut, D. J. (2007). *Magnesium*. In: Barker, A.V., Pilbeam, D.J. (Eds.), *Handbook of Plant Nutrition*. Taylor & Francis Group CRC Press, Boca Raton, FLA, pp. 21–50. <https://bit.ly/3eiaDL1>.
- Munaretto, L., Botelho, R., Resende, J., Schwarz, K. y Sato, A. (2018). Produtividade e qualidade de morangos orgânicos tratados em pré-colheita com óxido de silício. *Horticultura Brasileira*. 36: 040-046. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620180107>.
- Nazir, G., Kumar, P., Shukla, A. K. y Sharma, U. (2019). Influence of boron fertilization on cauliflower productivity, nutrient uptake and soil nutrient status in an acid Alfisol in Northwestern Himalaya. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(12), 1403–1416. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1614610>.
- Olivera, S. J. (2012). *Cultivo de Fresa (Fragaria x ananassa Duch)*. Huaral: Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA [Manual]. <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/752>.

- Olivera, S. J. (2003). *El cultivo de la fresa en el Perú*. Huaral: Instituto Nacional de Investigación Agraria – INIA. [Manual]. <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/897>.
- Ouellette, S., Goyette, M. H., Labbé, C., Laur, J., Gaudreau, L., Gosselin, A., Dorais, M., Deshmukh, R. y Bélanger, R. (2017). Silicon Transporters and Effects of Silicon Amendments in Strawberry under High Tunnel and Field Conditions. *Journal Frontiers in Plant Science*. Vol. 8. ISSN: 1664-462X. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00949>.
- Palacios, H. N. D. (2012). *Uso de tres mejoradores de retención de nutrientes en el suelo*. [tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. Cevallos - Ecuador. Repositorio Institucional U.T.A. <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/8220>.
- Pérez, L. F. (2017). *Fisiología Vegetal, Parte III, Nutrición mineral*. En Pérez Leal, F. (Ed.) Fisiología Vegetal - I, II, III y IV. Pucallpa – Perú. Universidad Nacional de Ucayali - Repositorio institucional U.N.U. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/3201>.
- Peris-Felipo, F.J., Benavent-Gil, Y. y Hernández-Apaolaza, L. (2020). Silicon beneficial effects on yield, fruit quality and shelf-life of strawberries grown in different culture substrates under different iron status. *Plant Physiol. Biochem.* 152, 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.04.026>.
- Piaggese, A. (2004). *Los microelementos en la nutrición vegetal*. VALAGRO S.P.A. Italia. <https://bit.ly/45aN6W2>.
- Pilbeam, D. J. y Morley, P. S. (2007). *Calcium*. In: Barker, A.V., Pilbeam, D.J. (Eds.), Handbook of Plant Nutrition. Taylor & Francis Group CRC Press, Boca Raton, FLA, pp. 21–50. <https://bit.ly/3eiaDL1>.
- Pontigo, S., Ribera, A., Gianfreda, L., Mora, M., Nikolic, M. y Cartes, P. (2015). Silicon in vascular plants: Uptake, transport and its influence on mineral stress under acidic conditions. *Planta* 242(1):23-37. <https://doi.org/10.1007/s00425-015-2333-1>.
- Pritts, M., Handley, D., Walker, C., Boyce, B., Cooley, D., Daum, D., DeMarree, A., Derksen, R., Dill, J., Fiola, J., Goulart, B., Hancock, J., Maloney, K., Rieckenberg, R., Schloemann, S., Watkins, C. y Wilcox, W. (1998). *Strawberry Production Guide for the Northeast, Midwest, and Eastern Canada*. Ithaca, N.Y.: Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Cooperative Extension. <https://hdl.handle.net/1813/66932>.

- Quddus, M.A., Siddiky, M.A., Ali, M.R., Ahmed, R., Sarker, K.K., y Arfin, M.S. (2021). Influence of boron and zinc on yield, nutrient uptake and quality of strawberry. *Journal of Plant Nutrition*, 45, 866 - 882. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1998528>.
- Rashid, M. (2019). Optimisation of Growth Yield and Quality of Strawberry Cultivars through Organic Farming. *Journal of Environmental Science and Natural Resources*, 11(1-2), 121–129. <https://doi.org/10.3329/jesnr.v11i1-2.43379>.
- Rodolfi, M., Barbanti, L., Giordano, C., Rinaldi, M., Fabbri, A., Pretti, L., Casolari, R., Beghé, D., Petruccelli, R. y Ganino, T. (2021). The Effect of Different Organic Foliar Fertilization on Physiological and Chemical Characters in Hop (*Humulus lupulus* L., cv Cascade) Leaves and Cones. *Applied Sciences*. 11(15):6778. <https://doi.org/10.3390/app11156778>.
- Rodriguez-Jimenez, T., Ojeda-Barrios, D.L., Blanco-Macias, F., Valdez-Cepeda, R.D. y Parra-Quezada, R. (2016). Urease and nickel in plant physiology. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 22, 69–81. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2014.11.051>.
- Rodríguez, O. I. (2018). *Aplicación de nutrientes foliares en los estados fenológicos del cultivo de Mora (Rubus glaucus Benth) en la granja experimental Pillaro*. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. Ambato - Ecuador. Repositorio institucional U.T.A. <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27128>.
- Römheld V. y Nikolic, M. (2007). *Iron*. In: Barker, A.V., Pilbeam, D.J. (Eds.), *Handbook of Plant Nutrition*. Taylor & Francis Group CRC Press, Boca Raton, FLA, pp. 21–50. <https://bit.ly/3eiaDLI>.
- Salas, R. E. (2002). *Herramientas de diagnóstico para definir recomendaciones de fertilización foliar*. En: *Memorias Seminario Fertilización foliar: principios y aplicaciones*, ed. G Meléndez y E. Molina. Laboratorio de Suelos CIA-UCR/ACCS, San José, Costa Rica. p. 7-18. <https://bit.ly/3VfQmLm>.
- Sanchez, C. A. (2007). *Phosphorus*. In: Barker, A.V., Pilbeam, D.J. (Eds.), *Handbook of Plant Nutrition*. Taylor & Francis Group CRC Press, Boca Raton, FLA, pp. 51–90. <https://bit.ly/3eiaDLI>.
- Saridaş, M., Karabıyık, Ş., Eti, S. y Kargı, S. (2021). Boron Applications and Bee Pollinators Increase Strawberry Yields. *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 481–491. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1907010>.

- Savvas D., Ntatsi G. (2015). Biostimulant activity of silicon in horticulture. *Scientia Horticulturae*, Vol. 196, 66-81, ISSN 0304-4238. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.010>.
- Schachtman, D.P. y Shin, R. (2007). Nutrient sensing and signaling: NPKS. *Annual Review of Plant Biology*. 58, 47–69. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.58.032806.103750>.
- Silva, A.D., Pio, R., Reis, L.A., Afridi, M.S., Suárez, N.F., Peche, P.M., y Ribeiro, C.H. (2023). Silicon application for the production and quality of raspberry fruit in a subtropical region. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2023.v58.03371>.
- Silva, M.L., Resende, J.T., Trevizam, A.R., Figueiredo, A.S., y Schwarz, K. (2013). Influence of silicon on production and fruit quality of strawberry. *Semina-ciencias Agrarias*, 34, 3411-3424. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.04.026>.
- Singh, H., Singh, V., Singh, S. y Khanna, R. (2001). Response of maize (*Zea mays*) to foliar application of Zinc and Boron. *Indian Journal of Agronomy*, 65(4), 489-492. <https://doi.org/10.59797/ija.v65i4.2998>.
- Snyder, G.H., Matichenkov, V.V. y Datnoff, L.E. (2007). *Silicon*. In: Barker, A.V., Pilbeam, D.J. (Eds.), *Handbook of Plant Nutrition*. Taylor & Francis Group CRC Press, Boca Raton, FLA, pp. 121–144. <https://bit.ly/3eiaDL1>.
- Sun, X., Kay, A. D., Kang, H. Z., Small, G. E., Liu, G. F., Zhou, X., Yin, S. y Liu, C.J. (2013). Correlated biogeographic variation of magnesium across trophic levels in a terrestrial food chain, *J. Plos One*, 8 (11), e78444. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0078444>.
- Tsonev, T. y Lidon, F. C. (2017). Zinc in plants - an overview. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, vol. 24, no. 4, nov. 2017, pp. 322-333, <https://bit.ly/4coMQp7>.
- Undurraga, D. P. y Vargas, S. S. (2013). *Manual de frutilla*. Chillán, Chile: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 262. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7616>.
- Universidad José Carlos Mariátegui (UJCM). (2009). *Experimentación Agrícola*. Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica. Moquegua – Perú. <https://bit.ly/3IialCc>.
- Umair, H. M., Aamer, M., Umer, C. M., Haiying, T., Shahzad, B., Barbanti, L., Nawaz, M., Rasheed, A., Afzal, A., Liu, Y. y Guoqin, H. (2020). The Critical Role of Zinc in Plants Facing the Drought Stress. *Agriculture*. 2020, 10(9), 396. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090396>.

- U.S. Department of Agriculture (2019). *FoodData Central*. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. <https://bit.ly/3Hp9sH2>.
- Vance, C.P., Uhde-Stone, C. y Allan, D.L. (2003). Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist*. 157, 423–447. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00695.x>.
- Vargas, V. (2007). *Estadística descriptiva para ingeniería ambiental con SPSS*. Repositorio institucional U.N.A.L. Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52004>.
- Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q. y Guo, S. (2013). The critical role of potassium in plant stress response. *Int. J. Mol. Sci.* 14, 7370–7390. <https://doi.org/10.3390/ijms14047370>.
- Wang, S., Wang, F. y Gao, S. (2015). Foliar application with nano-silicon alleviates Cd toxicity in rice seedlings. *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 22, 2837–2845. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3525-0>.
- Weber, N., Schmitzer, V., Jakopic, J. y Stampar, F. (2018). First fruit in season: seaweed extract and silicon advance organic strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch) fruit formation and yield. *Sci. Hortic.* 242, 103–109. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.07.038>.
- Witte, C.P., Tiller, S.A., Taylor, M.A. y Davies, H.V. (2002). Leaf urea metabolism in potato. Urease activity profile and patterns of recovery and distribution of N-15 after foliar urea application in wildtype and urease-antisense transgenics. *Plant Physiol.* 128 (3), 1129–1136. <https://doi.org/10.1104/pp.010506>.
- Wójcik, P. y Lewandowski, M. (2003). Effect of calcium and boron sprays on yield and quality of “Elsanta” strawberry. *Journal of Plant Nutrition*, 26(3), 671-682, <https://doi.org/10.1081/PLN-120017674>.
- Xiangnan, X., Guoyuan, Z., Yanmei, L., Yanxin, S. y Fulai, L. (2023). Silicon application improves strawberry plant antioxidation ability and fruit nutrition under both full and deficit irrigation. *Scientia Horticulturae*. VI: 309. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111684>.
- Yaghubi, K., Vafaei, Y., Ghaderi, N. y Javadi, T. (2019). Potassium silicate improves salinity resistant and affects fruit quality in two strawberry cultivars grown under salt stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(12), 1439-1451, <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1621333>.

- Yan, L., Riaz, M., Wu, X., Du, C., Liu, Y. y Jiang, C. (2018). Ameliorative effects of boron on aluminum induced variations of cell wall cellulose and pectin components in trifoliolate orange (*Poncirus trifoliolate* (L.) Raf.) rootstock. *Environmental Pollution*, volume 240, pages 764-774, ISSN 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.022>.
- Zahedi, S. M., Moharrami, F., Sarikhani, S. y Padervand, M. (2020). Selenium and silica nanostructure-based recovery of strawberry plants subjected to drought stress. *Scientific Reports*, 10, 17672 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74273-9>.
- Zydlik, Z., Pacholak, E. y Rutkowski, K. (2009). Effect of Actisil preparation on the growth of strawberries grown in the soil depleted by a long monoculture. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, volume 536, pages 259-265. <https://bit.ly/3Sn2bMH>.

# **ANEXOS**

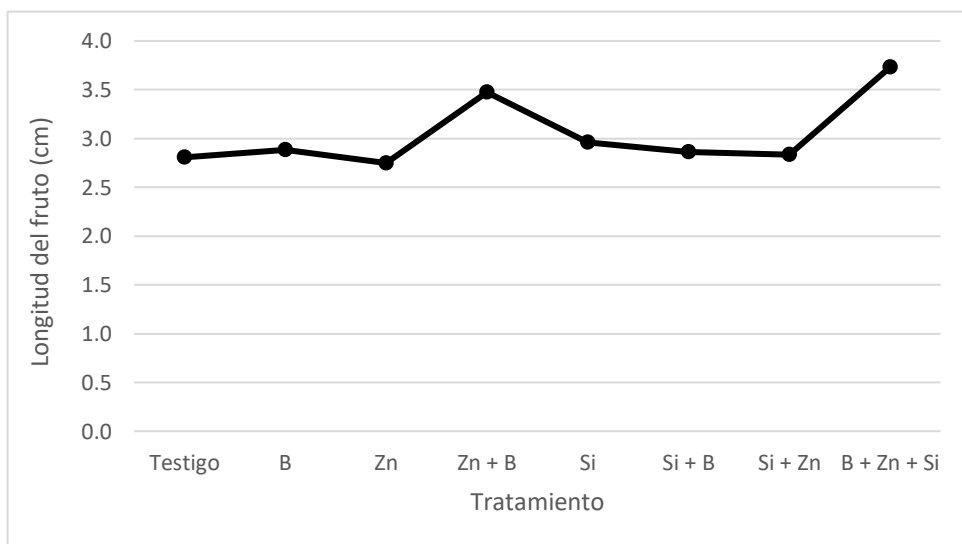
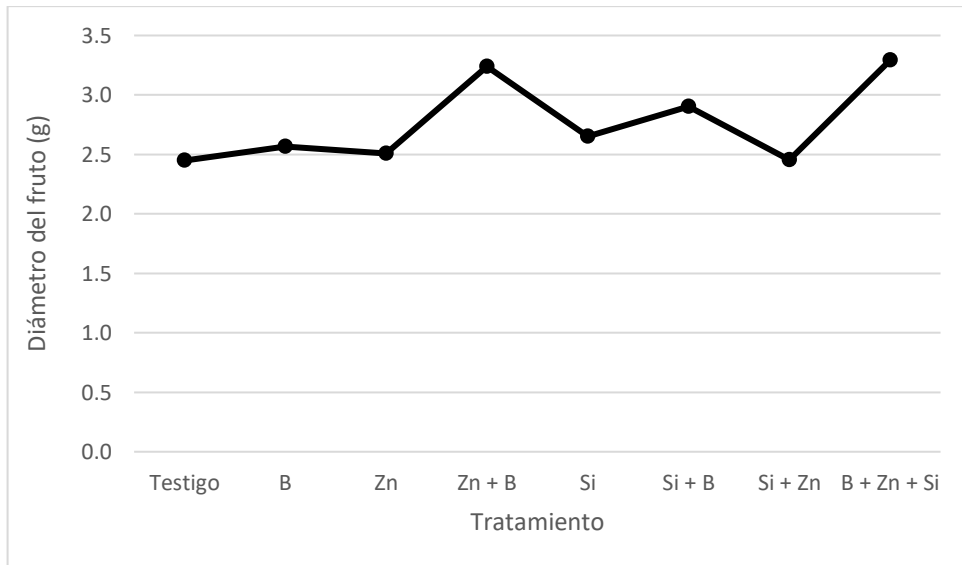
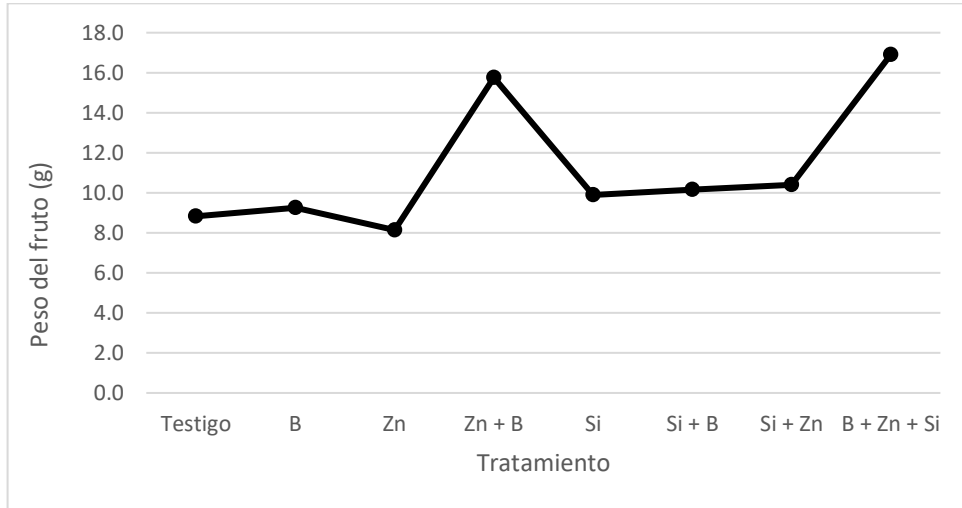
Anexo 1. Registro de parámetros fisicoquímicos evaluados.

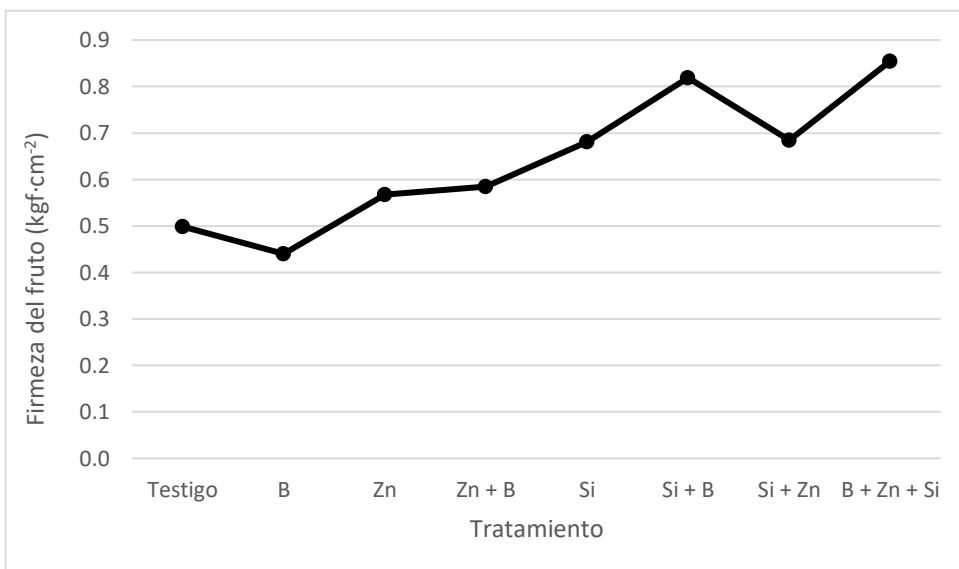
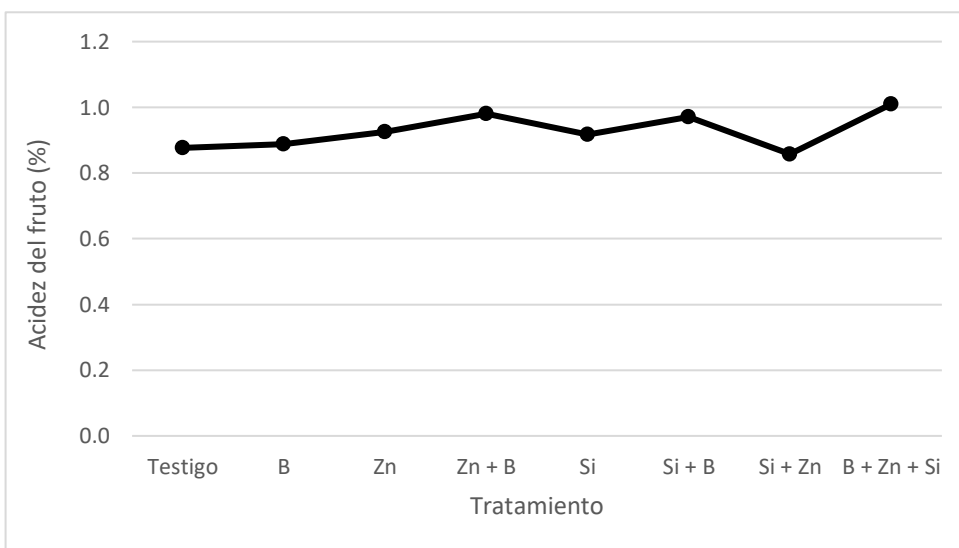
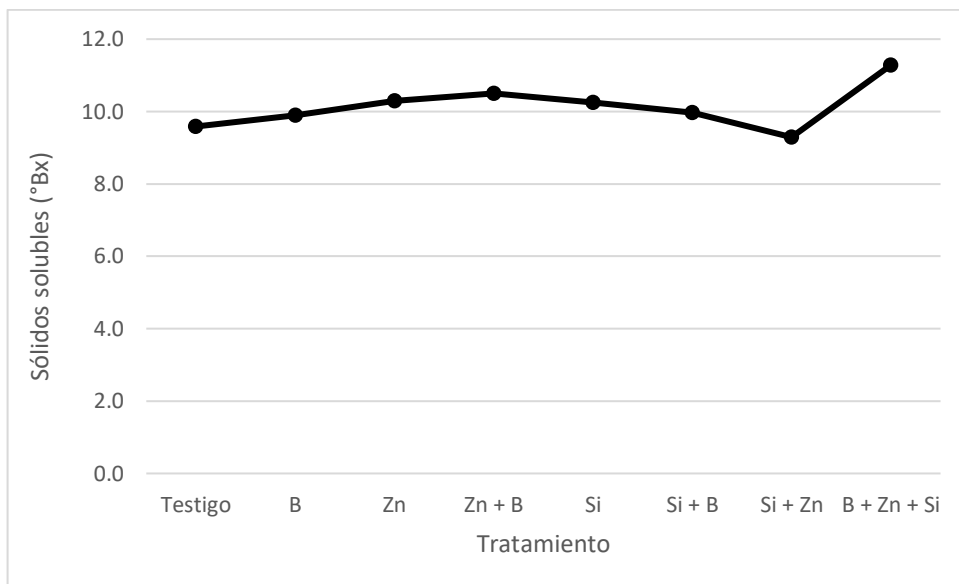
Tratamiento		Rep.	Peso del fruto (g)	Diámetro ecuatorial del fruto (cm)	Longitud del fruto (cm)	SST (Contenido de azúcar) (°Bx)	Materia Seca (%)	Acidez (Contenido de ácido cítrico) (%)	Firmeza (kg·cm <sup>-2</sup> )
T1	T	I	10,09	2,40	3,11	10,1	13,45	0,93	0,45
T1	T	II	8,02	2,32	2,47	9,0	12,83	0,93	0,62
T1	T	III	8,83	2,45	2,81	9,6	13,13	0,88	0,50
T1	T	IV	8,38	2,62	2,85	9,7	13,12	0,77	0,43
T2	B	I	7,66	2,40	2,71	9,2	13,07	0,92	0,42
T2	B	II	9,24	2,57	2,88	9,9	13,17	0,89	0,44
T2	B	III	6,95	2,28	2,59	9,8	13,14	0,84	0,49
T2	B	IV	13,12	3,02	3,34	10,6	13,28	0,90	0,41
T3	Zn	I	8,65	2,51	3,21	9,8	12,53	0,93	0,60
T3	Zn	II	8,18	2,42	2,64	10,4	13,59	0,92	0,59
T3	Zn	III	8,14	2,51	2,75	10,3	13,16	0,92	0,57
T3	Zn	IV	7,59	2,60	2,40	10,6	13,37	0,93	0,52
T4	Zn + B	I	15,75	3,24	3,48	10,5	13,29	0,98	0,58
T4	Zn + B	II	18,60	3,37	4,06	10,6	14,42	0,96	0,54
T4	Zn + B	III	15,07	3,31	3,11	10,0	13,13	1,02	0,53
T4	Zn + B	IV	13,59	3,04	3,26	10,9	12,32	0,96	0,68
T5	Si	I	8,77	2,56	2,90	10,8	13,12	0,88	0,70
T5	Si	II	9,89	2,65	2,96	10,2	13,31	0,92	0,68
T5	Si	III	8,10	2,58	2,71	10,1	15,23	0,92	0,73
T5	Si	IV	12,80	2,81	3,28	9,8	11,59	0,95	0,61
T6	Si + B	I	12,74	2,99	3,05	10,6	12,96	0,92	0,82
T6	Si + B	II	10,16	2,90	2,86	10,0	13,32	0,97	0,82
T6	Si + B	III	9,30	2,87	2,99	10,5	13,27	1,02	0,82
T6	Si + B	IV	8,45	2,85	2,54	8,8	13,72	0,97	0,82
T7	Si + Zn	I	10,32	2,22	2,11	7,7	13,65	0,65	0,58
T7	Si + Zn	II	10,82	2,66	2,99	9,9	12,78	0,96	0,76
T7	Si + Zn	III	10,05	2,48	3,41	10,2	13,34	0,96	0,72
T7	Si + Zn	IV	10,39	2,45	2,84	9,3	13,26	0,86	0,68
T8	B + Zn + Si	I	17,66	3,27	3,72	11,4	13,33	0,93	0,87
T8	B + Zn + Si	II	17,23	3,39	3,79	11,0	12,86	1,05	0,85
T8	B + Zn + Si	III	15,81	3,21	3,69	11,4	14,13	1,05	0,84
T8	B + Zn + Si	IV	16,90	3,29	3,73	11,3	13,44	1,01	0,85

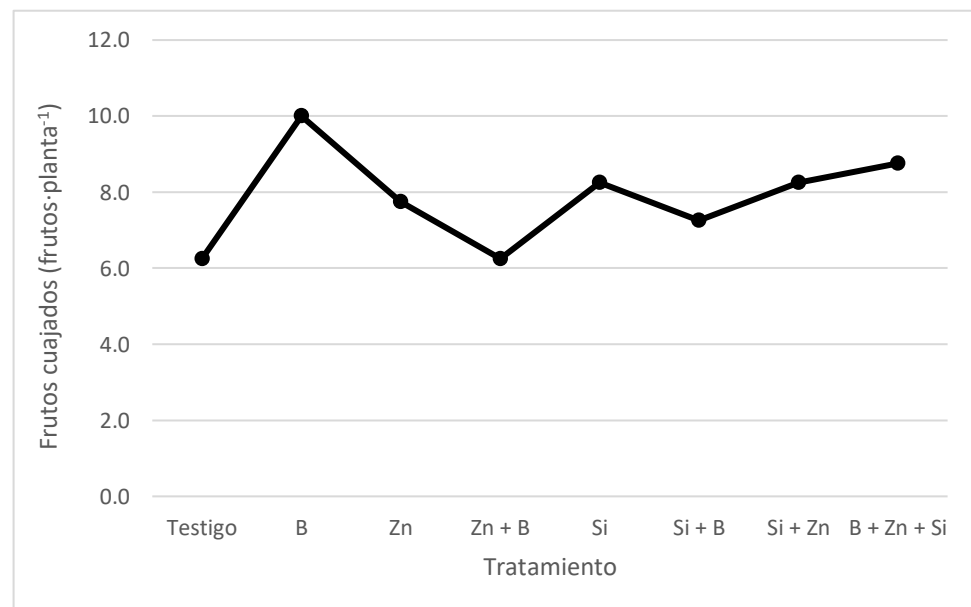
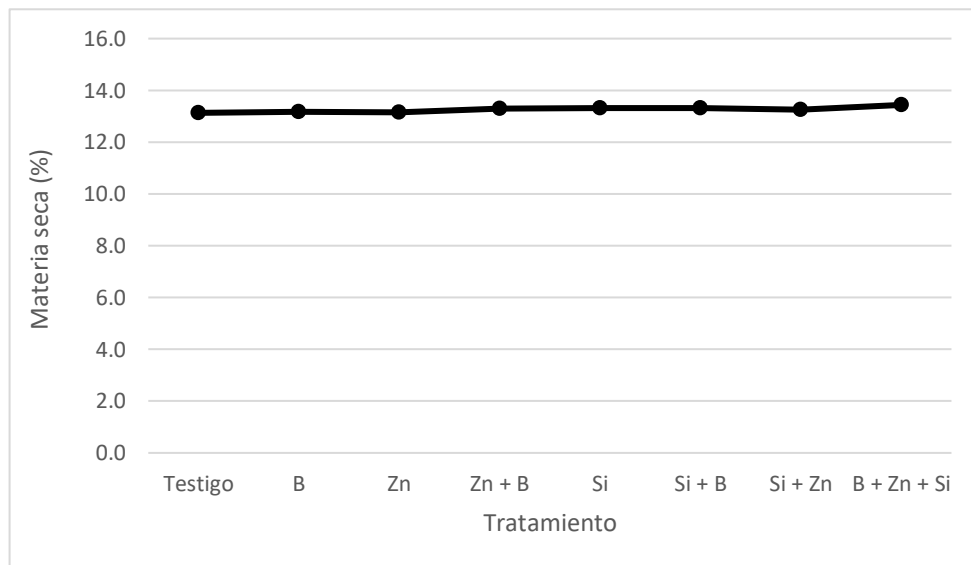
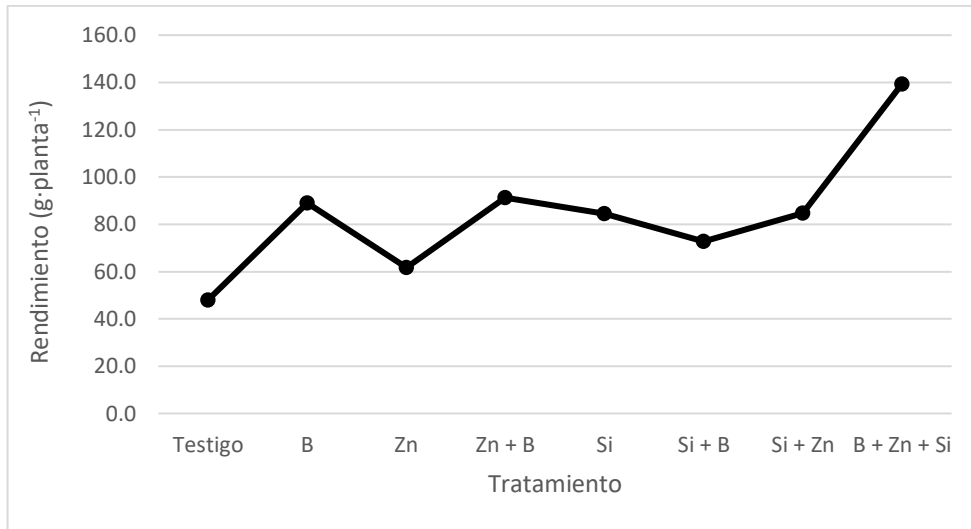
**Anexo 2.** Registro de datos para el rendimiento y frutos cuajados

Tratamiento		Rendimiento (g·planta <sup>-1</sup> )		Rendimiento promedio g·planta <sup>-1</sup>	Frutos cuajados
		Descripción	Peso total (g)		
T1	I	T	47,97	48,0	6
T1	II	T	54,89		
T1	III	T	48,00		
T1	IV	T	41,14		
T2	I	B	45,58	88,9	7
T2	II	B	88,94		
T2	III	B	81,06		
T2	IV	B	140,18		
T3	I	Zn	49,95	61,7	6
T3	II	Zn	73,59		
T3	III	Zn	61,67		
T3	IV	Zn	61,48		
T4	I	Zn + B	91,15	91,2	7
T4	II	Zn + B	117,88		
T4	III	Zn + B	66,53		
T4	IV	Zn + B	89,04		
T5	I	Si	48,47	84,4	6
T5	II	Si	84,42		
T5	III	Si	73,42		
T5	IV	Si	131,36		
T6	I	Si + B	93,86	72,7	8
T6	II	Si + B	72,72		
T6	III	Si + B	63,18		
T6	IV	Si + B	61,13		
T7	I	Si + Zn	63,98	84,6	6
T7	II	Si + Zn	111,54		
T7	III	Si + Zn	78,31		
T7	IV	Si + Zn	84,61		
T8	I	B + Zn + Si	153,03	139,4	9
T8	II	B + Zn + Si	132,09		
T8	III	B + Zn + Si	133,00		
T8	IV	B + Zn + Si	139,37		

**Anexo 3. Gráfico de líneas para todos los parámetros evaluados.**







## Anexo 4. Resultado del análisis de caracterización de suelos.



# 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:

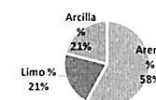
- EVALUACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS.
- INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS AGRÍCOLA.
- USO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS.
- ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL.
- AGRICULTURA SUSTENTABLE.

Solicitante	Sr. Carlos Najarro Gamboa				Fecha	22/12/2021	
Proyecto	Biosilice-Boro y Zinc foliar en el rendimiento y calidad de fresa (Fragaria x ananassa Duch) bajo cubierta. Ayacucho-2075 m.s.n.m.						
Departamento	Ayacucho	Provincia:	Huamanga	Distrito:	Ayacucho	Lugar	Pampa del Arco
Anexo		Altitud (m.s.n.m.)	2750	Superficie:		Coordenadas:	N/A
Codigo de muestra	14013	Referencia de Campo:	Sustrato	Cultivo anterior :		Cultivo a instalar:	Fresa

Parámetro	Resultado	Unidad	Clasificación	Ácido	Neutro	Básico
1	pH (1:1)	7.67	Unidad pH	Ligeramente alcalino		
2	Conductividad (1:1)	2.89	dS m. <sup>-1</sup>	Muy ligeramente salino		
3	Carbonatos	2.75	%	Bajo		
4	Materia orgánica	2.16	%	Medio		
5	Fósforo disponible	145.00	ppm	Muy Alto		
6	Potasio disponible	850	ppm	Muy Alto		
7	Nitrógeno total	0.11	%	Medio		
8	C.I.C.	27.57	Cmol (+).kg <sup>-1</sup>	Alto		

Parámetro	Resultado	Unidad	Clasificación	Bajo	Medio	Alto
10	Ca <sup>++</sup>	18.21	Cmol (+).kg <sup>-1</sup>	Alto		
11	Mg <sup>++</sup>	4.38	Cmol (+).kg <sup>-1</sup>	Alto		
12	K <sup>+</sup>	3.89	Cmol (+).kg <sup>-1</sup>	Muy Alto		
13	Na <sup>+</sup>	1.09	Cmol (+).kg <sup>-1</sup>	Alto		
14	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>	0.00	Cmol (+).kg <sup>-1</sup>	Muy bajo		
15	Saturación de bases	100	%	Alto		

Clase textural			Clase	Fr.Ar.A.
Arena	%	58		
Limo	%	21		
Arcilla	%	21		



Relaciones catiónicas		
Parámetro	Resultado	Valoración
Ca / K	4.68	Deficiencia de Calcio
Ca / Mg	4.16	Deficiencia de Calcio
Mg / K	1.13	Deficiencia de Magnesio
(Ca + Mg + K)/Al		



Ph.D. Maribel Perla Gómez  
Responsable Laboratorio

A = arena, A.Fr = Arena franca; Fr.A. = Franco arenoso; Fr = Franco; Fr.L = Franco limoso; L = Limoso; FrArA = 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 / 📞 966938028 - 966631889 / 📠 982781298 ✉ agrolab107@gmail.com

**Anexo 5. Panel fotográfico.**



Foto 1. Invernadero donde se instaló el experimento.



Foto 2 y 3. Preparación de sustrato y embolsado.



Foto 4 y 5. Esquejes de fresa y siembra.



Foto 6, 7 y 8. Preparación de las soluciones foliares.



Foto 9 y 10. Crecimiento de la planta de fresa y aplicación foliar a los tratamientos.



Foto 11, 12 y 13. Crecimiento y desarrollo de las plantas de fresa en los tratamientos.



Foto 14, 15, 16, 17, 18 y 19. Crecimiento y desarrollo de la planta de fresa.



Foto 20, 21, 22, 23, 24 y 25. Crecimiento y desarrollo del fruto.



Foto 26, 27 y 28. Diferentes plantas de fresa.



Foto 29. Cosecha del fruto.

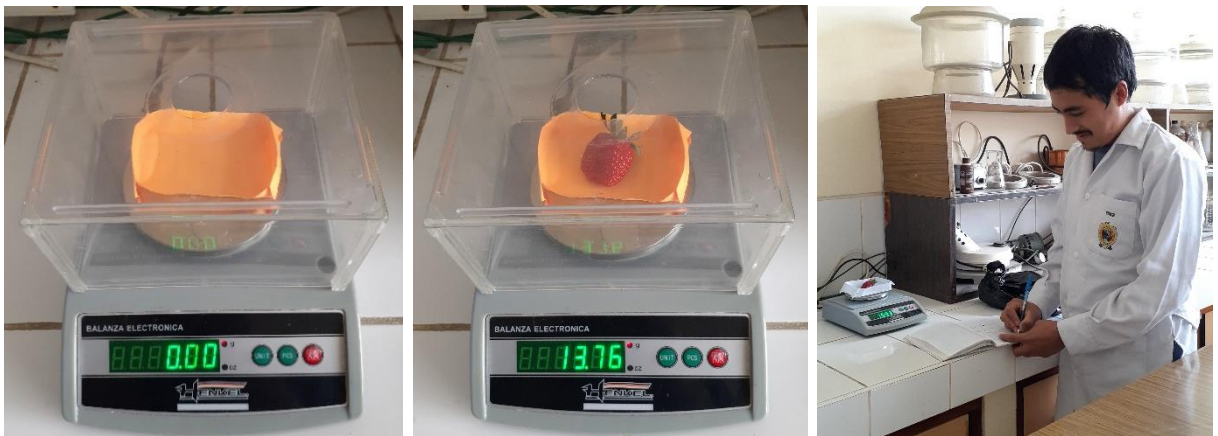


Foto 30, 31 y 32. Pesado del fruto.



Foto 33 y 34. Medición del tamaño de la fruta.

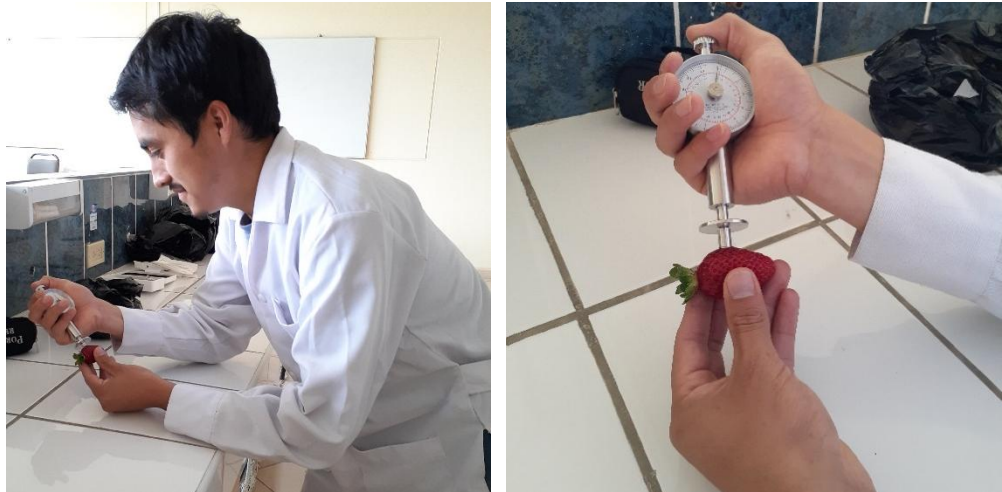


Foto 35 y 36. Medición de la firmeza del fruto.



Foto 37, 38 y 39. Obtención de jugo del fruto.

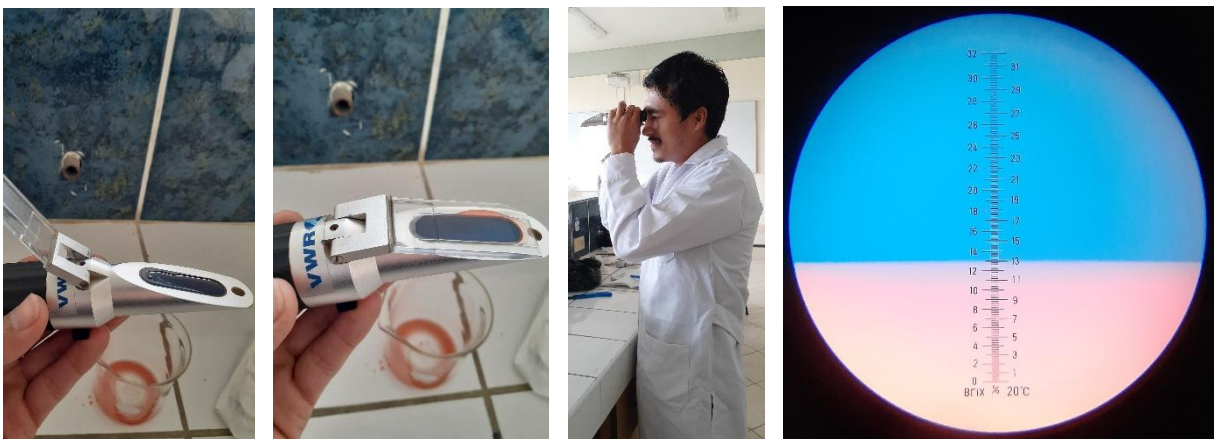


Foto 40, 41, 42 y 43. Medición de grados brix del jugo (contenido de azúcar) de fruta con el refractómetro de mano.

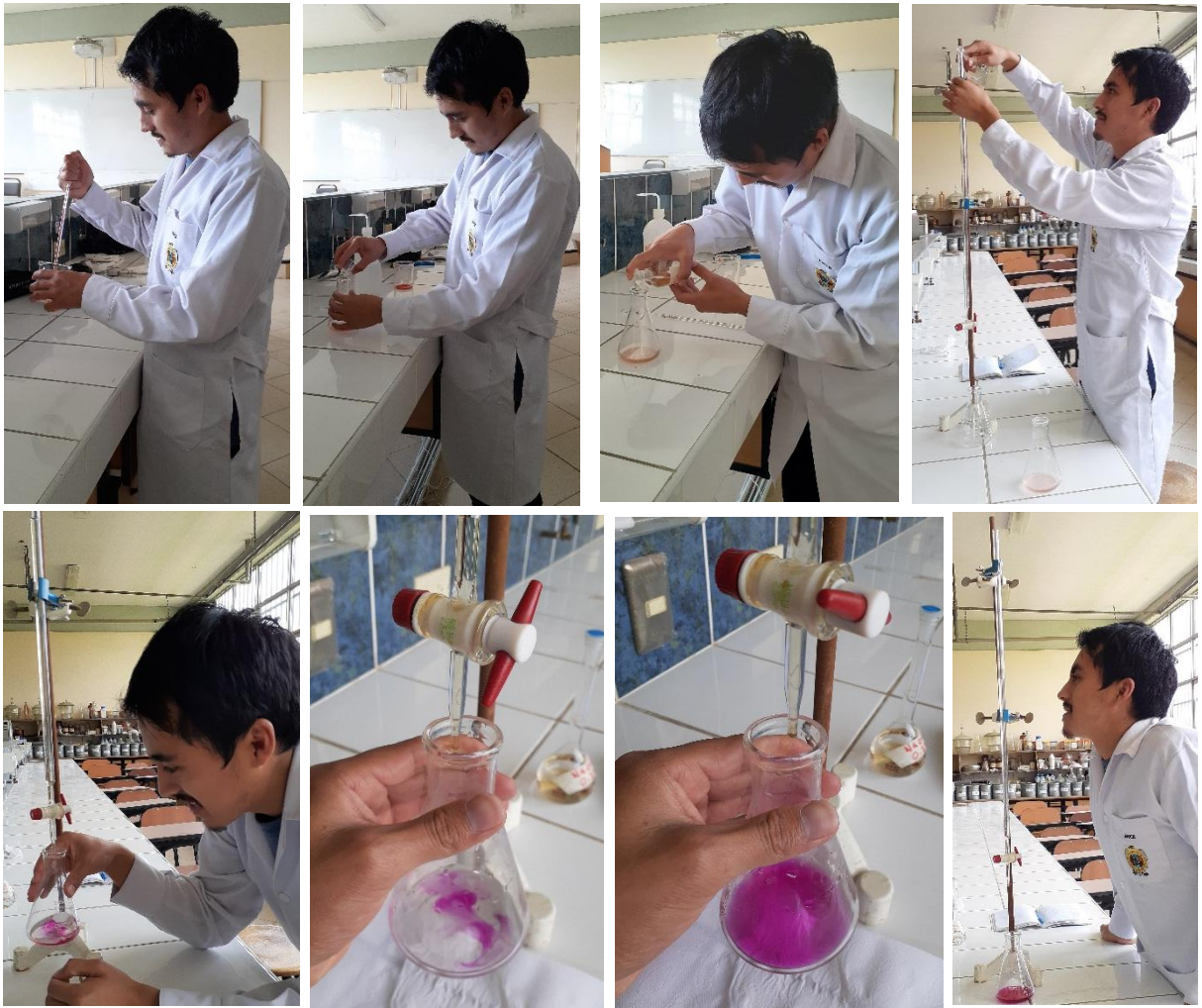


Foto 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50 y 51. Titulación para obtener la acidez del fruto (contenido de ácido cítrico).



Foto 52, 53 y 54. Determinación de materia seca del fruto.



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**  
**Bach. CARLOS AVELINO NAJARRO GAMBOA**

**R.D. N° 260-2025-UNSCH-FCA-D**

En la ciudad de Ayacucho a los veinticinco días del mes de setiembre del año dos mil veinticinco, siendo las dieciocho 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 el Dr. Juan Ramiro Palomino Malpartida, Ph.D. Marhleri Cerda Gómez, como asesora; Mg. Alex Lázaro Tineo Bermúdez y Mg. Efigenio Quispe Curi; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Biosilice, boro y zinc foliar en el rendimiento y calidad de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) bajo cubierta. Ayacucho - 2750 m.s.n.m.**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo, presentado por el Bachiller **CARLOS AVELINO NAJARRO GAMBOA**.

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
Dr. Juan Ramiro Palomino Malpartida	16	16	15	16
Ph.D. Marhleri Cerda Gómez	16	16	16	16
Mg. Alex Lázaro Tineo Bermúdez	17	14	16	16
Mg. Efigenio Quispe Curi	15	14	14	14
<b>PROMEDIO GENERAL</b>				<b>16</b>

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

.....  
**Dr. Juan Ramiro Palomino Malpartida**  
*Presidente*

.....  
**Ph.D. Marhleri Cerda Gómez**  
*Asesora*

.....  
**Mg. Alex Lázaro Tineo Bermúdez**  
*Jurado*

.....  
**Mg. Efigenio Quispe Curi**  
*Jurado*

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



**UNSCH**

FACULTAD DE CIENCIAS  
**AGRARIAS**

## CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe, miembro de la comisión de docentes instructores responsables de operativizar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de **TESIS** de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, autorizado por R.D. N° 226-2025-UNSCH-FCA-D, de fecha 19 de agosto de 2025; hace constar que el trabajo titulado;

**Efecto de la aplicación foliar de biosílice, boro y zinc en el rendimiento y calidad de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) bajo cubierta. Ayacucho - 2750 m.s.n.m.**

Autor : Carlos Avelino NAJARRO GAMBOA

Asesor : Marhleni CERDA GOMEZ

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de Tesis, aprobado mediante la RCU N° 039-2021-UNSCH-CU, arrojando un resultado de diecinueve por ciento (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: 2783009035

Ayacucho, 16 de octubre de 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
Facultad de Ciencias Agrarias

Ing. Edgar Tenorio Mancilla  
Coordinador de Control de originalidad de  
trabajo de Investigación y tesis - FCA

Efecto de la aplicación foliar de  
biosílice, boro y zinc en el  
rendimiento y calidad de fresa  
(Fragaria x ananassa Duch) bajo  
cubierta. Ayacucho - 2750  
m.s.n.m.

*por* Carlos Avelino NAJARRO GAMBOA

---

**Fecha de entrega:** 16-oct-2025 10:22a. m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2783009035

**Nombre del archivo:** TESIS\_FRESA\_Carlos\_11.10.25.pdf (4.74M)

**Total de palabras:** 24146

**Total de caracteres:** 127328

# Efecto de la aplicación foliar de biosílice, boro y zinc en el rendimiento y calidad de fresa (Fragaria x ananassa Duch) bajo cubierta. Ayacucho - 2750 m.s.n.m.

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>19%</b>	<b>20%</b>	<b>4%</b>	<b>5%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.unsch.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>4%</b>
<b>2</b>	<b>doczz.net</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>www.researchgate.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>idoc.pub</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.utc.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>aprenderly.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>repositorio.puce.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>repositoriodspace.unipamplona.edu.co</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>9</b>	<b>rid.unrn.edu.ar</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>10</b>	<b>Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga</b>	<b>&lt;1%</b>

11 [vdocuments.es](http://vdocuments.es) <1 %  
Fuente de Internet

---

12 [www.unido.org](http://www.unido.org) <1 %  
Fuente de Internet

---

13 [mexico.infoagro.com](http://mexico.infoagro.com) <1 %  
Fuente de Internet

---

14 Dieter Krause. "Glasses", Springer Handbook of Condensed Matter and Materials Data, 2005 <1 %  
Publicación

---

15 [www.exa.unne.edu.ar](http://www.exa.unne.edu.ar) <1 %  
Fuente de Internet

---

16 [docplayer.es](http://docplayer.es) <1 %  
Fuente de Internet

---

17 [cienciasagricolas.inifap.gob.mx](http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx) <1 %  
Fuente de Internet

---

18 [repositorio.inia.gob.pe](http://repositorio.inia.gob.pe) <1 %  
Fuente de Internet

---

19 [wikisabio.com](http://wikisabio.com) <1 %  
Fuente de Internet

---

20 [helvia.uco.es](http://helvia.uco.es) <1 %  
Fuente de Internet

---

21 [repositorio.unu.edu.pe](http://repositorio.unu.edu.pe) <1 %  
Fuente de Internet

---

22 [tesis.ucsm.edu.pe](http://tesis.ucsm.edu.pe) <1 %  
Fuente de Internet

---

23	Fuente de Internet	<1 %
24	<a href="http://purl.org">purl.org</a> Fuente de Internet	<1 %
25	<a href="http://dspace.unitru.edu.pe">dspace.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
26	<a href="http://repositorio.unapiquitos.edu.pe">repositorio.unapiquitos.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
27	<a href="http://www.dspace.uce.edu.ec">www.dspace.uce.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
28	<a href="http://repositorio.ug.edu.ec">repositorio.ug.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
29	<a href="http://www.hixea.org">www.hixea.org</a> Fuente de Internet	<1 %
30	<a href="http://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
31	<a href="http://dokumen.site">dokumen.site</a> Fuente de Internet	<1 %
32	<a href="http://pdfslide.tips">pdfslide.tips</a> Fuente de Internet	<1 %
33	<a href="http://repositorio.uaaan.mx">repositorio.uaaan.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
34	Submitted to Universidad Técnica Nacional de Costa Rica Trabajo del estudiante	<1 %
35	<a href="http://repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx">repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx</a> Fuente de Internet	<1 %

[www.horticulturaar.com.ar](http://www.horticulturaar.com.ar)

Excluir citas      Activo

Excluir coincidencias      < 30 words

Excluir bibliografía      Activo

**Efecto de la aplicación foliar de biosílice, boro y zinc en el rendimiento y calidad de fresa  
(*Fragaria x ananassa* Duch) bajo cubierta. Ayacucho - 2750 m.s.n.m**

Najarro Gamboa, Carlos Avelino

[carlos.najarro.01@unsch.edu.pe](mailto:carlos.najarro.01@unsch.edu.pe)

Cerda Gómez, Marhleni

[Marhleni.cerda@unsch.edu.pe](mailto:Marhleni.cerda@unsch.edu.pe)

**Área de investigación:** Medio ambiente

**Línea de investigación:** Suelos agua y medio ambiente

**RESUMEN**

El experimento se instaló en invernadero, ubicado en el campus de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, provincia de Huamanga (2750 m.s.n.m). Se estudiaron en macetas de 2 kg de capacidad en suelo ligeramente alcalino, en cultivo de fresas, el efecto de aplicar al follaje 2 niveles de boro, zinc y silicio, en 8 tratamientos: T1 (0-0-0), T2 (0.025% boro), T3 (0.05% zinc), T4 (0.05% zinc + 0.025% boro), T5 (0.2% sílice), T6 (0.2% sílice + 0.025% boro), T7 (0.2% sílice + 0.05% zinc), T8 (0.025% boro + 0.05% zinc + 0.2% sílice), con cuatro repeticiones, en el diseño completamente randomizado, un total de 32 unidades experimentales. Se evaluaron parámetros de calidad y rendimiento en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) variedad San Andreas. Los resultados muestran que aplicar simultáneamente B, Zn y Si aumentó el peso, diámetro, longitud de fruto, sólidos solubles (contenido de azúcares), acidez (contenido de ácido cítrico), frutos cuajados, firmeza y rendimiento, sin diferencia en la materia seca del fruto. La aplicación individual del biosílice influyó en la firmeza del fruto y positivamente en todos los parámetros evaluados. El boro y zinc individualmente tuvieron efectos positivos en la mayoría de los parámetros a excepción de la firmeza del fruto (B), peso y longitud del fruto (Zn). La aplicación del tratamiento completo (0.025% B + 0.05% Zn + Biosílice 0.2% biosílice) incrementa significativamente el rendimiento y las características fisicoquímicas del fruto en el peso ( $16.90 \text{ g} \cdot \text{fruto}^{-1}$ ), diámetro ecuatorial (3.29 cm) y longitud del fruto (3.73 cm), sólidos solubles totales (11.28 °Bx [contenido de azúcares]), acidez (1.01% [contenido de ácido cítrico]) y firmeza del fruto ( $0.85 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ).

**Palabras clave:** fresa, boro, zinc y biosílice foliar.

**Effect of foliar application of biosilica, boron and zinc on the yield and quality of strawberries (*Fragaria x ananassa* duch) under cover. ayacucho - 2,750 m.s.n.m.**

**ABSTRACT**

The experiment was set up in a greenhouse, located on the campus of the National University San Cristóbal de Huamanga, Huamanga province (2750 m.s.n.m.). The effect of applying 2 levels of boron, zinc and silicon to the foliage was studied in 2 kg capacity pots in slightly alkaline soil, in strawberry cultivation, in 8 treatments: T1 (0-0-0), T2 (0.025% boron), T3 (0.05% zinc), T4 (0.05% zinc + 0.025% boron), T5 (0.2% silica), T6 (0.2% silica + 0.025% boron), T7 (0.2% silica + 0.05% zinc), T8 (0.025% boron + 0.05% zinc + 0.2% silica), with four replications, in the completely randomized design, a total of 32 experimental units. Quality and yield parameters were evaluated in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch) variety San Andreas. The results show that simultaneous application of B, Zn and Si increased fruit weight, diameter, length, soluble solids (sugar content), acidity (citric acid content), fruit set, firmness and yield, with no differences in fruit dry matter. The individual application of biosilica influenced fruit firmness and positively influenced all the parameters evaluated. Boron and zinc individually had positive effects on most parameters except for fruit firmness (B) and fruit weight and length (Zn). The application of the complete treatment (0.025% B + 0.05% Zn + Biosilica 0.2% biosilica) significantly increases the yield and physicochemical characteristics of the fruit in weight (16.90 g·fruit<sup>-1</sup>), equatorial diameter (3.29 cm) and length of the fruit (3.73 cm), total soluble solids (11.28 °Bx [sugar content]), acidity (1.01% [citric acid content]) and firmness of the fruit (0.85 kg·cm<sup>-2</sup>).

**Keywords:** strawberry, boron, zinc, and foliar biosilica.

## 1. INTRODUCCIÓN

La fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) es una fruta roja deliciosa, de sabor delicado, refrescante y atractiva (Sharma, 2002, como se cita en Rashid, 2019). Es buena fuente de compuestos bioactivos como vitamina C, E, b-caroteno, compuestos fenólicos, folato, potasio y bajo contenido calórico (Kazemi, 2014). El fruto posee una epidermis delgada y elevada humedad, resultando muy perecible y expuesto al deterioro causado por daño mecánico o por microorganismos (Undurraga y Vargas, 2013). Consideramos que una adecuada nutrición que contribuya al incremento de la resistencia con nutrientes de relaciones sinérgicas y de aplicación foliar, es una perspectiva interesante a la convencional, evitando la aplicación excesiva de fertilizantes y el óptimo uso por la planta, sin poner en riesgo la calidad de cosecha. Existen elementos que por su función favorecen la constitución de paredes celulares resistentes, producto de la formación de carbohidratos complejos que mejora la resistencia de las frutas. Así el boro y el silicio tienen por objeto contribuir con la formación de complejos que coadyuvan la conformación de paredes celulares (Głazowska, *et al.*, 2018, como se cita en Yan *et al.* 2018) y el zinc, en la integridad estructural y funcional de la membrana biológica (Umair *et al.*, 2020). De otro lado al silicio, se le atribuyen

otras funciones como la regulación fisiológica, metabolismo bioquímico y antioxidante en plantas para aliviar estrés abiótico y biótico (Carrasco-Gil *et al.*, 2018). Por tales razones se plantearon estudiar las aplicaciones de boro, zinc y biosílice al cultivo de fresa en condiciones de invernadero y evaluar el efecto en los parámetros fisicoquímicos y rendimiento de frutos. La investigación tuvo como objetivo general evaluar el efecto de la aplicación foliar de biosílice, boro y zinc sobre los parámetros fisicoquímicos y rendimiento de fresa (*Fragaria x annanasa* Duch) bajo cubierta.

## 2. METODOLOGÍA

### Ubicación

El trabajo de investigación se instaló en la ciudad universitaria, en ambiente cercano a la Escuela Profesional de Agronomía, distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga. Cuyas coordenadas geográficas son: latitud: 13°08'43" S, longitud: 74°13'21" W y altitud: 2750 m.s.n.m.

### Sustrato

Se mezcló tierra agrícola, musgo serrano y humus de lombriz, en una proporción de 7:2:1, la mezcla fue analizada (Tabla 2.1), con el fin de conocer las características del sustrato.

**Tabla 2.1**

*Resultados del análisis físico – químico – biológico del sustrato empleado.*

Propiedades químicas	Valor	Unidad	Interpretación
pH	7,67	-	Ligeramente alcalino
CE	2,89	(dS·m <sup>-1</sup> )	Suelo libre de excesos de sales y sodio
Carbonatos	2,75	%	Medio
N-total	0,11	%	Medio
M.O.	2,16	%	Medio
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	145	ppm	Muy alto
Kdisp	850	ppm	Muy alto
%SB	100	%	Suelo saturado de bases
CIC	27,57	meq·100g <sup>-1</sup>	Alto
Ca	18,21	meq·100g <sup>-1</sup>	Alto
Mg	4,38	meq·100g <sup>-1</sup>	Alto
K	3,89	meq·100g <sup>-1</sup>	Muy Alto
Propiedades físicas			
Ar	58	%	
Limo	21	%	
Arcilla	21	%	
Clase textural	Fr.Ar.A.	-	Moderadamente fina

### Tratamientos y diseño experimental

**Tabla 2.2**

*Descripción de los tratamientos.*

Tratamiento	Código	Descripción
T1	T	Testigo
T2	B	Boro
T3	Zn	Zinc
T4	Zn + B	zinc + boro
T5	Si	Silicio
T6	Si + B	biosílice + boro
T7	Si + Zn	biosílice + zinc
T8	B + Zn + Si	boro + zinc + biosílice

El experimento se instaló siguiendo un diseño completamente randomizado (DCR) con arreglo factorial de tres factores 2A\*2B\*2C, con cuatro repeticiones (32 unidades experimentales).

### Instalación y conducción

El sustrato elaborado se dispuso en bolsas de polietileno de 2 kg de capacidad. Las dosis por elemento fueron: 0.025% de boro, 0.005% de zinc y 0.20% de biosílice, cuyas fuentes fueron ácido bórico  $H_3BO_3$  (17% B), sulfato de zinc  $SO_4Zn$  (16% Zn) y diatomita (90% sílice biogénico o biosílice), respectivamente. Estas aplicaciones foliares se realizaron durante el crecimiento del cultivo hasta el inicio de la floración. Además, se realizó 5 abonamientos con nitrógeno (sulfato de amonio) y hierro (sulfuro de hierro diluido). El trabajo de investigación duró 6 meses.

### Parámetros fisicoquímicos evaluados

- Número de frutos cuajados y retenidos (unidad). Se evaluó contando los frutos totales.
- Peso de frutos (g). Se realizó empleando una balanza eléctrica de precisión.
- Diámetro ecuatorial de fruto (cm). Se determinó empleando un vernier.
- Longitud del fruto (cm). Se determinó empleando un vernier.
- Sólidos solubles totales ( $^{\circ}Bx$ ) (contenido de azúcares). Se utilizó un refractómetro de mano.
- Acidez titulable (Contenido de ácido cítrico) (%). Tomando 1 ml de alícuota de jugo de fresa en 19 ml de agua destilada se procedió a titular con NaOH 0.1N hasta el punto de viraje. Previamente calculó el volumen de la alícuota de NaOH y obtener el volumen ( $V_1$ ) de la solución madre para obtener NaOH de 0.1N, con el gasto se calculó la acidez (%A):

$$C_1V_1 = C_2V_2 \quad \%A = \left[ \frac{(0.064)(N_{NaOH})(ml \text{ gasto})}{g \text{ muestra}} \right] * 100$$

- Materia seca de frutos (%). Se determinó por gravimetría, dejando secar en estufa ( $105^{\circ}C$ ).
- Firmeza del fruto ( $kg \cdot cm^{-2}$ ). Se determinó haciendo uso de un durómetro (modelo GY-3).
- Rendimiento de fruto por planta ( $g \cdot planta^{-1}$ ). Producción total de cada unidad experimental.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## Número de frutos cuajados y retenidos

**Tabla 3.1**

*Análisis de varianza del número de frutos cuajados y retenidos.*

Fuente	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	P valor	
Tratamiento	7	2013.75	251.72	122.66	0.000	**
Si	1	2.53	2.53	1.23	0.278	ns
Zn	1	0.28	0.28	0.14	0.714	ns
B	1	1.53	1.53	0.75	0.396	ns
Si * Zn	1	7.03	7.03	3.43	0.077	ns
Si * B	1	3.78	3.78	1.84	0.187	ns
Zn * B	1	7.03	7.03	3.43	0.077	ns
Si * Zn * B	1	22.78	22.78	11.10	0.003	**
Error	24	49.25	2.05			
Total	31	2063.00				

CV: 22,23 %

**Tabla 3.2**

*Prueba Duncan para el número de frutos cuajados y retenidos.*

Tratamiento	N	Promedio	Grupo Duncan		
Boro	4	10.00	a		
Boro + Zinc + Silicio	4	8.75	a	b	
Silicio + Zinc	4	8.25	a	b	c
Silicio	4	8.25	a	b	c
Zinc	4	7.75	a	b	c
Silicio + Boro	4	7.25		b	c
Zinc + Boro	4	6.25			c
Testigo	4	6.25			c

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

El análisis de varianza del número de frutos cuajados y retenidos muestra que si existen diferencias estadísticas entre tratamientos. La prueba de Duncan (Tabla 3.2) demuestra que el mejor efecto corresponde al tratamiento con aplicación de solo boro (10 frutos cuajados por planta), seguido de un segundo grupo de tratamientos como el tratamiento completo boro + zinc + silicio (8.75 frutos cuajados por planta). Estos resultados son comparables con Arunkumar *et al.* (2022), quienes manejando pantas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) concluyeron que la aplicación foliar de boro a razón de 60 g por 0.4 ha, aumenta el número de flores (34.66%) y el cuajado de frutos (4.89%). Las relaciones que se dan entre el boro y zinc pueden influir significativamente en el metabolismo de la planta, al tener la capacidad de interferir en la composición mineral a través de sus interacciones individuales con otros nutrientes dentro de la planta (Baxter 2009, como se cita en Quddus *et al.*, 2021). Para explicar los resultados se hace necesario mencionar la intervención del boro en la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico, mediante la desactivación fisiológica de la calosa (Kyrkby y Römheld, 2007) y la desactivación de la enzima IAA-Oxidasa

para mantener un adecuado suministro de auxinas las cuales son imprescindibles para el crecimiento del tubo polínico (Compo-Expert, 2021). De la misma forma el zinc forma parte del aminoácido triptófano que es un precursor de las auxinas (Alegria, 2016), confirma su participación para mantener los niveles de esta fitohormona durante la floración hasta el amarre de frutos. A estos procesos se suma la participación del silicio en la formación de sílice amorfa que se acumula en la periferia de hojas y tallos para disminuir la transpiración epidérmica excesiva (Ma y Yamaji, 2006).

### Peso del fruto

**Tabla 3.3**

*Análisis de varianza del peso del fruto de fresa.*

Fuente	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	P valor	
Tratamiento	7	4290.41	536.30	199.40	0.000	**
Si	1	14.50	14.50	5.39	0.029	*
Zn	1	85.38	85.38	31.75	0.000	**
B	1	109.66	109.66	40.77	0.000	**
Si * Zn	1	1.01	1.01	0.38	0.545	ns
Si * B	1	0.78	0.78	0.29	0.595	ns
Zn * B	1	90.27	90.27	33.56	0.000	**
Si * Zn * B	1	0.46	0.46	0.17	0.681	ns
Error	24	64.55	2.69			
Total	31	4354.96				

CV: 30,81 %

**Tabla 3.4**

*Prueba Duncan para el peso del fruto (g·fruto<sup>-1</sup>).*

Tratamiento	N	Promedio	Grupo Duncan
Boro + Zinc + Silicio	4	16.90	a
Zinc + Boro	4	15.75	a
Silicio + Zinc	4	10.39	b
Silicio + Boro	4	10.16	b
Silicio	4	9.89	b
Boro	4	9.24	b
Testigo	4	8.83	b
Zinc	4	8.14	b

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

El análisis de varianza del peso del fruto (Tabla 3.3) muestra que existe diferencia altamente significativa en los tratamientos. La prueba de Duncan (Tabla 3.4) indica que la aplicación compuesta de boro + zinc + biosílice permite obtener frutos de fresa de mayor peso (16.90 g·fruto<sup>-1</sup>, 91.89 % mayor respecto al testigo); seguidos sin diferencia estadística de aquellos obtenidos aplicando boro y zinc (15.75 g·fruto<sup>-1</sup>, 78.37 % mayor respecto al testigo). Estos resultados son comparables a los hallados por Quddus *et al.* (2021), quienes encontraron que la aplicación de 2

kg B·ha<sup>-1</sup> junto a 3 kg Zn·ha<sup>-1</sup> al suelo incrementan el rendimiento de fresa, además refieren que la interacción de B y Zn fue dominante. En otros cultivos como la mandarina Balady, Masoud *et al.* (2019), reportan que la aplicación foliar de B, Zn y Si solos o combinados aumentaron significativamente el rendimiento, retención y calidad de fruta. Alegría (2016) menciona que el zinc es parte del aminoácido triptófano, precursor de las auxinas que promueven la expansión celular, por lo tanto, el zinc participa en la formación de órganos de la planta implicados en el crecimiento y desarrollo de frutos. La respuesta obtenida producto de la aplicación de los tres elementos, cada uno de los cuales estaría contribuyendo en cada proceso fisiológico desde fotosíntesis, actividad enzimática, transporte de nutrientes y fotosintatos, así como de estructura, hace que el mayor peso de fruto se consigue con las tres fuentes combinadas.

### Diámetro ecuatorial

**Tabla 3.5**

*Análisis de varianza del diámetro ecuatorial del fruto de fresa.*

Fuente	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	P valor	
Tratamiento	7	246.59	30.82	1215.69	0.000	**
Si	1	0.14	0.14	5.63	0.026	*
Zn	1	0.43	0.43	16.83	0.000	**
B	1	1.88	1.88	74.20	0.000	**
Si * Zn	1	0.14	0.14	5.68	0.025	*
Si * B	1	0.03	0.03	1.16	0.293	ns
Zn * B	1	0.72	0.72	28.24	0.000	**
Si * Zn * B	1	0.00	0.00	0.01	0.913	ns
Error	24	0.61	0.03			
Total	31	247.20				

CV: 12,94 %

**Tabla 3.6**

*Prueba Duncan del diámetro ecuatorial del fruto (cm).*

Tratamiento	N	Promedio	Grupo Duncan
Boro	4	3.29	a
Boro + Zinc + Silicio	4	3.24	a
Silicio + Zinc	4	2.90	b
Silicio	4	2.65	c
Zinc	4	2.57	c
Silicio + Boro	4	2.51	c
Zinc + Boro	4	2.45	c
Testigo	4	2.45	c

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

El análisis de varianza (Tabla 3.5) muestra que existe diferencias altamente significativas entre los tratamientos. La prueba de Duncan (Tabla 3.6) del diámetro ecuatorial de frutos muestra que el

mejor efecto corresponde al tratamiento con boro (3.29 cm), seguidos sin diferencia estadística de aquellos obtenidos aplicando el tratamiento completo boro + zinc + silicio (3.24 cm).

### Longitud del fruto

**Tabla 3.7**

*Análisis de varianza de la longitud del fruto de fresa.*

Fuente	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	P valor	
Tratamiento	7	299.00	37.37	344.68	0.000	**
Si	1	0.11	0.11	1.03	0.321	ns
Zn	1	0.82	0.82	7.54	0.011	*
B	1	1.27	1.27	11.75	0.002	**
Si * Zn	1	0.02	0.02	0.21	0.652	ns
Si * B	1	0.00	0.00	0.00	0.992	ns
Zn * B	1	1.36	1.36	12.55	0.002	**
Si * Zn * B	1	0.06	0.06	0.53	0.472	ns
Error	24	2.60	0.11			
Total	31	301.60				

CV: 14,78 %

**Tabla 3.8**

*Prueba Duncan de la longitud del fruto (cm) de fresa.*

Tratamiento	N	Promedio	Grupo Duncan
Boro + Zinc + Silicio	4	3.73	a
Zinc + Boro	4	3.48	a
Silicio	4	2.96	b
Boro	4	2.88	b
Silicio + Boro	4	2.86	b
Silicio + Zinc	4	2.84	b
Testigo	4	2.81	b
Zinc	4	2.75	b

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

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 3.7) señalan que existe alta significancia estadística entre tratamientos. En la tabla 3.8 de la prueba de contraste Duncan, los tratamientos boro + zinc + silicio (3.73 cm) y zinc + boro (3.48 cm) tuvieron mayor efecto en la longitud del fruto. Del mismo modo en el caso del peso de frutos de fresa, la aplicación foliar de boro, zinc y biosílice resulta favorable, la participación de los tres elementos interactuando entre sí, al parecer provocan un efecto favorable en cada una de las funciones aumentando el tamaño (diámetro ecuatorial y longitud) del fruto de la fresa, mediante su participación en la formación de AIA (auxinas) (Alarcón, 2001; Alegría, 2016), metabolismo de carbohidratos (Pérez, 2017; Escudero *et al.*, 2012; Alarcón, 2001), ARN (Alarcón, 2001; Kyrkby y Römheld, 2007; Manivannan y Ahn, 2017), y sus efectos sobre la fotosíntesis (Escudero *et al.*, 2012). Es decir, la combinación de los nutrientes

aplicados directamente al follaje mejoró la eficiencia de los procesos metabólicos en la fresa y como consecuencia el aumento del tamaño del fruto fue mayor.

### Sólidos solubles totales (contenido de azúcares)

**Tabla 3.9**

*Análisis de varianza de los sólidos solubles (contenido de azúcares) del fruto de fresa.*

Fuente	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	P valor	
Tratamiento	7	3295.57	411.95	1124.62	0.000	**
Si	1	0.13	0.13	0.36	0.556	ns
Zn	1	1.42	1.42	3.88	0.061	ns
B	1	2.50	2.50	6.84	0.015	ns
Si * Zn	1	0.46	0.46	1.26	0.272	ns
Si * B	1	0.69	0.69	1.90	0.181	ns
Zn * B	1	2.36	2.36	6.45	0.018	*
Si * Zn * B	1	2.82	2.82	7.69	0.011	**
Error	24	8.79	0.37			
Total	31	3304.36				

CV: 7,76 %

**Tabla 3.10**

*Prueba Duncan de los sólidos solubles (contenido de azúcares) del fruto de fresa.*

Tratamiento	N	Promedio	Grupo Duncan		
Boro + Zinc + Silicio	4	11.28	a		
Zinc + Boro	4	10.51	a	b	
Zinc	4	10.29		b	
Silicio	4	10.25		b	c
Silicio + Boro	4	9.96		b	c
Boro	4	9.89		b	c
Testigo	4	9.58		b	c
Silicio + Zinc	4	9.29			c

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

En base al análisis de varianza (Tabla 3.9) se obtiene que existe diferencia estadística significativa entre tratamientos. La prueba de Duncan (Tabla 3.10) muestra que, el mejor efecto corresponde al tratamiento completo boro + zinc + silicio (11.28 °Bx), seguido por el tratamiento zinc + boro (10.51 °Bx) que produce un efecto similar. El resultado concuerda con lo obtenido por Chaturvedi *et al.* (2005), quienes utilizando sulfato de Zn al 0.4% y sulfato ferroso al 0.2% en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) cultivar “Chandler”, demostraron que la aplicación foliar influye aumentando el peso, la acidez y los sólidos solubles totales del fruto. La participación del zinc en la incorporación de CO<sub>2</sub> en carbohidratos (Alegría, 2016; Escudero *et al.*, 2012), tiene implicancia en la posterior acumulación de azúcares en el fruto. La intervención del boro como precursor de la coenzima UDPG que colabora en la formación de sacarosa (Alarcón, 2001). La protección que brinda la formación de silicio amorfo en las hojas mejora la eficiencia de la fotosíntesis (Ma y

Yamaji, 2006; Markovich *et al.*, 2017), cuyos productos serán utilizados en la formación de azúcares que eventualmente llegarán al fruto. De esta manera, el efecto sinérgico del zinc, boro y silicio sobre la acumulación de sólidos solubles del fruto se ve reflejado en los resultados.

### Acidez titulable (Contenido de ácido cítrico)

**Tabla 3.11**

*Análisis de varianza de la acidez titulable (contenido de ácido cítrico) del fruto de fresa.*

Fuente	G.L	S.C.	C.M.	Fc	P valor	
Tratamiento	7	27.66	3.46	795.12	0.000	**
Si	1	0.00	0.00	0.82	0.374	ns
Zn	1	0.01	0.01	1.68	0.207	ns
B	1	0.04	0.04	8.63	0.007	**
Si * Zn	1	0.01	0.01	3.02	0.095	ns
Si * B	1	0.01	0.01	2.22	0.149	ns
Zn * B	1	0.01	0.01	2.33	0.140	ns
Si * Zn * B	1	0.00	0.00	0.32	0.579	ns
Error	24	0.10	0.00			
Total	31	27.76				

CV: 8,38 %

**Tabla 3.12**

*Prueba Duncan de la acidez titulable (contenido de ácido cítrico) del fruto de fresa.*

Tratamiento	N	Promedio	Grupo Duncan		
Boro + Zinc + Silicio	4	1.01	a		
Zinc + Boro	4	0.98	a	b	
Silicio + Boro	4	0.97	a	b	
Zinc	4	0.93	a	b	c
Silicio	4	0.92	a	b	c
Boro	4	0.89		b	c
Testigo	4	0.88		b	c
Silicio + Zinc	4	0.86			c

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

En base al análisis de varianza (Tabla 3.12) se obtiene que existe diferencia estadística significativa entre tratamientos. En la tabla 3.12 de la prueba de contraste Duncan, los tratamientos que tuvieron mayor efecto sobre la longitud del fruto fueron boro + zinc + silicio (1.01%), produciendo un efecto similar pero menor con el tratamiento zinc + boro (0.98%). Estos resultados pueden contrastarse con los obtenidos por Silva *et al.* (2013), quienes aplicando dosis crecientes de silicio foliar en plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch), concluyeron que la aplicación de Si (69 mg·kg<sup>-1</sup>), promovió aumento de acidez titulable (contenido de ácido cítrico) en 24% en comparación con el testigo. Así, Quddus *et al.* (2021), en plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch), aplicando dosis crecientes de boro y zinc al suelo, demuestran una interacción positiva en

la aplicación conjunta a razón de 2 kg·ha<sup>-1</sup> y 3 kg·ha<sup>-1</sup>, respectivamente, los cuales influyeron sobre el contenido de vitamina C (47.8% más que el testigo).

### Materia seca del fruto

**Tabla 3.13**

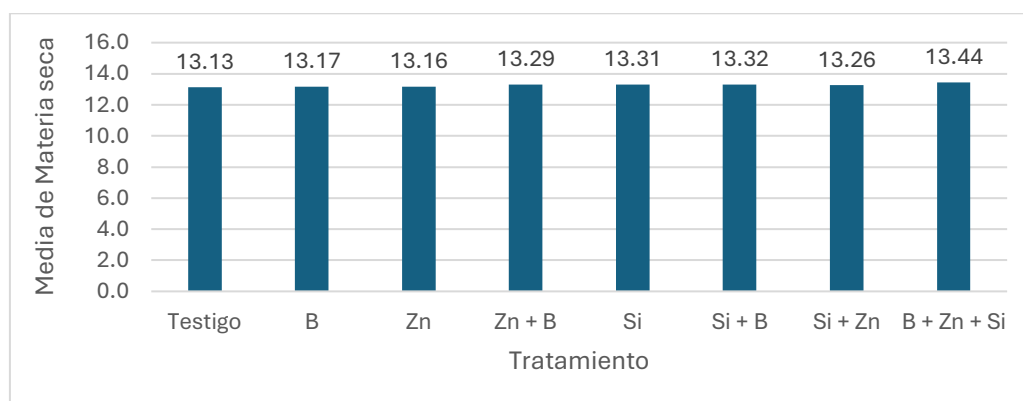
*Análisis de varianza de la materia seca del fruto de fresa.*

Fuente	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	P valor
Tratamiento	7	5625.77	703.22	1495.76	0.000 **
Si	1	0.17	0.17	0.36	0.556 ns
Zn	1	0.02	0.02	0.05	0.824 ns
B	1	0.06	0.06	0.13	0.722 ns
Si * Zn	1	0.00	0.00	0.01	0.934 ns
Si * B	1	0.00	0.00	0.00	0.979 ns
Zn * B	1	0.04	0.04	0.08	0.784 ns
Si * Zn * B	1	0.00	0.00	0.01	0.939 ns
Error	24	11.28	0.47		
Total	31	5637.05			

CV: 4,61 %

**Figura 3.1**

*Contenido de materia seca (%) del fruto de fresa en los tratamientos estudiados.*



El análisis de varianza del contenido de materia seca (Tabla 3.13) muestra que no hubo efectos significativamente diferenciados en los tratamientos. Sin embargo, la aplicación individual y mixta de boro, zinc y silicio si tuvieron variación numérica, no siendo estadísticamente significativa (Figura 3.1). Se observa que la materia seca de los frutos resulta ser mayores como respuesta a la aplicación compuesta de boro + zinc + silicio (13.44%), gracias al aumento de sólidos solubles totales (contenido de azúcares) en los frutos de fresa, debido a las influencias de los elementos en la fisiología de las plantas tal como fueron explicadas en parámetros anteriores.

### Firmeza del fruto

**Tabla 3.14**

Análisis de varianza de la firmeza del fruto de fresa.

Fuente	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	P valor	
Tratamiento	7	13.76	1.72	595.10	0.000	**
Si	1	0.45	0.45	155.93	0.000	**
Zn	1	0.03	0.03	11.01	0.003	**
B	1	0.04	0.04	12.31	0.002	**
Si * Zn	1	0.02	0.02	5.28	0.031	*
Si * B	1	0.06	0.06	21.17	0.000	**
Zn * B	1	0.01	0.01	2.01	0.169	ns
Si * Zn * B	1	0.00	0.00	0.31	0.583	ns
Error	24	0.07	0.00			
Total	31	13.83				

CV: 22,93 %

**Tabla 3.15**

Prueba Duncan de la firmeza del fruto ( $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) de fresa

Tratamiento	N	Promedio	Grupo Duncan			
Boro + Zinc + Silicio	4	0.85	a			
Silicio + Boro	4	0.82	a			
Silicio + Zinc	4	0.68		b		
Silicio	4	0.68		b		
Zinc + Boro	4	0.58			c	
Zinc	4	0.57			c	d
Testigo	4	0.50				d e
Boro	4	0.44				e

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

Del análisis de varianza (Tabla 3.14) se concluye que si se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. La prueba de Duncan (Tabla 3.15) para la firmeza del fruto muestra que el mejor efecto corresponde al tratamiento completo boro + zinc + silicio ( $0.85 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ , 70% más respecto al testigo). Además, se observa que el testigo y aquellos tratamientos que recibieron solo B y Zn obtienen menor firmeza respecto de aquellos en los que se incluye el Silicio. Los resultados muestran efectos similares a los obtenidos por otros investigadores como Wójcik y Lewandowski (2003) quienes demostraron que plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) cultivar “Elsanta” cuyos frutos fueron rociados con aspersiones de B y Ca fueron más firmes y resistentes a la pudrición por Botrytis. Aplicar silicio a la planta influye en la formación de polímeros y contribuye con la mejor resistencia de las paredes celulares (Mengel y Kirkby, 2000). El boro también participa en la conformación de las paredes celulares, las cuales presentan los más altos contenidos de boro, ya que mediante procesos complejos producen di esteres estables (Clavijo, 2001; Alarcón, 2001). Si bien la aplicación individual del silicio mejoró la firmeza de la fruta, esta se vio superada por su aplicación en adición con boro o zinc; ya que, la aplicación de

silicio mejoró las condiciones para que el zinc y boro optimicen su función en la planta, produciendo una mejor conformación del fruto.

### Rendimiento total de frutos/planta

**Tabla 3.16**

*Análisis de varianza del rendimiento total por planta de fresa.*

Fuente	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	P valor	
Tratamiento	7	245299.40	30662.42	61.19	0.000	**
Si	1	4173.32	4173.32	8.33	0.008	**
Zn	1	3421.84	3421.84	6.83	0.015	*
B	1	6439.59	6439.59	12.85	0.001	**
Si * Zn	1	1298.46	1298.46	2.59	0.121	ns
Si * B	1	373.93	373.93	0.75	0.396	ns
Zn * B	1	1512.14	1512.14	3.02	0.095	ns
Si * Zn * B	1	3035.76	3035.76	6.06	0.021	*
Error	24	12026.51	501.10			
Total	31	257325.91				

CV: 38,53 %

El análisis de varianza mostrada en la tabla 3.16, muestra diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. La prueba de Duncan (Tabla 3.17) demuestra que el mejor efecto corresponde al tratamiento completo boro + zinc + silicio ( $139.37\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$ ).

**Tabla 3.17**

*Prueba Duncan del rendimiento total por planta ( $\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$ ) de fresa.*

Tratamiento	N	Promedio	Grupo Duncan
Boro + Zinc + Silicio	4	139.37	a
Zinc + Boro	4	91.15	b
Boro	4	88.94	b
Silicio + Zinc	4	84.61	b
Silicio	4	84.42	b
Silicio + Boro	4	72.72	b c
Zinc	4	61.67	b c
Testigo	4	48.00	c

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

Las funciones del zinc, boro y silicio sobre el metabolismo de las plantas abarcados tanto en la revisión bibliográfica como para el apartado del peso del fruto explican también el aumento del rendimiento total, ya que, al mejorar el valor del peso del fruto se incrementa también el rendimiento. Los resultados del rendimiento total por planta pueden ser contrastados con los resultados del peso del fruto y número de frutos cuajados por planta, donde se observa que se le atribuye al mejor efecto al tratamiento completo en comparación con los testigos, esto no hace más que confirmar la importancia de las relaciones entre estos elementos.

#### 4. CONCLUSIONES

Las aplicaciones foliares de 0.025% B + 0.05% Zn + Biosílice 0.2% biosílice, a plantas de fresa favorecen significativamente las características fisicoquímicas del fruto, como peso ( $16.90 \text{ g} \cdot \text{fruto}^{-1}$ ), diámetro (3.29 cm), longitud (3.73 cm), SST ( $11.28 \text{ }^\circ\text{Bx}$ ), acidez (contenido de ácido cítrico) (1.01%) y firmeza ( $0.85 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ), siendo superior a los otros tratamientos. El mayor rendimiento de fresas por planta se obtiene con la aplicación de 0.025% boro + 0.05% zinc + 0.2% sílice, que alcanza a  $139.37 \text{ g} \cdot \text{planta}^{-1}$ , siendo 52.9% mayor que cuando se emplean dos elementos y 190.35% mayor al tratamiento testigo. Cualquier aplicación individual de B, Zn y biosílice mejoran las características evaluadas, no obstante, el biosílice muestra mejores resultados de rendimiento y calidad.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, V. A. (2001). *El boro como nutriente esencial*. Ediciones Horticultura (Ed.), Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros 36-47. ISSN 1132-2950, N.º 155. <https://bit.ly/3uykG7n>.
- Alegría, M. W. (2016). *Texto básico para profesional en ingeniería forestal en el área de fisiología vegetal*. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Biblioteca Institucional del IIAPIQUITOS. LIB04564. <https://bit.ly/3ymo06F>.
- Arunkumar, K.H., Varghese, M.J., Sudhakar, S., Marimuthu, R., Paul, P.K., Ashiba, A., y Abishek, R. (2022). Foliar application of calcium and boron on yield and quality attributes of strawberry. *Pharma Innovation*, 11(4):2054-2057. <https://bit.ly/4cbG0CE>.
- Avestan, S., Ghasemnezhad, M., Esfahani, M. y Byrt, C. S. (2019). Application of Nano-Silicon Dioxide Improves Salt Stress Tolerance in Strawberry Plants. *Agronomy*. 2019; 9(5):246. <https://doi.org/10.3390/agronomy9050246>.
- Carrasco-Gil, S., Rodríguez-Menéndez, S., Fernández, B., Pereiro, R., De la Fuente, V. y Hernández-Apaolaza, L. (2018). Silicon induced Fe deficiency affects Fe, Mn, Cu and Zn distribution in rice (*Oryza sativa* L.) growth in calcareous conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, 125, pp. 153-163. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.01.033>.
- Chaturvedi, O.P., Singh, A.K., Tripathi, V.K. y Dixit, A.K. (2005). Effect of zinc and iron on growth, yield and quality of strawberry cv. Chandler. *Acta Hort.* 696, 237-240. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.696.41>.
- Clavijo, P. J. (2001). *Metabolismo de los nutrientes en las plantas*. En Silva-Mojica F. (Ed.), Fertilidad de Suelos Diagnóstico y Control. 13-28. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, S.C.C.S. ISSN: 958-95-299-1-7. <https://bit.ly/3nGi6Zg>.
- Compo-Expert (2021). *Nutrición floral*. Departamento Técnico COMPO Expert Chile. <https://bit.ly/4bELnK8>.
- Escudero-Almanza, D., Ojeda-Barrios, D., Hernández-Rodríguez, O., Sánchez-Chávez, E., Ruíz-Anchondo, T. y Sida-Arreola, J. (2012). Carbonic anhydrase and zinc in plant physiology. *Chilean Journal of Agricultural Research*, vol.72, n.1, pp.140-146. ISSN 0718-5839. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392012000100022>.

- Kazemi, M. (2014). Influence of foliar application of iron, calcium and zinc sulfate on vegetative growth and reproductive characteristics of strawberry cv. "Pajaro". *Trakia Journal of Sciences* 2014. Vol.12. No.1, pp.21-26. ISSN: 1313-7050. <https://bit.ly/3yn2RKG>.
- Kyrkby, E. y Römheld, V. (2007). *Micronutrients in plant physiology: functions, uptake and mobility*. Proceedings 543, The International Fertilizer Society, P. O. Box, York, YO32 5YS, United Kingdom. <https://bit.ly/3yjFcd0>.
- Ma, J., y Yamaji, N. (2006). Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science*, 11, 392-397. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2006.06.007>.
- Manivannan, A. y Ahn, Y. K. (2017). Silicon Regulates Potential Genes Involved in Major Physiological Processes in Plants to Combat Stress. *Frontiers in Plant Science*. PMID: 28824681; PMCID: PMC5541085. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01346>.
- Markovich, O., Steiner, E., Kouřil, Š., Tarkowski, P., Aharoni, A. y Elbaum, R. (2017). *Silicon promotes cytokinin biosynthesis and delays senescence in Arabidopsis and Sorghum*. *Plant, Cell & Environment*. 40,1189-1196. <https://doi.org/10.1111/pce.12913>.
- Masoud, A. A., Ibraheem, F. E. y Khodair, O. A. (2019). Effect of Foliar Application of Zinc, Boron and Silicon on Growth and Fruiting of Balady Mandarin Trees. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*. Vol. 50 Issue 2, p206-218. 13p. <https://doi.org/10.21608/ajas.2019.41249>.
- Mengel, K. y Kirkby E. (2000). *Principios de nutrición vegetal*. Instituto Internacional de la Potasa. 4ta. Ed y 1era en español. Basilea - Suiza. <https://bit.ly/3lwal1G>.
- Rashid, M. (2019). Optimisation of Growth Yield and Quality of Strawberry Cultivars through Organic Farming. *Journal of Environmental Science and Natural Resources*, 11(1-2), 121-129. <https://doi.org/10.3329/jesnr.v11i1-2.43379>.
- Pérez, L. F. (2017). *Fisiología Vegetal, Parte III, Nutrición mineral*. En Pérez Leal, F. (Ed.) Fisiología Vegetal - I, II, III y IV. Pucallpa – Perú. Universidad Nacional de Ucayali - Repositorio institucional U.N.U. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/3201>.
- Quddus, A., Siddiky, A., Ali, R., Ahmed, R., Kumer, K. y Arfin S. (2021). Influence of boron and zinc on yield, nutrient uptake and quality of strawberry. *Journal of Plant Nutrition*, 45(6), 866-882. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1998528>.
- Silva, M.L., Resende, J.T., Trevizam, A.R., Figueiredo, A.S., y Schwarz, K. (2013). Influence of silicon on production and fruit quality of strawberry. *Semina-ciencias Agrarias*, 34, 3411-3424. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.04.026>.
- Umair, H. M., Amer, M., Umer, C. M., Haiying, T., Shahzad, B., Barbanti, L., Nawaz, M., Rasheed, A., Afzal, A., Liu, Y. y Guoqin, H. (2020). The Critical Role of Zinc in Plants Facing the Drought Stress. *Agriculture*. 2020, 10(9), 396. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090396>.
- Undurraga, D. P. y Vargas, S. S. (2013). *Manual de frutilla*. Chillán, Chile: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 262. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7616>.
- Wójcik, P. y Lewandowski, M. (2003). Effect of calcium and boron sprays on yield and quality of "Elsanta" strawberry. *Journal of Plant Nutrition*, 26(3), 671-682, <https://doi.org/10.1081/PLN-120017674>.
- Yan, L., Riaz, M., Wu, X., Du, C., Liu, Y. y Jiang, C. (2018). Ameliorative effects of boron on aluminum induced variations of cell wall cellulose and pectin components in trifoliolate orange (*Poncirus trifoliolate* (L.) Raf.) rootstock. *Environmental Pollution*, volume 240, pages 764-774, ISSN 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.022>.