

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Rendimiento Productivo de la Fresa Cultivada en Invernadero y Suplementada con  
Nps de Cobre Vía Foliar

Por:

**ARACELY YOCELIN CASILLAS MORIN**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Rendimiento Productivo de la Fresa Cultivada en Invernadero y Suplementada con  
Nps de Cobre Vía Foliar

Por:

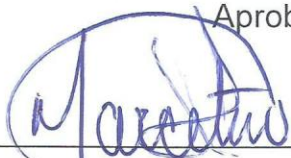
**ARACELY YOCELIN CASILLAS MORIN**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente  
Asesor Principal



Dra. Rocío Maricela Peralta Manjarrez  
Asesor Principal Externo



Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Coasesor



Ing. Gerardo Rodríguez Galindo  
Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2025

## DERECHOS DE AUTOR Y DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

### Derechos de Autor y Declaración de no plagio

Todo material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente. Así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.

  
Autor principal  
\_\_\_\_\_  
Aracely Yocelin Casillas Morin

  
Asesor principal  
\_\_\_\_\_  
Marcelino Cabrera De la Fuente

## DEDICATORIA

A mi madre **Martha Morin** por su apoyo y motivación para ir en busca de mis sueños.

A mi pequeño **Asís** por su compañía y cariño.

A mi abuelita **Hilaria Enríquez (+)** que estoy segura que desde el cielo está feliz por mí.

## AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a **Dios** por darme la dicha de estar en esta universidad y permitirme llegar a la culminación de mi formación a nivel licenciatura, por ser mi fiel compañía en todo momento. Le agradezco también por ser mi guía, darme siempre las herramientas y los medios para seguir adelante, gracias por la oportunidad de servirle a través de mi carrera.

Con amor y gratitud a mis **padres, Martha Morin y Homar Casillas** por guiarme, apoyarme en cada momento, por no rendirse ante las adversidades y ser un impulso en mi vida.

A mis **hermanos, Alejandro, Emanuel y Asís** por su cariño, por siempre sacarme una sonrisa aun en los momentos más complicados y motivarme a seguir día a día.

Agradezco profundamente a mi **Alma Mater** por recibirme, arroparme y convertirse en mi segundo hogar.

También quiero agradecer especialmente al **Dr. Marcelino Cabrera** y a la **Dra. Rocío Peralta** por ser mis mentores desde el comienzo de mi carrera universitaria, por estar presentes, brindarme sus conocimientos y apoyarme siempre.

A mis amigos **Carolina Hernández, Fabián González, Pablo Velasco, Isaid Reséndiz, Ricardo Saldaña, Wilner Roblero, Yoselin Sandoval, Mario Carrasco, Aldo Muñoz, Selene Yañez**, gracias por su compañía, por los momentos buenos y también por los no tan buenos. Agradezco a Dios por la vida de cada uno de ustedes y por darme la dicha de tenerlos presentes en la mía. Fue una bendición compartir estos años con ustedes, ¡gracias, por tanto!

Por último, pero no menos importante quiero agradecer a una persona muy especial, **Luis Angel Castro** por ser mi compañía desde el inicio de la carrera, gracias por convertirme en mi lugar seguro.

*Colosenses 3:17*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

|                                                    |     |
|----------------------------------------------------|-----|
| DERECHOS DE AUTOR Y DECLARACIÓN DE NO PLAGIO ..... | III |
| DEDICATORIA .....                                  | IV  |
| AGRADECIMIENTOS .....                              | V   |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                            | X   |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....                      | X   |
| ÍNDICE DE TABLAS.....                              | X   |
| RESUMEN .....                                      | 1   |
| Palabras Clave: .....                              | 1   |
| I.    INTRODUCCIÓN .....                           | 2   |
| 1.1    Objetivo General .....                      | 3   |
| 1.2    Objetivos específicos .....                 | 3   |
| 1.3    Hipótesis .....                             | 3   |
| 1.4    Justificación.....                          | 3   |
| II.   LITERATURA REVISADA .....                    | 4   |
| 2.1    Antecedentes .....                          | 4   |
| 2.2    Origen e Historia del Cultivo.....          | 4   |
| 2.3    Clasificación taxonómica del cultivo .....  | 4   |
| 2.4    Descripción morfológica del cultivo .....   | 5   |
| 2.4.1    Sistema radicular .....                   | 5   |
| 2.4.2    La corona.....                            | 5   |
| 2.4.3    Estolones .....                           | 6   |
| 2.4.4    Hojas .....                               | 6   |
| 2.4.5    Flores y frutos .....                     | 6   |
| 2.5    Requerimientos Edafológicos.....            | 6   |

|       |                                              |    |
|-------|----------------------------------------------|----|
| 2.6   | Tipo de Suelo .....                          | 7  |
| 2.7   | Medios de Cultivo.....                       | 7  |
| 2.8   | Sustratos .....                              | 8  |
| 2.8.1 | Fibra de coco .....                          | 8  |
| 2.8.2 | Cascarilla de arroz.....                     | 8  |
| 2.8.3 | Pomina .....                                 | 8  |
| 2.8.4 | Corteza de pino .....                        | 9  |
| 2.8.5 | Roca volcánica “tezontle” .....              | 9  |
| 2.8.6 | Lana de roca.....                            | 9  |
| 2.8.7 | Perlita .....                                | 9  |
| 2.8.8 | Turba .....                                  | 10 |
| 2.9   | Marco de plantación .....                    | 10 |
| 2.10  | Conductividad Eléctrica.....                 | 10 |
| 2.11  | Influencia del pH .....                      | 10 |
| 2.12  | Requerimientos Climáticos .....              | 11 |
| 2.13  | Radiación .....                              | 11 |
| 2.14  | Temperatura.....                             | 12 |
| 2.15  | Requerimientos Hídricos.....                 | 12 |
| 2.16  | Calidad de Agua para el riego.....           | 12 |
| 2.17  | Condiciones Físico – Químicas del agua ..... | 12 |
| 2.18  | Manejo Nutricional del Cultivo.....          | 13 |
| 2.19  | Nanotecnología.....                          | 13 |
| 2.20  | Nanomateriales.....                          | 13 |
| 2.21  | Efecto del Cobre en los Cultivos .....       | 14 |
| 2.22  | Efecto de las Nanopartículas de Cobre.....   | 14 |

|       |                                          |    |
|-------|------------------------------------------|----|
| 2.23  | Fenología del Cultivo .....              | 15 |
| 2.24  | Rendimiento Biológico .....              | 15 |
| 2.25  | Rendimiento Económico .....              | 16 |
| 2.26  | Parámetros de Calidad Comercial .....    | 16 |
| III.  | MATERIALES Y MÉTODOS .....               | 17 |
| 3.1   | Ubicación del experimento .....          | 17 |
| 3.2   | Material Vegetal Utilizado .....         | 17 |
| 3.3   | Nanopartículas Utilizadas.....           | 18 |
| 3.4   | Descripción del Sistema Productivo ..... | 19 |
| 3.4.1 | Establecimiento del cultivo .....        | 19 |
| 3.4.2 | Riego .....                              | 19 |
| 3.4.3 | Nutrición .....                          | 19 |
| 3.4.4 | Poda de estolones .....                  | 20 |
| 3.4.5 | Poda de flores.....                      | 21 |
| 3.4.6 | Poda de hojas.....                       | 21 |
| 3.4.7 | Manejo de plagas y enfermedades.....     | 21 |
| 3.4.8 | Cosecha .....                            | 21 |
| 3.5   | Tratamientos Empleados.....              | 21 |
| 3.6   | Variables de Respuesta .....             | 22 |
|       | Altura de la planta. ....                | 22 |
|       | Número de hojas. ....                    | 22 |
|       | Diámetro de la corona.....               | 22 |
|       | Número de flores.....                    | 22 |
|       | Número de frutos. ....                   | 22 |
|       | Diámetro polar de frutos.....            | 22 |

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| Diámetro ecuatorial de frutos .....   | 22 |
| Peso de frutos .....                  | 22 |
| 3.7 Frecuencia de los Muestreos ..... | 23 |
| 3.8 Diseño Estadístico.....           | 23 |
| 3.9 Análisis de la Información .....  | 23 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....       | 24 |
| Rendimiento Agronómico.....           | 24 |
| Rendimiento productivo .....          | 26 |
| V. CONCLUSIONES .....                 | 27 |
| VI. LITERATURA CITADA.....            | 28 |
| VII. ANEXOS .....                     | 37 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Clasificación taxonómica del cultivo .....                                                             | 4  |
| Figura 2. Solución nutritiva utilizada .....                                                                     | 20 |
| Figura 3. Tratamientos aplicados .....                                                                           | 22 |
| Figura 4. Frecuencia de los muestreos .....                                                                      | 23 |
| Figura 5. Distribución de los tratamientos .....                                                                 | 23 |
| <b>Figura 6.</b> Comportamiento de la altura de plantas de fresa tratadas con NPs Cu cultivada en sustrato. .... | 25 |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1. Morfología de la planta.....    | 5  |
| Ilustración 2. Ubicación del experimento ..... | 17 |
| Ilustración 3. Propagación de estolones.....   | 18 |
| Ilustración 4. Planta con cepellón.....        | 18 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> Efecto de las aplicaciones foliares de NPs Cu sobre el rendimiento agronómico del cultivo de fresa cultivada en sustrato. ....   | 24 |
| <b>Tabla 2.</b> Efecto de las aplicaciones foliares de NPs Cu sobre el rendimiento agronómico en el fruto de fresa establecida en sustrato. .... | 26 |

## RESUMEN

Este trabajo se llevó a cabo en el periodo de agosto – noviembre de 2024 en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, el cual consto de 6 aplicaciones foliares con intervalos de 15 días de nanopartículas de cobre (NPsCu) en distintas concentraciones, con la finalidad de evaluar su efecto sobre el rendimiento agronómico del cultivo de fresa (*fragaria ananassa*). Los tratamientos fueron un testigo absoluto, NPsCu a 25 ppm, 50 ppm, 75 ppm y 100 ppm; utilizando un diseño estadístico completamente al azar, con un total de 5 tratamientos con 10 repeticiones.

Se evaluó la altura de la planta, diámetro de la corona, número de hojas, número y peso de frutos, así como diámetro polar y ecuatorial de los frutos; logrando obtener plantas con crecimiento constante ante aplicaciones de NPsCu en 25 ppm, con aplicaciones de 75 ppm el diámetro de la corona aumento en un 34 % respecto al testigo. El número de hojas aumenta simultáneamente con la concentración.

El diámetro ecuatorial tuvo un incremento del 16% y del 24% para el diámetro polar ante aplicaciones de NPsCu en una concentración de 50 ppm. Al aplicar NPsCu 75 ppm se observó un incremento del 39% en el peso promedio del fruto en relación con el testigo.

El número de frutos incremento conforme al incremento en la concentración de NPsCu, en cuestión del rendimiento por planta al aplicar NPsCu en 50 y 75 ppm se incrementa el rendimiento en relación al testigo en 60% y 44% respectivamente.

Con lo anterior se puede decir que las NPsCu poseen un efecto bioestimulante en el cultivo generando un mejor desarrollo agronómico.

### Palabras Clave:

*Fragaria ananassa*, Nanoparticulas, Cobre, Concentración, Bioestimulante, Desarrollo.

## I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de fresa (*fragaria ananassa*) tiene gran relevancia en el país pues en 2024 se colocó en primer lugar del ranking mundial con ventas de mil 240 millones de dólares con una producción de 641 mil 552 toneladas (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2024) por lo cual es indispensable hacer más eficientes los sistemas de producción.

Resulta importante mencionar que la planta requiere optimizar sus procesos de homeostasis para llevar a cabo sus funciones fisiológicas de forma correcta y sin complicaciones.

El cobre es un elemento mineral que se encuentra presente en la corteza terrestre siendo esencial en los procesos como fotosíntesis, respiración, respuesta al estrés oxidativo, el metabolismo de la pared celular, señalización de hormonas además de ser parte importante en la señalización de transcripción y tráfico de proteínas, para que la planta logre tener un desarrollo adecuado es indispensable este ion (Yruela, 2005).

En la actualidad ha causado gran impacto la introducción de nanotecnologías al sector agrícola pues han traído consigo grandes beneficios (Vázquez-Núñez, 2022), esta tecnología se ha generado con el objetivo de producir la cantidad adecuada de alimentos y que estos sean de alta calidad (Lira-Saldivar et al., 2018), las nanopartículas (NPs) poseen un mayor estudio y se conoce que pueden ser sintetizadas de diversos materiales por ejemplo de los metales los cuales podrían ser puntos cuánticos, nanopartículas de oro, plata y cobre, así como óxidos metálicos (Gómez-Garzón, 2018). Se ha descubierto que las nanopartículas metálicas poseen propiedades ópticas, magnéticas, eléctricas y catalíticas, sin embargo estas propiedades se ven influenciadas por el tamaño y forma de aplicación (Roldán & Frattini, 2006). Por lo tanto, se busca evaluar el efecto de las Nanopartículas de cobre aplicadas de forma foliar sobre el comportamiento agronómico del cultivo de fresa.

### **1.1 Objetivo General**

Evaluar el efecto de las Nanopartículas de cobre (NPsCu) sobre el rendimiento agronómico del cultivo de fresa (*Fragaria ananassa*) bajo condiciones de invernadero.

### **1.2 Objetivos específicos**

Determinar el rendimiento agronómico del cultivo de fresa establecido en sustrato tratadas con nanopartículas de cobre (NPsCu).

Evaluar el efecto de la aplicación de NPsCu sobre la producción del cultivo de fresa.

### **1.3 Hipótesis**

La aplicación foliar de nanopartículas de cobre en al menos una concentración estimulara el crecimiento y producción en el cultivo de fresa.

### **1.4 Justificación**

El uso de nanotecnología ha permitido mejorar la capacidad de absorción de nutrientes en las plantas y que estas crezcan con mayor velocidad, además el uso de nanopartículas permite incrementar rendimientos de una forma sustentable y reduciendo el impacto ambiental (Lira-Saldivar et al., 2018).

Actualmente México es considerado el 5° productor mundial, durante el 2022 la fresa se vendió en 28 países posteriormente para el 2023 aumentó a 40, siendo el mercado estadounidense el más importante por lo tanto con esta creciente demanda del cultivo para exportación es necesario mejorar los sistemas de producción para elevar rendimientos logrando con ello cumplir con la demanda del mercado (*Panorama-Agroalimentario-2024*, 2024.).

En este trabajo, se pretende evaluar el efecto de aplicaciones foliares de Nps Cu, las cuales han demostrado efectos en el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Rivera-Jaramillo et al., 2021), con la finalidad de evaluar el comportamiento agronómico de la fresa cultivada bajo invernadero.

## II. LITERATURA REVISADA

### 2.1 Antecedentes

Desde la antigüedad se tenía conocimiento sobre las fresas pues se hayen obras de autores romanos como Ovidio, Virgilio y Plinio donde se menciona que la fresa era utilizada con fines ornamentales y medicinales (Michael, 2025).

### 2.2 Origen e Historia del Cultivo

Fue en la edad Media cuando los franceses se encargaron de colocar en sus jardines fresas silvestres de las cuales se utilizaban sus frutos como adornos incluso como alimento, esta práctica fue adoptada también por los ingleses, para finales de 1400 el cultivo genero mayor relevancia pues se comenzó a utilizar la fresa como un alimento culinario en Francia e Inglaterra (Michael, 2025).

En la actualidad las especies más cultivadas derivan de un cruce que surgió de forma espontánea entre dos especies (*Fragaria virginiana* y *Fragaria chiloensis*), las cuales fueron importadas del nuevo continente alrededor del siglo XVII y XVIII (Bianchi, 2018).

### 2.3 Clasificación taxonómica del cultivo

Figura 1. Clasificación taxonómica del cultivo

|            |                 |
|------------|-----------------|
| Reino      | <i>Plantae</i>  |
| División   | Magnoliophyta   |
| Clase      | Magnoliopsida   |
| Orden      | Rosales         |
| Familia    | <i>Rosaceae</i> |
| Subfamilia | Rosoideae       |
| Género     | <i>Fragaria</i> |

(Muñoz-Ávila, 2016)

## 2.4 Descripción morfológica del cultivo

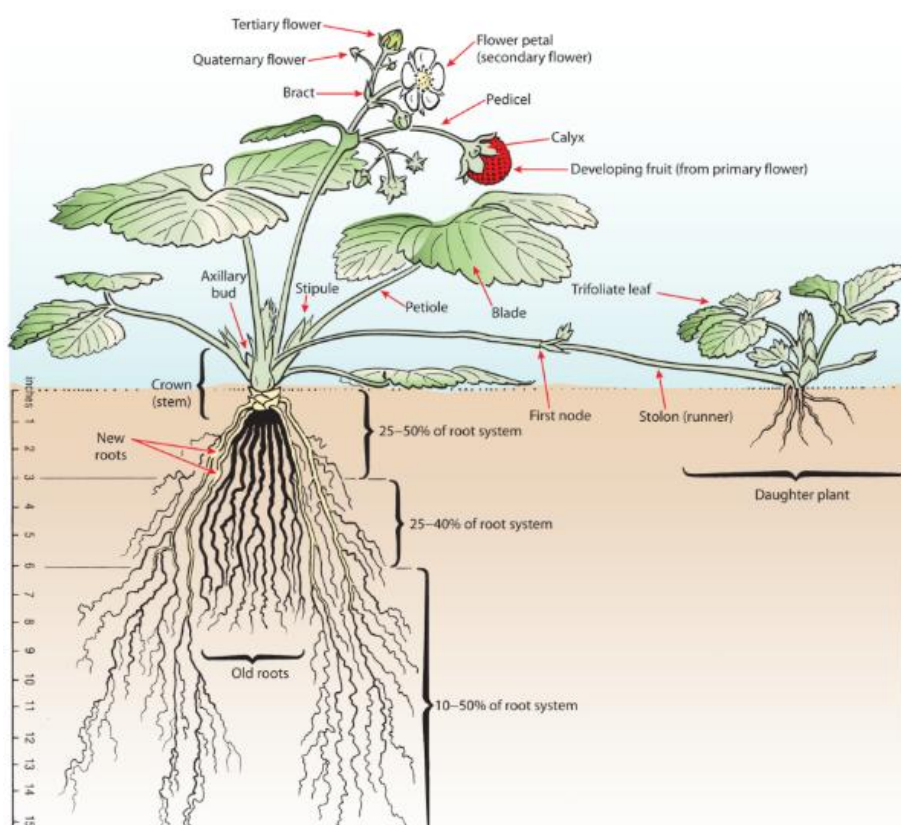


Ilustración 1. Morfología de la planta

(Strand, 2008)

### 2.4.1 Sistema radicular

La raíz alcanza pocas profundidades, si la planta es propagada de forma vegetativa emitirá raíces adventicias mientras que las plantas que se desarrollan a partir de la corona producen raíces primarias, cada planta produce entre 20 y 30. Así mismo se generan raíces secundarias las cuales son más finas su función es recoger los nutrientes y agua del suelo, su ciclo de vida es de días o semanas siendo remplazadas una vez cumplido el ciclo. El sistema radicular se establece los primeros 2 o 3 meses después de la plantación (Strand, 2008).

### 2.4.2 La corona

Tallo acortado con un núcleo central (médula) rodeado de tejido conductor (anillo vascular). El crecimiento en el punto de crecimiento terminal (meristemo) añade

hojas y nudos en secuencia. Entre cada hoja y el tallo hay yemas axilares que pueden convertirse en estolones o coronas de ramas, dependiendo las condiciones ambientales y nutrientes. Su desarrollo prospera ante temperaturas mayores a 10°C (Strand, 2008).

#### **2.4.3 Estolones**

Se trata de una estructura clave en la propagación vegetativa, ya que da lugar a la producción de raíces y coronas, se trata de tallos postrados capaces de ramificarse para la producción de nuevos estolones, crece de forma horizontal a lo largo del suelo (Kirschbaum, 2011). Se originan de las yemas axilares de las hojas situadas en la base de la corona (Ruiz & Piedrahíta, 2012).

#### **2.4.4 Hojas**

Posee hojas compuestas y pecioladas de 3 foliolos que emergen de la corona en roseta, sus bordes son aserrados y con un amplio número de estomas entre 300 y 400 por mm<sup>2</sup> (Montiel-Berber, 2022), debido a su gran número de estomas se vuelve sensible a estrés hídrico ya que la tasa de transpiración es alta; los foliolos varían de acuerdo con el cultivar en forma, borde, color y vellosidad (Universidad Nacional Agraria., 2022).

#### **2.4.5 Flores y frutos**

Las flores constituidas por 5 o 6 pétalos de color blanco, acompañadas de 5 sépalos, de 20 a 35 estambres y numerosos pistilos en un receptáculo carnoso. Una fecundado el ovulo se produce un aquenio (que posee sus semillas en el exterior), a medida que el aquenio se distribuye en el receptáculo carnoso este se desarrolla y toma coloración dando origen al fruto de la planta (Santos & Obregón, 2009).

### **2.5 Requerimientos Edafológicos**

Para un correcto desarrollo del cultivo los suelos ideales son los arenosos o franco-arenosos, aireados, con buen drenaje, ligeramente ácidos, ricos en materia orgánica, con cierta capacidad de absorción y retención de agua (Lira & Ruíz, 2023) y (Gobierno de Tamaulipas, 2019). De acuerdo con Undurraga & Vargas (2013) es recomendable establecer el cultivo en terrenos planos o con pendientes suaves, con una profundidad mayor a 0.8 m y un pH ente 5.8 y 7.0 así como una conductividad

eléctrica menor a 1dS/m, evitando aquellos suelos que hayan tenido solanáceas y cucurbitáceas; teniendo en cuenta que suelos ácidos con pH inferiores a 5.8 pueden dañar las plantas y producir toxicidad por microelementos, se recomienda utilizar cal agrícola para corregirlo, además suelos alcalinos con pH superiores a 7.2 pueden afectar el crecimiento del fruto para erradicarlo se recomienda el uso de yeso agrícola.

## **2.6 Tipo de Suelo**

En suelos ácidos es importante satisfacer los requerimientos de calcio y magnesio, mientras que en suelos alcalinos hay que satisfacer los de hierro y micronutrientes.

El cultivo de fresa es poco tolerante a salinidad y sensible a altas concentraciones de cloro (Cl) y sodio (Na), causando quemaduras marginales en las hojas adultas; las plantas progresan mejor en suelos de textura media con buena aireación y drenaje (Universidad Nacional Agraria., 2022).

## **2.7 Medios de Cultivo**

La fresa puede ser cultivada en distintos medios, algunos de ellos son medios hidropónicos con sistema de riego como, la aeroponía vertical, película nutritiva (NFT) o riego por goteo en sustrato (Pérez-Buendía, 2020). Algunos otros medios son mediante fertirrigación y acolchado plástico, así como macro túnel (Olmos-Oropeza et al., 2021).

La aeroponía es un método donde las plantas se desarrollan en un ambiente controlado sin suelo, sus raíces son pulverizadas con una disolución acuosa rica en nutrientes, compuesto por un contenedor cilíndrico de polipropileno con aspersores que expulsan la solución nutritiva (Prieto-Salazar, 2021).

La técnica de Película Nutritiva (por sus siglas en inglés NFT) se basa en un sistema de solución de nutrientes recirculante en el cual se sumerge el extremo inferior de la raíz sin la necesidad de oxígeno adicional, su estructura consiste en un canal con posición inclinada que permita la circulación de nutrientes (Ríos et al., 2021).

Otro medio de cultivo es el hidropónico el cual consiste en la producción de plantas en una solución nutritiva, con o sin el uso de un medio artificial tal como grava,

vermiculita, perlita, fibra de coco, lana de roca entre algunos otros; cuando este sistema es líquido se requiere de un soporte físico para las raíces, en sistemas agregados se tiene un medio sólido en el que son fijadas las raíces (Vargas Balaguera, 2021).

## **2.8 Sustratos**

Se recomienda el uso de sustratos como la fibra de coco, cascarilla de arroz, solos y en mezcla (Guerrero Guerrero, 2020), también se recomienda la pomina, corteza de pino, (Lucero-Chucino, 2023), roca volcánica “tezontle” combinada con fibra de coco (García-López, 2023).

Con datos de Cerero-Cruz (2023) es posible utilizar lana de roca, perlita y turba.

### **2.8.1 Fibra de coco**

Material orgánico obtenido del mesocarpio del fruto, compuesto principalmente por celulosa y lignina, posee la capacidad de absorción y retención de agua, así como buena capacidad de retención de nutrientes e intercambio iónico, favorece el desarrollo radicular de las plantas; este sustrato permite ser utilizado por más de un ciclo de producción aproximadamente de 3 a 5 años (Suárez-Cruz, 2022).

### **2.8.2 Cascarilla de arroz**

Es un sustrato abundante en zonas arroceras, orgánico, liviano, con buen drenaje y aireación, posee baja capacidad de retención de humedad, además es difícil lograr su reparto homogéneo al ser utilizado como sustrato único, para mejorar la retención de humedad se recurre a la quema parcial de esta, sin embargo, es poco lo que aumenta la capilaridad y retención de humedad (Calderón-Sáenz, 2002).

### **2.8.3 Pomina**

Material esponjoso, poroso de origen volcánico, especial para brindar aireación al sustrato por sus características evita exceso de humedad, debido a que atrapa el aire. Se trata de partículas con un diámetro aproximado de 1.5 a 3.1 mm (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2023) y (Cholota-Guamán, 2013).

#### **2.8.4 Corteza de pino**

Se trata del resultado del compostado de materiales provenientes de aserraderos y descortezadoras de madera, apto para la elaboración de sustrato de calidad (Barbaro et al., 2014).

Es una opción para reciclar desechos forestales, mejorando la calidad del suelo en el que se cultivan las plantas (Mendoza-Hidalgo et al., 2022).

Una de sus principales características es su baja reducción de volumen con el tiempo, su capacidad de retención de agua puede ser relativamente baja y se puede corregir mezclándola con otros materiales (García et al., 2001).

#### **2.8.5 Roca volcánica “tezontle”**

Es uno de los materiales más utilizados como sustrato debido a su bajo costo y disponibilidad (Ponce-Lira et al., 2013).

Se trata de una roca volcánica formada por diferentes tipos de silicatos y carbono, porosa ligera, presenta alta heterogeneidad en el tamaño de partícula, de aspecto esponjoso no permeable, la porosidad de este material disminuye su densidad aparente y facilita su manejo (Salazar, 2023).

#### **2.8.6 Lana de roca**

Este sustrato ofrece excelente soporte a la planta, inerte, no permite cambios químicos o físicos con el medio, con excelente porosidad asegurando una buena aireación y capacidad para retener mucha agua; es un material ligero, reutilizable por un periodo de 4 a 5 años (Mosquera, 1989).

#### **2.8.7 Perlita**

Este material se obtiene por medio del tratamiento térmico de una roca silíceo volcánica del grupo de las riolitas (Procuraduría Federal del Consumidor, 2021).

Posee textura porosa la cual favorece en la retención de nutrientes, liviano, de pH neutro e inerte, rico en nutrientes, con buen drenaje y aireación (Vivanco, 2024).

### **2.8.8 Turba**

Se forma a través de la descomposición de la materia orgánica que se encuentra en zonas pantanosas; ligera, esponjosa y fácil de manipular (Procuraduría Federal del Consumidor, 2021).

Es considerado de los sustratos más utilizados en la agronomía (López López & López Fabal, 1970).

### **2.9 Marco de plantación**

Cada variedad posee requerimientos de siembra distintos se aconseja establecer el cultivo en camas de 0.70 m de ancho y colocar 2 hileras de plantas separadas a 0.35 m entre sí además de 0.30 m entre plantas; dejando un pasillo de 0.35 m, con una altura mínima de 0.40 m cuidando de no sobrepasar los 40 m de largo. La distancia de siembra puede variar según la variedad y condiciones agroclimáticas de la región en que se encuentre (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2017).

### **2.10 Conductividad Eléctrica**

En el cultivo de fresa su crecimiento, productividad y características organolépticas del fruto se ven afectadas a causa de las concentraciones de los elementos presentes en la solución nutritiva, para determinar esta concentración se realiza una medición de la conductividad eléctrica mediante un conductímetro el cual expresa sus valores en dS/m. Para este cultivo se recomienda que la solución nutritiva se encuentre en un rango de conductividad eléctrica entre 1,0 y 1,8 dS-1 para alcanzar un óptimo desarrollo (Abdallah, 2015).

Es posible que se presente disminución en la cosecha si se tiene un incremento en la salinidad del agua, pues este debe estar en el nivel óptimo de 0,8 a 1 mS/cm (ICL, 2022).

### **2.11 Influencia del pH**

El pH determina el grado de disponibilidad de los nutrientes vitales para el desarrollo del cultivo, cuando este se encuentra por debajo de 6 se observa una deficiencia de

elementos como nitrógeno, fósforo y potasio; en cambio sí se encuentra por encima de 8 se observa una deficiencia de boro, zinc y cobre (Ronald & Delgado, 2022).

## **2.12 Requerimientos Climáticos**

Este cultivo se adapta a una variedad de climas, logrando obtener los mejores rendimientos en zonas templadas. Las condiciones óptimas se encuentran en sitios con ausencia de vientos y heladas en primavera, sin lluvias ni elevadas temperaturas en épocas de cosecha. En lugares con inviernos templados es posible que la planta se desarrolle bien y produzca temprano. El desarrollo vegetativo y floración dependerá del frío recibido antes de su plantación, del fotoperiodo así como de las temperaturas durante el desarrollo (Undurraga & Vargas, 2013).

Prefiere climas templados con temperaturas de 18 a 22°C durante fructificación, de 23 a 28°C para un buen crecimiento vegetativo, hay variedades que se adaptan a zonas con climas cálidos y se pueden desarrollar sin que la planta tenga una acumulación previa de horas frío, sin embargo para mejores rendimientos algunos cultivares exigen periodos de frío por debajo de los 7°C, por lo cual es importante guardar plantas en cámara fría a fin de acumular sustancias de reserva en la corona (Ministerio de Agricultura, 2008).

## **2.13 Radiación**

Se desarrolla bajo un periodo de luz de 12 horas, cuando los días son cortos se estimula formación de flores y se reduce formación de estolones (Benavidez et al., 2022).

En un estudio realizado por Romantchik Kriuchkova et al., (2018) se menciona que la radiación solar es fundamental para la fotosíntesis y el crecimiento de las plantas, un exceso de radiación puede llegar a estresar a la planta y dañar los frutos, el uso de mallas de sombra permite controlar la cantidad de luz que es recibida y a su vez regula la temperatura; en dicho estudio se trabajó con el cierre y apertura de una malla sombra, la cual abría a una radiación de 400 W/m<sup>2</sup> y cerraba a una radiación de 600 W/m<sup>2</sup>.

## **2.14 Temperatura**

Las exigencias en cuanto a temperatura cambian según las variedades, durante su descanso vegetativo puede tolerar temperaturas muy bajas, en este periodo de descanso se inicia con temperaturas inferiores a 6°C con ello la planta satisface sus propios requerimientos de frío para interrumpir la dormancia. En la fase vegetativa la temperatura óptima es de 20°C al día y de 12°C de noche, durante la floración y maduración lo ideal es una temperatura de 25-26°C, en esta etapa temperaturas bajas (menos de 2°C) y excesivas (más de 34°C) causan desvitalización del polen, aborto floral y malformación de frutos (Bianchi, 2018).

## **2.15 Requerimientos Hídricos**

Exige riegos periódicos, la necesidad de estos aumenta según el incremento de temperatura y será mayor o menor dependiendo de la estructura física del suelo (Juscafresa, 1993).

## **2.16 Calidad de Agua para el riego**

El agua para riego está expuesta a factores de contaminación como: microorganismos patógenos, plagas, riesgos químicos y físicos generando un riesgo para la salud humana, por ello es fundamental que las fuentes hídricas y canales de distribución sean protegidos para prevenir contaminación y mantener limpios los sistemas de almacenamiento de agua. Resulta crucial prestar atención a la frecuencia de riego para que esto no genere un exceso hídrico (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2017).

## **2.17 Condiciones Físico – Químicas del agua**

Las condiciones físico-químicas pueden acarrear resultados positivos o negativos en el cultivo por lo cual se debe tener en cuenta el grado de salinidad pues si este es alto perjudica gravemente, así mismo hay que tener en cuenta la temperatura de las aguas de riego y del suelo cuidando que no haya un contraste entre ellos, de ser así se puede detener el desarrollo vegetativo (Juscafresa, 1993).

El rendimiento del cultivo disminuye ante la presencia de sales en el agua en concentraciones mayores a 0.8 mmhos/cm (Santos & Obregón, 2009)

## **2.18 Manejo Nutricional del Cultivo**

Para garantizar altos rendimientos y calidad en los frutos es indispensable un adecuado manejo de los nutrientes (Trejo-Téllez & Gómez-Merino, 2014).

El nitrógeno, fósforo, calcio, potasio, azufre y magnesio son algunos de los minerales requeridos en mayor cantidad, mientras que el hierro, manganeso, boro, zinc, cobre, molibdeno y cloro se requieren en menor cantidad (Strand, 2008).

Para el manejo de la variedad monterrey es recomendable aumentar el aporte de nitrógeno en la primera etapa del cultivo (establecimiento), para la etapa de producción se requiere de N-P-K-Ca-Mg (Aucay & Ortega, 2024).

Como indica (Ruíz et al., 2022) fertilizar con calcio favorece a las plantas de fresa, a medida en que se aumenta la dosis de  $\text{mg Ca L}^{-1}$  de agua, disminuyen los síntomas de necrosis a causa de una deficiencia del elemento, el número de flores se ve en aumento.

## **2.19 Nanotecnología**

Es la ciencia encargada del estudio de los nanomateriales o nanopartículas, también manipula, controla y explota las propiedades de la materia a nano-escala (Borja-Borja, 2020).

El concepto de nanotecnología refiere a toda tecnología a nanoescala con cuantiosas aplicaciones en la vida cotidiana, engloba procesos químicos, físicos y biológicos con la suficiencia para solventar problemas globales (Nasrollahzadeh et al., 2019). Aquellos átomos que se encuentran en una escala de 1 a 100 nm son considerados parte de la nanociencia y estas técnicas aplicadas se convierten en nanotecnología; lo que hace diferente a esta tecnología de materiales a nanoescala sobre los materiales a granel son sus propiedades de rendimiento mejoradas cuando son aplicadas de forma similar (Mansoori & Fauzi Soelaiman, 2005).

## **2.20 Nanomateriales**

Son estructuras que abarcan a las mil millonésimas parte de algo, su clasificación depende de las dimensiones y propiedades de los mismos (Borja-Borja, 2020).

Los nanomateriales pueden resultar un buen sustituto de los materiales convencionales por sus atributos y las mejoras que ofrecen para la agricultura, pues pesticidas y fertilizantes han demostrado poseer un alto potencial cuando son producidos a nivel nanométrico, su eficiencia consiste en mayor efectividad biológica, aumento en el rendimiento y productividad de los cultivos (Vázquez-Núñez, 2022b).

### **2.21 Efecto del Cobre en los Cultivos**

Identificado como un nutriente vegetal, uno de los primeros usos que se le dio fue para el control químico de malezas, es importante tener en cuenta que puede resultar tóxico para las plantas en altas concentraciones (Barker & Pilbeam, 2015).

El cobre es necesario para la producción de clorofila, la respiración y la síntesis de proteínas (Zewide & Sherefu, 2021), considerado esencial para el crecimiento y desarrollo normal en las plantas, participa en numerosos procesos fisiológicos (Yruea, 2005a).

Como se mencionó anteriormente, el cobre se vuelve tóxico cuando se encuentra en los tejidos a concentraciones más altas a las necesarias para el crecimiento vegetal ( $>30\text{mg.kg}^{-1}$ ). Para evitar esta acumulación y contrarrestar los efectos tóxicos, la planta desarrolla mecanismos como generación de especies reactivas de oxígeno, induciendo la activación del sistema enzimático antioxidante (Morales & Sepúlveda, 2012).

Las plantas han desarrollado estrategias para regular su homeostasis en función del nivel ambiental de cobre las cuales deben prevenir la acumulación del metal, recientemente se han identificado varios genes que inducen posibles transportadores de cobre (Yruea, 2005a).

### **2.22 Efecto de las Nanopartículas de Cobre**

Se espera que las Nanopartículas NPs cuenten con propiedades únicas, para ser utilizadas en áreas como la electrónica, medicina, catálisis, cosméticos, alimentos, almacenamiento de energía, control de contaminantes, etcétera (Borja-Borja, 2020).

El tamaño de las NPs es primordial para su absorción puesto que facilita su movimiento dentro de la planta, las Nanopartículas de Cobre (NPsCu) se han utilizado por sus cualidades antimicrobianas, crecimiento, fotosíntesis y respuesta antioxidante en algunas hortalizas (Palacio, 2019). Estas nanopartículas ayudan en el control biológico de plagas, aquellas menores de 50 nm tienen mayores efectos antimicrobianos (Acevedo-León et al., 2023), sin embargo, es fundamental considerar que los efectos de las nanopartículas dependen de la planta, el tamaño, forma, concentración de la nanopartícula, formas de aplicación e interacción con el medio ambiente (Hernández-Hernández et al., 2019).

### **2.23 Fenología del Cultivo**

Patiño-Sierra et al., (2014) afirma que las etapas fenológicas en el cultivo de fresa se clasifican en 3:

**Etapla vegetativa** la cual consta de un periodo de brotación dando origen a las yemas principales, seguido de la emergencia de las primeras hojas alcanzando un número de hojas de hasta 9 o más, posteriormente se forman los estolones. Dicha etapa tiene una duración del día 0 al 120.

**Etapla reproductiva** que comprende la aparición de las primeras yemas florales para dar paso a la floración y caída de pétalos, esta etapa surge posterior al día 120, una vez caídos los pétalos 20 días después de la floración se da comienzo a la formación del fruto.

**Etapla productiva** en este periodo la planta se encarga del desarrollo y maduración del fruto para proceder a la cosecha en el día 150 y culminar con la fase de reposo vegetativo.

### **2.24 Rendimiento Biológico**

De acuerdo con datos tomados de la FAO para el año 2023 en México se han producido 641,552.22 toneladas de fresa, en un área cosechada de 15,267 hectáreas alcanzando rendimientos de 42,023.5 kg/ha (FAOSTAT, 2025).

## **2.25 Rendimiento Económico**

Durante el año 2023, el 56.9% de la producción nacional se destinó a mercado internacional, lo cual resultó en la mayor derrama económica de los últimos seis años (Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2024)

El precio fue de 70,745 pesos/tonelada (Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2024).

De acuerdo con un análisis mostrado en (Hernández-Soto, 2021) la R B/C calculada para los productores de fresa en Baja California resultó ser de 2.1214, mientras que para los de Michoacán fue 2.0365 concluyendo que producir fresa para exportar al mercado de Estados Unidos es rentable; para el estado de Guanajuato se obtuvo una R B/C DE 0.9975, lo cual no resulta muy rentable para exportaciones .

Estados Unidos y Canadá se posicionaron como los principales compradores de fresa mexicana, con 145,654 toneladas, observando incremento anual del 4.9% (Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2024).

## **2.26 Parámetros de Calidad Comercial**

Para que los frutos de fresa sean considerados de calidad es indispensable que cumplan con ciertos parámetros tales como grado de madurez indicado por el porcentaje de color rosado o rojo (3/4 de rojo), además el brillo del fruto muestra la frescura y ausencia de pérdida de agua; se buscan frutos libres de defectos como hematomas y arrugas; es importante tener en cuenta los niveles de azúcares y acidez así como tamaño y uniformidad de la baya sin dejar de lado la firmeza pues deben no deben ser bayas blandas ni demasiado maduras (Mitcham, 1996).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación del experimento

El presente trabajo se llevó a cabo en el periodo verano-otoño comprendido del mes de junio al mes de diciembre del año 2024, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro dentro de un invernadero de mediana tecnología ubicado en las instalaciones del departamento de horticultura bajo las coordenadas 25°21'23" N 101°02'10" W.



Ilustración 2. Ubicación del experimento

#### 3.2 Material Vegetal Utilizado

La obtención del material vegetal fue a través de la propagación de estolones de plantas madre variedad Monterrey, un cultivar de día neutro con bajo vigor, frutos de tamaño grande, firmes, color claro, de sabor suave ideal para consumo en fresco (Lukas, 2025). Se contaba con 35 plantas madre a las cuales se les retiro el fertirriego, comenzando a producir estolones, estos se colocaban en recipientes con

peat moss y perlita para su enraizamiento, al paso de 10 días ya contaban con raíces suficientes y estaban listos para ser cortados de la planta madre, se llevaban a un estante para recibir riego y darles el manejo agronómico adecuado, hasta que tuvieran tres o más hojas desplegadas para lograr proceder al trasplante.



Ilustración 3. Propagación de estolones



Ilustración 4. Planta con cepellón

### 3.3 Nanopartículas Utilizadas

Para la realización de este experimento se aplicaron Nanopartículas de Cobre (NPsCu) diluidas en agua destilada bajo distintas concentraciones a ppm, sintetizadas en el Centro de Investigación en Química Aplicada, bajo la metodología expuesta en (Ortega-Ortiz et al., 2013), estas nanopartículas presentaron una pureza del 99.8 % con una morfología esférica y un diámetro de aproximadamente 25 nm.

### **3.4 Descripción del Sistema Productivo**

#### **3.4.1 Establecimiento del cultivo**

El cultivo se estableció el día 31 de julio del 2024 en las instalaciones mencionadas anteriormente. Fueron utilizadas bolsas de color negro con capacidad de 5 kg, primeramente, se perforaron para un adecuado drenaje y se llenaron con sustrato a base de turba (peat moss) y perlita en una composición 3:1 respectivamente, bajo un pH de 6.0, y con humedad a capacidad de campo para proceder con el trasplante de plántula con cepellón, estableciendo un total de 50 macetas; acomodándose en 5 hileras de 10 macetas cada una con una distancia de 35 cm entre macetas y 40 cm entre hileras.

#### **3.4.2 Riego**

El riego se aplicó de forma manual conforme a la etapa fenológica en que se encontrará la planta.

En la etapa de producción de plántula era muy demandante el recurso hídrico pues se requería de 250 ml/planta diarios, mientras que en la etapa vegetativa se aplicaba 1 lt/planta, esto fue variante según la temperatura y radiación solar, durante la etapa reproductiva los riegos fueron acortados a 750 ml/planta. Se estableció monitoreo riguroso de la humedad en el sustrato a fin de evitar la presencia de estrés hídrico, asegurando un óptimo suministro de agua según los requerimientos.

Para una correcta irrigación el pH del agua era ajustado con ácido fosfórico hasta que este quedara en 6.0 y así evitar problemas de salinidad ya que este oscilaba entre 8.5 y 7.0 de pH; cabe mencionar que a toda el agua que se utilizaba se le realizaba ajuste de pH.

#### **3.4.3 Nutrición**

Una vez establecidas las macetas, 4DDT se aplicó una enmienda a base de ácidos húmicos, fúlvicos y fósforo, para fortalecer raíces y mejorar la calidad del sustrato, colocando 5 ml/lt de producto y 250 ml/planta de solución realizando una segunda y última aplicación 5 días después de la primera aplicación.

A los 10 DDT se comenzaron las aplicaciones de solución nutritiva Steiner a una concentración del 25% durante el estadio vegetativo, para la etapa reproductiva se aumentó la concentración al 35% mientras que para la etapa de llenado de fruto la concentración fue al 50%, llevándose a cabo cada 4 días en cantidades de 1 lt por maceta.

Se aplicó de forma suplementaria calcio boro (CaB) cada 3 días y Aminofolpotasio (K) con intervalos de 5 días, ambos productos de la casa comercial BioStar®, a su vez en la etapa productiva se aplicó sulfato de magnesio y sulfato de potasio cada 6 días, para estimular la floración, prevenir daños por frío y asegurar la descarga de asimilados.

Figura 2. Solución nutritiva utilizada

| <b>Macros</b>                                      | <b>50%</b> |
|----------------------------------------------------|------------|
| Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>                  | 107 g      |
| KNO <sub>3</sub>                                   | 30.5 g     |
| NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> -H <sub>2</sub> O | 13.7 g     |
| MgSo <sub>4</sub> -7H <sub>2</sub> O               | 49.2 g     |
| K <sub>2</sub> So                                  | 35.2 g     |
| <b>Micros</b>                                      |            |
| H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>                     | 0.28 g     |
| MnSo <sub>4</sub> -H <sub>2</sub> O                | 0.215 g    |
| ZnSo <sub>4</sub> -7H <sub>2</sub> O               | 0.039 g    |
| CuSo <sub>4</sub> -5H <sub>2</sub> O               | 0.007      |
| H <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> (85%)              | 0.80 g     |
| Fe quelatado                                       | 5.0 g      |

#### 3.4.4 Poda de estolones

Para evitar el crecimiento de nuevas plantas dentro de las macetas y con el fin de promover el desarrollo de raíces y de la corona, diariamente se monitoreaba la presencia de estolones, pues su incidencia era diaria, cada uno era podado y posterior a ello se aplicó fungicida para evitar enfermedades.

#### **3.4.5 Poda de flores**

Se realizó una poda única de las primeras flores, para un mejor desarrollo y producción de próximas flores.

#### **3.4.6 Poda de hojas**

Las hojas marchitas, viejas, rojizas y con daños por plagas o enfermedades eran eliminadas cuidadosamente cada 15 días posterior a la eliminación de la hoja se asperjaba con sanitizante Cuperhidro® para evitar la proliferación de hongos o bacterias.

#### **3.4.7 Manejo de plagas y enfermedades**

Como medida de control preventivo para la presencia de ácaros o insectos se llevaron a cabo aplicaciones de insecticida a base de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Lecanicillium lecani* en intervalos de 4 días intercalándose con aplicaciones de extracto de ajo y jabón potásico de la misma forma se previnieron enfermedades con aplicaciones de fungicidas como Cupravit Hidro® y extracto de yuca.

#### **3.4.8 Cosecha**

La cosecha fue realizada 75 DDT cuándo los frutos poseían el 90% de su coloración total, siendo colectados de forma manual en un horario de 6:00 a 7:00 pm en bolsas transparentes identificadas con fecha y tratamiento para posteriormente medir su peso, diámetro polar y ecuatorial de cada uno de ellos.

### **3.5 Tratamientos Empleados**

Se aplicaron 5 tratamientos con 10 repeticiones por cada uno, teniendo un total de 50 unidades experimentales, las aplicaciones fueron realizadas mediante aspersiones foliares, cubriendo el haz y envés de las hojas de cada planta de forma individual, con intervalos de 15 días entre cada aplicación.

Este procedimiento incluyo distintas concentraciones de Nanopartículas de cobre (NPsCu) en ppm, ejecutadas en 6 intervalos programados; iniciando 35 DDT es decir el día 04 de septiembre de 2024 cuando la planta se encontraba en desarrollo vegetativo aún.

| Clave/Numero | Tratamiento                              |
|--------------|------------------------------------------|
| T0 (Testigo) | Agua destilada                           |
| T1           | Nanoparticulas de Cobre (NPsCu) a 25 ppm |
| T2           | NPsCu 50 ppm                             |
| T3           | NPsCu 75 ppm                             |
| T4           | NPsCu 100 ppm                            |

Figura 3. Tratamientos aplicados

### 3.6 Variables de Respuesta

**Altura de la planta.** Cada planta fue medida con apoyo de un flexómetro colocándolo firmemente desde el nivel del sustrato hasta la hoja más alta.

**Número de hojas.** Para obtener esta variable las hojas se contaron de forma manual comenzando por las hojas viejas hasta llegar a las hojas nuevas.

**Diámetro de la corona.** Con ayuda de un vernier digital se midió el diámetro final de la corona a nivel del sustrato.

**Número de flores.** Estas fueron contabilizadas de forma manual buscando entre tallos y hojas de cada planta.

**Número de frutos.** Se contabilizaron de forma manual al momento de la cosecha, siendo empacados en bolsas transparentes identificadas con el tratamiento y repetición.

**Diámetro polar de frutos.** Después de llevar a cabo la cosecha se midió con ayuda de un vernier digital el eje longitudinal del fruto desde la base del cáliz hasta la parte más distal del fruto.

**Diámetro ecuatorial de frutos.** De igual forma posterior a la cosecha con un vernier digital se midió la sección más ancha del fruto.

**Peso de frutos.** Una vez cosechados y con apoyo de una balanza digital se pesó cada uno de los frutos de forma individual.

Cada variable fue registrada en la libreta de campo en intervalos de 15 días entre cada toma de datos.

### 3.7 Frecuencia de los Muestreos

Los muestreos eran tomados de forma manual en periodos de 15 días entre cada muestreo obteniendo un total de 6 distribuidos acorde a las siguientes fechas:

| Muestreo | Fecha         |
|----------|---------------|
| 1        | 04 septiembre |
| 2        | 19 septiembre |
| 3        | 04 octubre    |
| 4        | 19 octubre    |
| 5        | 02 noviembre  |
| 6        | 16 noviembre  |

Figura 4. Frecuencia de los muestreos

### 3.8 Diseño Estadístico

Para el experimento se utilizó un diseño estadístico completamente al azar

$$Y_i = \mu + \tau_i + \varepsilon_i$$

Quedando distribuido de la siguiente manera

|       |      |       |       |       |
|-------|------|-------|-------|-------|
| T4R9  | T2R1 | T4R4  | T3R6  | T4R5  |
| T3R10 | T1R9 | T3R7  | T4R2  | T0R7  |
| T2R9  | T2R8 | T1R3  | T2R2  | T4R8  |
| T2R5  | T3R4 | T0R3  | T1R6  | T1R7  |
| T3R5  | T1R1 | T2R10 | T0R8  | T2R1  |
| T2R7  | T0R1 | T3R3  | T2R3  | T3R8  |
| T0R5  | T4R3 | T4R1  | T0R6  | T0R4  |
| T1R8  | T2R6 | T1R5  | T1R4  | T1R10 |
| T4R6  | T0R2 | T3R9  | T4R10 | T0R10 |
| T2R4  | T3R2 | T0R9  | T1R2  | T4R7  |

Figura 5. Distribución de los tratamientos

### 3.9 Análisis de la Información

Se realizó el análisis de varianza y una prueba de comparación de medias Fisher ( $\alpha 0.05$ ), utilizando el programa estadístico INFOSTAT 2020.

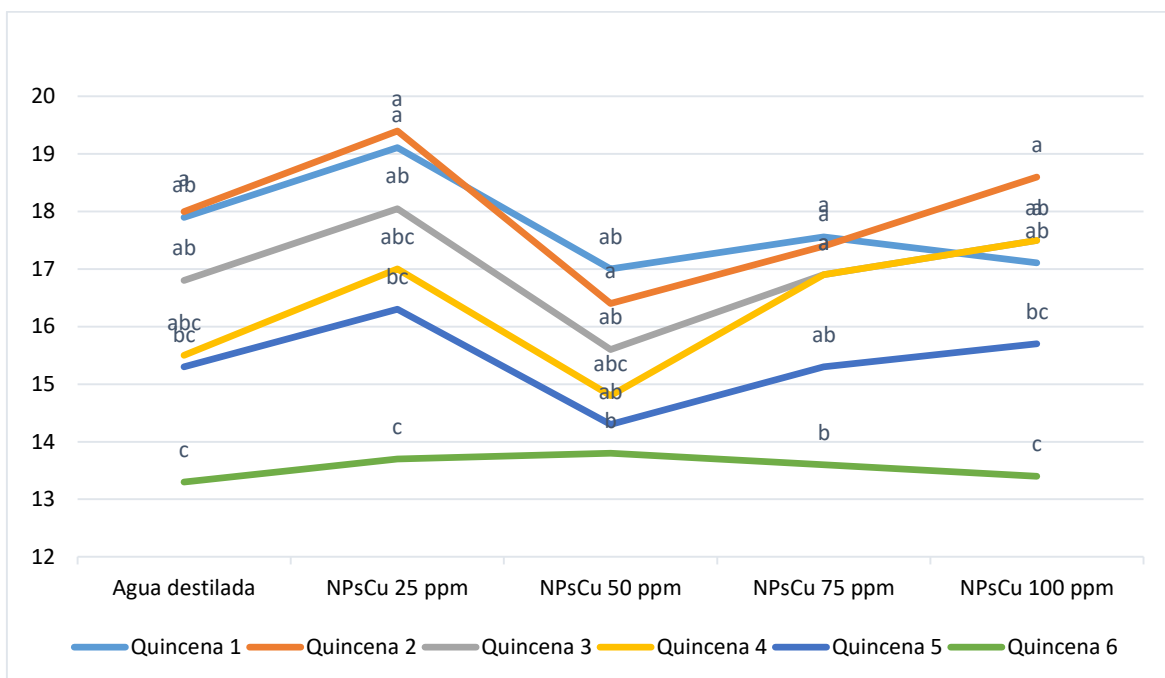
#### IV. RESULTADOS Y DISCUSION

##### Rendimiento Agronómico

De acuerdo con lo obtenido en la Tabla 1 para la variable altura de la planta dentro del análisis estadístico no se mostraron diferencias estadísticas significativas, sin embargo, se analizó el crecimiento a través del tiempo (Figura 6) mostrando que la aplicación foliar del T1 NPsCu en una concentración de 25 ppm mantiene una tendencia de crecimiento constante respecto a las demás. De acuerdo con una investigación realizada por (Magdaleno, 2017) se encontró que las NPsCu no poseen efectos significativos en cuanto a altura de la planta, así mismo se han realizado aplicaciones de NpsCu a cultivos de caña de azúcar en los cuales no se vio afectado el crecimiento del mismo (Tamez et al., 2019), lo anterior se puede atribuir a que el tratamiento en una concentración de 25 ppm presentó mayor altura sobre los demás, puesto que las nanopartículas en una baja concentración desarrollan el crecimiento de la planta (Juarez-Maldonado et al., 2016).

**Tabla 1.** Efecto de las aplicaciones foliares de NPs Cu sobre el rendimiento agronómico del cultivo de fresa cultivada en sustrato.

| Tratamiento                                                                                                      | Altura de la planta<br>(cm) | Diámetro de la<br>corona | Número de hojas |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------|
| Testigo (H2O)                                                                                                    | 19.30 a                     | 12.76 b                  | 15.44 ab        |
| NPsCu 25 ppm                                                                                                     | 20.80 a                     | 15.77 ab                 | 11.56 b         |
| NPsCu 50 ppm                                                                                                     | 18.50 a                     | 14.68 ab                 | 17.11 a         |
| NPsCu 75 ppm                                                                                                     | 19.40 a                     | 17.11 a                  | 18.13 a         |
| NPsCu 100 ppm                                                                                                    | 20.40 a                     | 15.75 ab                 | 15.00 ab        |
| C.V                                                                                                              | 13.86                       | 19.42                    | 33.73           |
| C.V=Coeficiente de variación (%). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ) |                             |                          |                 |



**Figura 6.** Comportamiento de la altura de plantas de fresa tratadas con NPs Cu cultivada en sustrato.

De los resultados obtenidos en la Tabla 1 muestran que entre las diferentes dosis de NPs de Cu no hay diferencias estadísticas lo que sugiere que la dosis no influye sobre la variable diámetro de la corona, sin embargo al aplicar una concentración de 75 ppm se presentan diferencias significativas respecto al testigo, lográndose observar un aumento del diámetro de la corona en un 34%, lo cual resulta beneficioso puesto que es un factor importante para la obtención de plantas más vigorosas y con mejor rendimiento, cabe mencionar que la corona es el órgano que almacena reservas para que la planta se desarrolle de una forma correcta (Juárez-Rosete et al., 2019).

Para la variable número de hojas la tabla 1 observa que a medida que incrementa la concentración de NPsCu aumenta el número de hojas esto sugiere que la respuesta ésta en función de la concentración utilizada, no obstante, a la concentración más alta (100 ppm) el efecto disminuye y se asemeja al testigo, esto se debe a que las nanopartículas de cobre a altas concentraciones pueden generar estrés en las plantas, inhibir el crecimiento y desarrollo, y afectar procesos fisiológicos esenciales como la fotosíntesis (Navarro Espinoza et al., 2021)

López-Luna et al., (2023) afirma que en un cultivo de aguacate ante nano-fertilización a base de Cu, la aparición de nuevas hojas aumentaron en un 85% logrando observar que el método de aspersión foliar fue el mejor para la nano-fertilización en dicho cultivo.

### Rendimiento productivo

En la Tabla 2. Podemos observar que el tamaño del fruto de fresa aumenta al aplicar concentraciones de 50 ppm de NPsCu con un incremento del 16% en el diámetro ecuatorial y 24% en el diámetro polar, de igual manera, mostró un incremento del 39% en el peso promedio del fruto en relación al testigo, es fundamental tener en cuenta que dosis altas de NPs de Cu disminuye los rendimientos debido al estrés celular causado; en una investigación realizada se obtuvo que el peso de los frutos de melón fue afectado debido a las aplicaciones de NPs Cu con dosis en altas concentraciones (Buendía-García et al., 2024).

En cuanto al número de frutos se observó que a medida que incrementa la concentración de NPsCu hay una mayor producción de frutos de fresa, sin embargo, al estimar el rendimiento por planta podemos observar que con concentraciones de 50 y 75 ppm el rendimiento incrementa en relación al testigo en un 60% y 44% respectivamente, se ha demostrado que en cultivos como el trigo las NPsCu tienen la capacidad para mejorar el rendimiento de forma significativa (Mahmood, 2015).

**Tabla 2.** Efecto de las aplicaciones foliares de NPs Cu sobre el rendimiento agronómico en el fruto de fresa establecida en sustrato.

| Tratamiento                                                                                                  | Diámetro ecuatorial del fruto (mm) | Diámetro polar del fruto (mm) | Peso (g) | Numero de frutos por planta | Rendimiento por planta (g/planta) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|----------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Testigo (H <sub>2</sub> O)                                                                                   | 24.35 b                            | 33.81 b                       | 12.67 b  | 13                          | 164.71                            |
| NPsCu 25 ppm                                                                                                 | 27.03 ab                           | 35.28 ab                      | 15.41 ab | 10                          | 154.1                             |
| NPsCu 50 ppm                                                                                                 | 28.46 a                            | 42.20 a                       | 17.66 a  | 15                          | 264.9                             |
| NPsCu 75 ppm                                                                                                 | 28.63 a                            | 39.33 ab                      | 14.98 ab | 16                          | 239.68                            |
| NPsCu 100 ppm                                                                                                | 24.23 b                            | 35.15 b                       | 10.74 b  | 16                          | 171.84                            |
| C.V                                                                                                          | 15.65                              | 16.38                         | 35.78    |                             |                                   |
| C.V=Coeficiente de variación (%). Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05) |                                    |                               |          |                             |                                   |

## V. CONCLUSIONES

Las aplicaciones de Nanopartículas de Cobre (NPsCu) de forma foliar afectan en el rendimiento agronómico de la fresa (*Fragaria ananassa*) bajo condiciones de invernadero, concentraciones de 25 ppm alcanzan una tendencia de crecimiento constante, mientras que en concentraciones de 75 ppm se alcanza un mayor diámetro de la corona, en cuanto a tamaño de los frutos este aumenta al aplicar concentraciones de 50 ppm y su peso incrementa en un 39% al recibir aplicaciones de 75 ppm.

A demás se logró observar que el número de frutos incrementó al usar concentraciones de 50 ppm, así como el rendimiento ante 75 ppm.

Con lo anterior se puede decir que las aplicaciones de NPsCu son una alternativa para un mejor desarrollo del cultivo.

## VI. LITERATURA CITADA

- Abdallah, F. (2015).** *Algunos aspectos sobre nutrición de la Fresa Hidropónica*. Instituto Nacional de Aprendizaje. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-1817.pdf>
- Acevedo-León, D., Ossa-Orozco, C. P., & Torres-López, A. M. (2023).** Evaluación de protocolos de síntesis de nanopartículas de cobre u óxidos de cobre. *Ingeniería*, 28(2), e19067. <https://doi.org/10.14483/23448393.19067>
- Aucay, L., & Ortega, C. (2024).** *Evaluación del rendimiento de la fresa (Fragaria x ananassa Duch.) vars. Monterrey y Albión frente a diferentes concentraciones de Biol MM, en el cantón Cuenca [Investigación]*. Universidad de Cuenca.
- Barbaro, L. A., Imhoff, S. D. C., & Morisigue, D. E. (2014).** *Evaluación De Sustratos Formulados Con Corteza De Pino, Pinocha Y Turba Subtropical*.
- Barker, A., & Pilbeam, D. (2015).** *Handbook of Plant Nutrition*. (2.<sup>a</sup> ed.). CRC Press.
- Benavidez, A., Cisne, J., Morán, J., & Duarte, H. (2022). *Producción orgánica de fresa (Fragaria spp.), Las Sabanas Madriz, Nicaragua*. Universidad Nacional Agraria.
- Bianchi, P. (2018).** *Guía completa del cultivo de las fresas*. De Vecchi, Editorial, S.A.
- Borja-Borja, J. M. (2020).** *Nanomateriales: Métodos de síntesis*. 5(08).
- Buendía-García, A., Preciado-Rangel, P., Paredes-Jácome, J., Guillén-Enríquez, R., Márquez-Guerrero, S., & Ramírez-Gottfried, R. (2024).** La biofortificación con nanopartículas de cobre mejora el rendimiento y compuestos bioactivos en frutos de melón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(8), 1-11.
- Calderón-Sáenz, F. (2002).** *La cascarilla de arroz «caolinizada»; una alternativa para mejorar la retención de humedad como sustrato para cultivos hidróponicos*. 14.
- Cerero-Cruz, L. (2023).** *Producción De Fresa (fragaria Ananassa Duch.) En Sistemas Hidropónicos Bajo Invernadero En Zaachila, Oaxaca [Instituto Tecnológico de Valle de Oaxaca]*. <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/6800>

**Cholota-Guamán, O. (2013).** *“Evaluación De Sustratos Para El Enraizamiento De Plántulas De Sábila (aloe Vera)”* [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/d633c1c8-5029-4319-a1ee-06d1f26d8051/content>

**Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024, agosto 1).** *SIAP*. <https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap/acciones-y-programas/panorama-agroalimentario-258035>

**FAOSTAT. (2025).** *Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura*.

**García, O. C., Alcántar, G., Cabrera, R. I., Gavi, F., & Volke, V. (2001).** *Evaluación De Sustratos Para La Producción De Epipremnum Aureum Y Spathiphyllum Wallisii Cultivadas En Maceta*. 19(3), 249-258.

**Gobierno de Tamaulipas. (2019).** *Fresa [Folleto]*. <https://www.tamaulipas.gob.mx/campo/wp-content/uploads/sites/40/2019/09/fresa.pdf>

**Gómez-Garzón, M. (2018).** Nanomateriales, Nanopartículas y Síntesis verde. *Repertorio de Medicina y Cirugía*, 27(2), 75-80.

**Guerrero Guerrero, E. M. (2020).** Evaluación De Sustratos Bajo Un Sistema Hidropónico En Un Cultivo De Fresa Con Variables De Calidad. *Informador Técnico*, 85(1), 52-63. <https://doi.org/10.23850/22565035.2922>

**Hernández-Hernández, H., Quiterio-Gutiérrez, T., Cadenas-Pliego, G., Ortega-Ortiz, H., Hernández-Fuentes, A. D., Cabrera De La Fuente, M., Valdés-Reyna, J., & Juárez-Maldonado, A. (2019).** Impact of Selenium and Copper Nanoparticles on Yield, Antioxidant System, and Fruit Quality of Tomato Plants. *Plants*, 8(10), 355. <https://doi.org/10.3390/plants8100355>

**Hernández-Soto, D. (2021).** Determinación de la rentabilidad de producir fresa en México para exportar a Estados Unidos. *Entorno UDLAP*, 42-51.

**ICL. (2022).** *Guía nutricional cultivo fresa*. ICL - Iberia. [https://multisite-assets.icl-growingsolutions.com/wp-content/uploads/sites/29/2022/02/17105351/Strawberry\\_crop\\_guide\\_ID01.pdf](https://multisite-assets.icl-growingsolutions.com/wp-content/uploads/sites/29/2022/02/17105351/Strawberry_crop_guide_ID01.pdf)

**Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2017).** *Manual de Buenas Prácticas Agrícolas y de Producción para el Cultivo de la Fresa*.

**Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (2023).** *Sustratos*. <https://tecnologia.iniap.gob.ec/wp-content/uploads/2023/11/sustrato.pdf#:~:text=La%20pomina%2C%20de%20origen%20volc%C3%A1nico%2C%20se%20utiliza%20para,tierra%20negra%20y%20pomina%20en%20la%20proporci%C3%B3n%20%3A1>.

**Juarez-Maldonado, A., Ortega-Ortíz, H., Pérez-Labrada, F., Cadenas-Pliego, G., & Benavides-Mendoza, A. (2016).** Cu Nanoparticles absorbed on chitosan hydrogels positively alter morphological, production, and quality characteristics of tomato. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 89. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2016.089.023>

**Juárez-Rosete, C. R., Aguilar-Castillo, J. A., Bugarín-Montoya, R., Aburto-González, C. A., & Alejo Santiago, G. (2019).** Medios de enraizamiento y aplicación de auxinas en la producción de plántulas de fresa. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 21(1), 1-13. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol21\\_num1\\_art:1319](https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num1_art:1319)

**Juscafresa, B. (1993).** *Cómo cultivar fresas, fresones y tomates*. Aedos.

**Kirschbaum, D. (2011).** *Fresa—Características botánicas, fisiología, tipos de variedades y de plantas*.

**Lira, R., & Ruíz, M. (2023).** *Producción de plantas de fresa con calidad genética, fisiológica y fitosanitaria. Folleto Técnico Núm. 37. (Técnico No. 37)*. Campo Experimental Uruapan.

**Lira-Saldivar, R. H., Argüello, B. M., Villarreal, G. D. L. S., & Reyes, I. V. (2018a).** Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta Universitaria*, 28(2), 9-24. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1575>

**Lira-Saldivar, R. H., Argüello, B. M., Villarreal, G. D. L. S., & Reyes, I. V. (2018b).** Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta Universitaria*, 28(2), 9-24. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1575>

**López López, N., & López Fabal, A. (1970).** Uso de un sustrato alternativo a la turba para la producción viverística de plantas hortícolas y aromáticas. *Recursos Rurais*, 8. <https://doi.org/10.15304/rr.id789>

**López-Luna, J., Nopal-Hormiga, Y., López-Sánchez, L., Mtz-Enríquez, A., & Pariona, N. (2023).** Effect of methods application of copper nanoparticles in the growth of avocado plants. *Science of The Total Environment*, 880.

**Lucero-Chucino, N. (2023).** *Evaluación De Cuatro Mezclas De Sustratos Para La Producción Semihidropónica De Fresa (fragaria X Ananassa D.) Variedad Albión En Invernadero*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**Magdaleno, G. (2017).** *Aplicación de Nanopartículas de Cobre en Hidrogeles de Quitosán para Promover la Tolerancia al Estrés Salino en Tomate (Solanum lycopersicum L.)* [Investigación]. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

**Mahmood, T. (2015).** Potential of Copper Nanoparticles to Increase Growth and Yield of Wheat. *Journal of Nanoscience with Advanced Technology*, 1(1), 6-11. <https://doi.org/10.24218/jnat.2015.02>

**Mansoori, G., & Fauzi Soelaiman, T. (2005).** Nanotechnology—An Introduction for the Standards Community. *Journal of ASTM International*, 2(6), 1-22. <https://doi.org/10.1520/JAI13110>

**Mendoza-Hidalgo, M., Naranjo-Riofrio, C., & Fajardo-Pruna, M. (2022).** *Diseño de una trituradora y clasificadora de corteza de pino para producción de sustrato para cultivo*. [Grado]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/56142>

**Michael, R. (2025).** Strawberry. En *Salem Press Encyclopedia of Science*. <https://research.ebsco.com/c/dpruvf/viewer/html/n4copfczrf>

**Ministerio de Agricultura. (2008).** *Estudio de la fresa en el Perú y el Mundo*. Dirección General de Información Agraria. [https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/451/1/estudio\\_fresa.pdf](https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/451/1/estudio_fresa.pdf)

**Mitcham, B. (1996).** *Quality Assurance for Strawberries: A Case Study*. 85.

**Montiel-Berber, B. (2022).** *Caracterización morfológica y fisiológica de plántulas de fresa en luz led roja, azul y violeta* [Licenciatura, Universidad de Guanajuato]. <http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/8279>

**Morales, J. M., & Sepúlveda, G. (2012).** El Daño Por Oxidación Causado Por Cobre Y La Respuesta Antioxidante De Las Plantas. *Interciencia*, 37(11), 805-811.

**Mosquera, C. (1989).** *La Lana De Roca, Un Nuevo Sustrato Para Los Cultivos Hidropónicos Y Los Invernaderos*. 11(1). Revista De Ciencias Agrícolas. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/1297>

**Muñoz-Ávila, J. (2016).** *Identificación y caracterización de genes implicados en la floración y el estolonado en fresa (Fragaria x ananassa Duch.)* [Doctoral, Universidad de Málaga]. <http://hdl.handle.net/10630/14322>

**Nasrollahzadeh, M., Sajadi, S. M., Sajjadi, M., & Issaabadi, Z. (2019).** An Introduction to Nanotechnology. En *Interface Science and Technology* (Vol. 28, pp. 1-27). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813586-0.00001-8>

**Navarro Espinoza, S., Meza-Figueroa, D., Diego Soto-Puebla, Castañeda, B., & Pedroza-Montero, M. (2021).** Nanopartículas: Efectos En La Salud Humana Y El Medio Ambiente. *EPISTEMUS*, 15(30). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i30.166>

**Olmos-Oropeza, G., Martínez-Montoya, J. F., Gómez-González, A., Ruíz-Vera, V. M., Palacio-Núñez, J., Tarango-Arámbula, L. A., & Bravo-Vinaja, A. (2021).** Adopción del cultivo de fresa (Fragaria x ananassa) en el centro norte de México. *Agro-Divulgación*, 1(1). <https://doi.org/10.54767/ad.v1i2.29>

**Ortega-Ortiz, H., Jiménez-Regalado, O., Ávila, R., Sierra-Ávila, G., Cadenas-Pliego, R., Betancourt-Galindo, M., Pérez-Alvarez, E., Barriga-Castro, &**

**Palacios-Mireles. (2013).** *Proceso de Síntesis de Nanopartículas Metálicas Mediante el Uso de Moléculas Bifuncionales.*

**Palacio, G. (2019).** *IV Congreso Internacional y XV Congreso Nacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas.*

**Panorama-Agroalimentario-2024.**

**Patiño-Sierra, D. I., García-Valencia, E. L., & Barrera-Abello, E. (2014).** *Manual Técnico Del Cultivo De Fresa Bajo Buenas Practicas Agrícolas. Medellín, Colombia: Secretaria De Agricultura Y Desarrollo Rural.* (p. 112). Gobernación de Antioquia, Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural.

**Pérez-Buendia, B. A. (2020).** *Evaluación de tres sistemas de producción de fresa (Fragaria vesca L.)* [(Master's thesis).].

**Ponce-Lira, B., Ortiz-Polo, A., Otazo-Sánchez, E., Reguera-Ruiz, E., Acevedo-Sandoval, O., Prieto-García, F., & González Ramírez, C. (2013).** *Physical characterization of an extensive volcanic rock in México: "Red tezontle" from Cerro de la Cruz, in Tlahuelilpan, Hidalgo.* 23(4), 9-16.

**Prieto-Salazar, S. (2021).** *Aeroponía: Cultivo Sin Tierra.* 27, 26-27.

**Procuraduría Federal del Consumidor. (2021).** Sustratos para tu huerto. *Procuraduría Federal del Consumidor.*  
<https://www.gob.mx/profeco/es/articulos/sustratos-para-tu-huerto?idiom=es>

**Ríos, M. J., García, C. M., & Tarazona, M. L. (2021).** *Proyecto de emprendimiento de cultivo de lechugas hidropónicas utilizando la técnica de película nutritiva o NFT.* Universidad del Rosario.

**Rivera-Jaramillo, Y. A., Cadenas-Pliego, G., Benavides-Mendoza, A., Sandoval-Rangel, A., & Cabrera-De La Fuente, M. (2021).** Complejo PVA-quitosán-nCu mejora el rendimiento y la respuesta de defensa en tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(6), 970-979. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.3012>

**Roldán, M. V., & Frattini, A. L. (2006).** *Nanopartículas metálicas con formas diversas*. 17(1).

**Romantchik Kriuchkova, E., López Cañtens, G., Chávez Aguilera, N., & Flores L., D. E. (2018).** Diseño E Instalación De Un Sistema De Control Automático De Malla Sombra, Caso Cultivo De Fresa (fragaria Sp.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 21, 4328-4340. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i21.1534>

**Ronald, H., & Delgado, G. (2022).** *Diseño de un sistema de control automático de ph y conductividad eléctrica para garantizar el balance de la solución nutritiva de un sistema hidropónico NFT en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo* [Investigación, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/10728>

**Ruiz, J. E. L., Roger, Y. L., Rojas, J. A. R., Orozco, J. S. S., Robalino, D. A. R., Murillo, R. F. P., & León, V. J. P. (2022).** Soluciones nutritivas de calcio en la fertirrigación del cultivo de la fresa (Fragaria x,ananassa Duch.), cultivar 'Albión'. *Revista Centro Agrícola*, 49(1), 54-59.

**Ruiz, R., & Piedrahíta, W. (2012).** Fresa. En *Manual para el cultivo de frutales en el trópico*. (Produmedios, p. 78).

**Salazar, Z. (2023).** *Carbono sp2 en roca volcánica y su aplicación en filtros de agua para la remoción de metales pesados*. 93.

**Santos, B. M., & Obregón, H. A. (2009).** Prácticas Culturales para la Producción Comercial de Fresas en Florida: HS1160/HS1160, 10/2009. *EDIS*, 2009(10). <https://doi.org/10.32473/edis-hs1160-2009>

**Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024).** *México se posiciona como país altamente productor y exportador de berries* (Comunicado No. B291). <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/mexico-se-posiciona-como-pais-altamente-productor-y-exportador-de-berries?idiom=es>

**Strand, L. (2008).** *Integrated pest management for Strawberries* (ilustrada ed., Vol. 3351). UCANR Publications, 2008.

**Suárez-Cruz. (2022).** *Comportamiento de germinación de semillas de badea (Passiflora quadrangularis) con uso de bioestimulantes en sustrato de fibra de coco.* [Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/4173>

**Tamez, C., Morelius, E. W., Hernandez-Viescas, J. A., Peralta-Videa, J. R., & Gardea-Torresdey, J. (2019).** Biochemical and physiological effects of copper compounds/nanoparticles on sugarcane (*Saccharum officinarum*). *Science of The Total Environment*, 649, 554-562. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.337>

**Trejo-Téllez, L. I., & Gómez-Merino, F. C. (2014).** *Nutrient Management in Strawberry: Effects on Yield, Quality and Plant Health.*

**Undurraga, P., & Vargas, S. (2013).** *Manual de frutilla Boletín INIA.*

**Universidad Nacional Agraria. (2022).** *Producción orgánica de fresa (Fragaria spp.), Las Sabanas Madriz, Nicaragua.* <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/4573>

**Vargas Balaguera, K. D. (2021).** *Sistema de recolección y clasificación de fresas en cultivos hidropónicos* [Trabajo de Grado Pregrado, Universidad de Pamplona]. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/4653>

**Vázquez-Núñez, E. (2022a).** Uso de nanomateriales en la agricultura y sus implicaciones ecológicas y ambientales. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 16(30), 1e-25e. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69704>

**Vázquez-Núñez, E. (2022b).** Uso de nanomateriales en la agricultura y sus implicaciones ecológicas y ambientales. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 16(30), 1e-25e. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69704>

**Vivanco, E. (2024).** *“Evaluación Del Potencial De Germinacion De Dos Variedades Marigold (tagetes Erecta) Y Aster Princea Rojo (callisthephus Chinensis) Con La Utilización De Un Sustrato Con Su Combinación De Perlita Y Vermiculita Utc 2023-2024”* [Investigación, Universidad Técnica de Cotopaxi].

<https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/c1e1f734-fb98-48b3-8533-e45c9410abf4/content>

**Yruela, I. (2005a).** Copper in plants. *Brazilian Journal Of Plant Physiology*, 17(1), 145-156.

**Yruela, I. (2005b).** Copper in plants. *Brazilian Journal Of Plant Physiology*, 17(1), 145-156.

**Zewide, I., & Sherefu, A. (2021).** Review Paper on Effect of Micronutrients for Crop Production. *J. Nutrition and Food Processing*, 4(7), 1-8.

## VII. ANEXOS

Nueva tabla : 22/05/2025 - 10:02:20 p. m. - [Versión : 30/04/2020]

### Análisis de la varianza

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| Altura   | 50 | 0.09           | 0.01              | 13.86 |

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.        | SC     | gl | CM   | F    | p-valor |
|-------------|--------|----|------|------|---------|
| Modelo      | 33.88  | 4  | 8.47 | 1.14 | 0.3509  |
| Tratamiento | 33.88  | 4  | 8.47 | 1.14 | 0.3509  |
| Error       | 335.00 | 45 | 7.44 |      |         |
| Total       | 368.88 | 49 |      |      |         |

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=2.45761**

Error: 7.4444 gl: 45

| Tratamiento | Medias | n  | E.E.   |
|-------------|--------|----|--------|
| T1          | 20.80  | 10 | 0.86 A |
| T4          | 20.40  | 10 | 0.86 A |
| T3          | 19.40  | 10 | 0.86 A |
| T0          | 19.30  | 10 | 0.86 A |
| T2          | 18.50  | 10 | 0.86 A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Nueva tabla : 04/06/2025 - 01:27:56 a. m. - [Versión : 30/04/2020]

### Análisis de la varianza

| Variable        | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|-----------------|----|----------------|-------------------|-------|
| DIAMETRO CORONA | 41 | 0.24           | 0.15              | 19.42 |

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.        | SC     | gl | CM    | F    | p-valor |
|-------------|--------|----|-------|------|---------|
| Modelo      | 94.72  | 4  | 23.68 | 2.77 | 0.0417  |
| TRATAMIENTO | 94.72  | 4  | 23.68 | 2.77 | 0.0417  |
| Error       | 307.52 | 36 | 8.54  |      |         |
| Total       | 402.24 | 40 |       |      |         |

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=2.97035**

Error: 8.5423 gl: 36

| TRATAMIENTO | Medias | n  | E.E. |     |
|-------------|--------|----|------|-----|
| T3          | 17.11  | 8  | 1.03 | A   |
| T1          | 15.77  | 6  | 1.19 | A B |
| T4          | 15.75  | 8  | 1.03 | A B |
| T2          | 14.68  | 9  | 0.97 | A B |
| T0          | 12.76  | 10 | 0.92 | B   |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## Número de hojas

Nueva tabla\_1 : 22/05/2025 - 10:08:50 p. m. - [Versión : 30/04/2020]

### Análisis de la varianza

1

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| 1        | 44 | 0.11           | 0.02              | 22.00 |

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.        | SC     | gl | CM   | F    | p-valor |
|-------------|--------|----|------|------|---------|
| Modelo      | 17.03  | 4  | 4.26 | 1.20 | 0.3243  |
| Tratamiento | 17.03  | 4  | 4.26 | 1.20 | 0.3243  |
| Error       | 137.88 | 39 | 3.54 |      |         |
| Total       | 154.91 | 43 |      |      |         |

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.81508

Error: 3.5353 gl: 39

| Tratamiento | Medias | n | E.E.     |
|-------------|--------|---|----------|
| T2          | 9.44   | 9 | 0.63 A   |
| T0          | 8.78   | 9 | 0.63 A B |
| T3          | 8.63   | 8 | 0.66 A B |
| T4          | 8.33   | 9 | 0.63 A B |
| T1          | 7.56   | 9 | 0.63 B   |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

2

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| 2        | 44 | 0.08           | 0.00              | 24.73 |

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.        | SC     | gl | CM   | F    | p-valor |
|-------------|--------|----|------|------|---------|
| Modelo      | 21.34  | 4  | 5.33 | 0.84 | 0.5074  |
| Tratamiento | 21.34  | 4  | 5.33 | 0.84 | 0.5074  |
| Error       | 247.21 | 39 | 6.34 |      |         |
| Total       | 268.55 | 43 |      |      |         |

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=2.43044

Error: 6.3387 gl: 39

| Tratamiento | Medias | n | E.E.   |
|-------------|--------|---|--------|
| T2          | 11.22  | 9 | 0.84 A |
| T0          | 10.44  | 9 | 0.84 A |
| T3          | 10.38  | 8 | 0.89 A |
| T4          | 9.67   | 9 | 0.84 A |
| T1          | 9.22   | 9 | 0.84 A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

3

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| 3        | 44 | 0.18           | 0.10              | 24.49 |

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.        | SC     | gl | CM    | F    | p-valor |
|-------------|--------|----|-------|------|---------|
| Modelo      | 63.91  | 4  | 15.98 | 2.17 | 0.0909  |
| Tratamiento | 63.91  | 4  | 15.98 | 2.17 | 0.0909  |
| Error       | 287.72 | 39 | 7.38  |      |         |
| Total       | 351.64 | 43 |       |      |         |

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=2.62204

Error: 7.3775 gl: 39

| Tratamiento | Medias | n | E.E. |     |
|-------------|--------|---|------|-----|
| T2          | 12.78  | 9 | 0.91 | A   |
| T0          | 12.11  | 9 | 0.91 | A B |
| T3          | 10.75  | 8 | 0.96 | A B |
| T4          | 10.22  | 9 | 0.91 | A B |
| T1          | 9.56   | 9 | 0.91 | B   |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

#### 4

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| 4        | 44 | 0.19           | 0.11              | 22.80 |

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.        | SC     | gl | CM    | F    | p-valor |
|-------------|--------|----|-------|------|---------|
| Modelo      | 73.59  | 4  | 18.40 | 2.29 | 0.0769  |
| Tratamiento | 73.59  | 4  | 18.40 | 2.29 | 0.0769  |
| Error       | 313.21 | 39 | 8.03  |      |         |
| Total       | 386.80 | 43 |       |      |         |

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=2.73571

Error: 8.0310 gl: 39

| Tratamiento | Medias | n | E.E. |     |
|-------------|--------|---|------|-----|
| T2          | 14.11  | 9 | 0.94 | A   |
| T0          | 13.56  | 9 | 0.94 | A   |
| T3          | 12.38  | 8 | 1.00 | A B |
| T4          | 11.44  | 9 | 0.94 | A B |
| T1          | 10.67  | 9 | 0.94 | B   |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

#### 5

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| 5        | 44 | 0.19           | 0.10              | 28.03 |

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.        | SC     | gl | CM    | F    | p-valor |
|-------------|--------|----|-------|------|---------|
| Modelo      | 125.07 | 4  | 31.27 | 2.23 | 0.0835  |
| Tratamiento | 125.07 | 4  | 31.27 | 2.23 | 0.0835  |
| Error       | 547.11 | 39 | 14.03 |      |         |

|       |        |    |
|-------|--------|----|
| Total | 672.18 | 43 |
|-------|--------|----|

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=3.61569**

Error: 14.0285 gl: 39

| Tratamiento | Medias | n | E.E. |     |
|-------------|--------|---|------|-----|
| T2          | 15.67  | 9 | 1.25 | A   |
| T0          | 14.56  | 9 | 1.25 | A B |
| T3          | 13.50  | 8 | 1.32 | A B |
| T4          | 12.11  | 9 | 1.25 | A B |
| T1          | 11.00  | 9 | 1.25 | B   |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**6**

| Variable | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| 6        | 44 | 0.17           | 0.09              | 33.73 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.        | SC      | gl | CM    | F    | p-valor |
|-------------|---------|----|-------|------|---------|
| Modelo      | 220.22  | 4  | 55.06 | 2.04 | 0.1070  |
| Tratamiento | 220.22  | 4  | 55.06 | 2.04 | 0.1070  |
| Error       | 1050.21 | 39 | 26.93 |      |         |
| Total       | 1270.43 | 43 |       |      |         |

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=5.00946**

Error: 26.9284 gl: 39

| Tratamiento | Medias | n | E.E. |     |
|-------------|--------|---|------|-----|
| T3          | 18.13  | 8 | 1.83 | A   |
| T2          | 17.11  | 9 | 1.73 | A   |
| T0          | 15.44  | 9 | 1.73 | A B |
| T4          | 15.00  | 9 | 1.73 | A B |
| T1          | 11.56  | 9 | 1.73 | B   |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## Análisis de la varianza

### DIAM. EC (MM)

| Variable      | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|---------------|----|----------------|-------------------|-------|
| DIAM. EC (MM) | 51 | 0.21           | 0.14              | 15.65 |

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.        | SC     | gl | CM    | F    | p-valor |
|-------------|--------|----|-------|------|---------|
| Modelo      | 206.09 | 4  | 51.52 | 3.09 | 0.0245  |
| Tratamiento | 206.09 | 4  | 51.52 | 3.09 | 0.0245  |
| Error       | 766.23 | 46 | 16.66 |      |         |
| Total       | 972.33 | 50 |       |      |         |

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=4.09785

Error: 16.6572 gl: 46

| Tratamiento | Medias | n  | E.E.     |
|-------------|--------|----|----------|
| T3          | 28.63  | 7  | 1.54 A   |
| T2          | 28.46  | 12 | 1.18 A   |
| T1          | 27.03  | 4  | 2.04 A B |
| T0          | 24.35  | 16 | 1.02 B   |
| T4          | 24.23  | 12 | 1.18 B   |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### DIAM. POL (MM)

| Variable       | N  | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|----------------|----|----------------|-------------------|-------|
| DIAM. POL (MM) | 51 | 0.26           | 0.19              | 16.38 |

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.        | SC      | gl | CM     | F    | p-valor |
|-------------|---------|----|--------|------|---------|
| Modelo      | 577.93  | 4  | 144.48 | 3.94 | 0.0078  |
| Tratamiento | 577.93  | 4  | 144.48 | 3.94 | 0.0078  |
| Error       | 1686.53 | 46 | 36.66  |      |         |
| Total       | 2264.46 | 50 |        |      |         |

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=6.07957

Error: 36.6637 gl: 46

| Tratamiento | Medias | n  | E.E.     |
|-------------|--------|----|----------|
| T2          | 42.20  | 12 | 1.75 A   |
| T3          | 39.33  | 7  | 2.29 A B |
| T1          | 35.28  | 4  | 3.03 A B |
| T4          | 35.15  | 12 | 1.75 B   |
| T0          | 33.81  | 16 | 1.51 B   |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### PESO (G)

| Variable | N | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV |
|----------|---|----------------|-------------------|----|
|----------|---|----------------|-------------------|----|

PESO (G) 49 0.23 0.16 35.78

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.        | SC      | gl | CM    | F    | p-valor |
|-------------|---------|----|-------|------|---------|
| Modelo      | 327.68  | 4  | 81.92 | 3.25 | 0.0202  |
| Tratamiento | 327.68  | 4  | 81.92 | 3.25 | 0.0202  |
| Error       | 1108.96 | 44 | 25.20 |      |         |
| Total       | 1436.63 | 48 |       |      |         |

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=4.90037**

Error: 25.2035 gl: 44

| Tratamiento | Medias | n  | E.E. |     |
|-------------|--------|----|------|-----|
| T2          | 17.66  | 12 | 1.45 | A   |
| T1          | 15.41  | 5  | 2.25 | A B |
| T3          | 14.98  | 7  | 1.90 | A B |
| T0          | 12.67  | 13 | 1.39 | B   |
| T4          | 10.74  | 12 | 1.45 | B   |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )