

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO



Aplicación de Ácido Glutámico como Bioestimulante en el Cultivo de Fresa  
(*Fragaria x ananassa* Duch) en Ambiente Controlado Bajo Diferentes Lámparas

LED

Por:

**LESTHER ORBELIN RAMIREZ MARTINEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL**

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO

Aplicación de Ácido Glutámico como Bioestimulante en el Cultivo de Fresa  
(*Fragaria x ananassa* Duch) en Ambiente Controlado Bajo Diferentes Lámparas  
LED

Por:

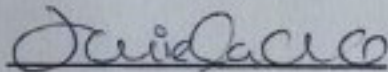
**LESTHER ORBELIN RAMIREZ MARTINEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL**

Aprobada por el Jurado Examinador:



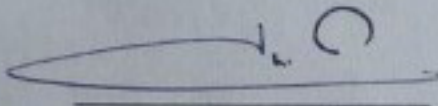
Dra. Daniela Alvarado Camarillo

Presidente



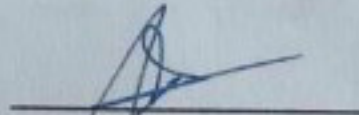
M.C. Adolfo Baylon Palomino

Vocal



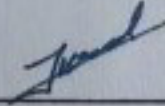
Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar

Vocal



Dr. Pedro Pérez Rodríguez

Vocal Suplente



M.C. Sergio Sánchez Martínez

Coordinador Interino de la División de Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO

Aplicación de Ácido Glutámico como Bioestimulante en el Cultivo de Fresa  
(*Fragaria x ananassa* Duch) en Ambiente Controlado Bajo Diferentes Lámparas  
LED

Por:

**LESTHER ORBELIN RAMIREZ MARTINEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dra. Daniela Alvarado Camarillo  
Asesor Principal Interno



M.C. Adolfo Baylon Palomino  
Asesor Principal Externo



Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar  
Coasesor



Dr. Pedro Pérez Rodríguez  
Coasesor

## **DERECHOS DE AUTOR**

La investigación realizada en el presente documento cuenta con el respaldo de la Ley Federal de Derecho de Autor y es propiedad del mismo, así como de su asesor principal. Por lo anterior expreso que éste trabajo es una idea original apoyado por en el conocimiento generado por otros autores donde se presentan resultados e información de una investigación nueva para el ámbito de la agronomía en el tema emergente de agricultura de interior con uso de lámparas. Toda información plasmada en dicho documento no tiene precedentes de publicación y no se utilizaron citas o información de líneas tal cual, de otros autores, no se utilizó información de algún autor sin darle crédito a su información, así mismo se les da crédito a ilustraciones, graficas, figuras de otros autores para sustentar la información encontrada. De igual forma cuento con el discernimiento de que la información tomada sin darle crédito o usarla sin editar y reproducirla tal cual otro de otro autor y sin citar a los mismo es sinónimo a plagio o robo. Por lo dicho anteriormente me hago responsable de cualquier tipo de reproducción total o parcial sin dar crédito correspondiente y exponemos formalmente que éste trabajo es una investigación original.

---

Lesther Orbelin Ramírez Martínez

## DEDICATORIA

### **A mis padres:**

**Santos Fernández Flores y Jazmín Martínez Estrada**, en este proyecto va dedicado y recompensado a mis padres por todo el esfuerzo y trabajo que han realizado, gracias por su apoyo, amor y cariño. Gracias por el gran rol de padres y hacer de mí una persona con muchos valores.

### **A mis tíos:**

**Lesther Rubisel Martínez Estrada y Luvani del Carmen Martínez Estrada**, por el apoyo y confianza que me han brindado, por siempre estar conmigo cuando más los necesito, por esa dedicación y esfuerzo que realizan todos los días para salir adelante y permitir formarme como profesionalista, gracias por sus consejos, espero no defraudarlos.

### **A mi abuelita:**

**Asunción Estrada Nieto**, con este trabajo quiero decirte muchas gracias por el gran ejemplo de madre que has sido para mí, gracias por cuidar de mí siempre y enseñarme el valor de la vida y las ganas de salir adelante, este trabajo va dedicado a ti con mucho amor y cariño.

### **A mis Hermanos:**

**Jorge Mateo Fernández martinez y Sofía Fernández Martinez**, por los momentos de felicidad que pasamos juntos, por ser el motor de cada día para salir adelante.

**Gloria Estrada Nieto**, porque este proyecto va dedicado para usted por todo el apoyo y cariño que me ha brindado, por cuidarme cuando era un niño, agradezco a Dios por permitirme compartir esta etapa de mi vida.

## AGRADECIMIENTO

**A Dios**, por brindarme las fuerzas y salud para salir adelante, y guiarme en todo camino y brindarme la oportunidad de vivir esta experiencia de culminar mi carrera profesional.

**A mi Alma Terra Mater, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN)**, que me abrió las puertas para desarrollarme profesionalmente y conocer grandes personas a lo largo de esta trayectoria.

**A la familia Vásquez Días**, gracias por brindarme todo su cariño en todo momento, estoy muy agradecido con la vida por poder contar con el apoyo de una familia como ustedes.

**A la familia Estrada Nieto**, por apoyar a lo largo de esta trayectoria, por los consejos que me han enseñado a ser mejor persona y por siempre alentarme a seguir adelante.

### **A mis asesores**

**Dra. Daniela Alvarado Camarillo**, por todas las enseñanzas que me brindo, por darme la confianza de realizar este proyecto, sobre todo por ser una gran persona que me apoyo en todos los momentos que me fortalecieron para seguir adelante en mi formación profesional y por qué siempre pude contar con usted.

**Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar**, gracias por brindarme su conocimiento y por todo su apoyo en la trayectoria de mi formación profesional y sobre todo para poder concluir con este proyecto.

**M.C. Adolfo Baylon Palomino**, por su apoyo para el término de mi titulación y mi documento de tesis, muchas gracias por formar parte en el último paso para el cierre de mi carrera académica en la Universidad.

**Dr. Pedro Pérez Rodríguez**, agradezco por el apoyo que me brindo a lo largo de esta trayectoria y sobre todo para concluir en esta última etapa de titulación.

## INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CUADROS .....	IX
INDICE DE FIGURAS .....	X
RESUMEN .....	XIII
I. INTRODUCCION .....	1
1.1. Objetivos .....	2
1.1.1 Objetivo general .....	2
1.1.2 Objetivos específicos .....	2
1.2. Hipótesis .....	2
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1 Origen e historia del cultivo de fresa .....	3
2.2 Morfología.....	3
2.2.1 Sistema radicular.....	3
2.2.2 Tallo .....	3
2.2.3 Hojas.....	3
2.2.4 Flor.....	4
2.2.5 Fruto .....	4
2.3 Taxonomía .....	4
2.4 Valor nutricional de la fresa .....	5
2.5 Variedades cultivadas en México .....	5
2.6 Requerimientos edafoclimáticos .....	6
2.6.1 Temperatura .....	6
2.6.2 Humedad relativa.....	6
2.6.3 Fotoperiodo.....	6

<b>2.7</b>	<b>Importancia socioeconómica</b> .....	<b>6</b>
<b>2.8</b>	<b>Cultivos sin suelo</b> .....	<b>6</b>
<b>2.8.1</b>	<b>Sustratos</b> .....	<b>7</b>
<b>2.8.2</b>	<b>Clasificación de los sustratos</b> .....	<b>7</b>
<b>2.8.3</b>	<b>Propiedades de los sustratos</b> .....	<b>8</b>
<b>2.9</b>	<b>Solución nutritiva</b> .....	<b>8</b>
<b>2.9.1</b>	<b>pH</b> .....	<b>9</b>
<b>2.9.2</b>	<b>Conductividad eléctrica (CE)</b> .....	<b>9</b>
<b>2.10</b>	<b>Agricultura vertical</b> .....	<b>9</b>
<b>2.10.1</b>	<b>Origen</b> .....	<b>9</b>
<b>2.10.2</b>	<b>Agricultura vertical a nivel nacional</b> .....	<b>9</b>
<b>2.10.3</b>	<b>Beneficios de la agricultura vertical</b> .....	<b>10</b>
<b>2.10.4</b>	<b>Desventajas de la agricultura vertical</b> .....	<b>11</b>
<b>2.10.5</b>	<b>Iluminación con LED'S</b> .....	<b>11</b>
<b>2.11</b>	<b>Bioestimulantes</b> .....	<b>11</b>
<b>2.12</b>	<b>Importancia de los bioestimulantes</b> .....	<b>11</b>
<b>2.13</b>	<b>Clasificación de los bioestimulantes</b> .....	<b>12</b>
<b>2.14</b>	<b>Ácido glutámico</b> .....	<b>12</b>
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y METODOS</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b>Metodología</b> .....	<b>13</b>
<b>3.2</b>	<b>Material Vegetal</b> .....	<b>13</b>
<b>3.3</b>	<b>Elaboración de la mezcla de cultivo</b> .....	<b>13</b>
<b>3.4</b>	<b>Trasplante</b> .....	<b>14</b>
<b>3.5</b>	<b>Sistema de cultivo vertical de interior</b> .....	<b>14</b>
<b>3.6</b>	<b>Manejo del ambiente</b> .....	<b>14</b>

3.7	Tratamientos de lámparas LED'S .....	15
3.8	Riego .....	15
3.9	Tratamientos de ácido glutámico .....	16
3.10	Manejo agronómico del cultivo .....	16
3.10.1	Control del crecimiento vegetativo .....	16
3.11	Combate de plagas .....	17
3.12	Cosecha .....	17
3.13	Parámetros de evaluación .....	18
3.13.1	Rendimiento y calidad de fruto .....	18
3.13.2	Variables de crecimiento vegetativo .....	18
3.14.	Análisis estadístico .....	19
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	20
4.1	Rendimiento y calidad de fruto .....	20
4.2	Variables de crecimiento vegetativo .....	26
4.3	Peso fresco de partes vegetativas .....	28
V.	CONCLUSIONES .....	33
VI.	LITERATURA CITADA .....	34
5.1	Citas electrónicas .....	39

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Clasificación taxonómica de la planta de fresa .....	4
<b>Cuadro 2.</b> Valor nutricional del fruto de fresa .....	5
<b>Cuadro 3.</b> Propiedades que debe tener un buen sustrato en cultivo sin suelo. ....	8
<b>Cuadro 4.</b> Beneficios de la agricultura vertical en el ámbito económico, ambiental y social. ....	10
<b>Cuadro 5.</b> Clasificación de los bioestimulantes según su categoría. ....	12
<b>Cuadro 6.</b> Intensidades lumínicas de las lámparas LED'S por niveles .....	15
<b>Cuadro 7</b> Tratamientos de Ácido Glutámico .....	16
<b>Cuadro 8.</b> Insecticidas para el control de plagas y enfermedades. ....	17

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Laboratorio de Agricultura de Interior en el Departamento de Ciencias del Suelo. ....	13
<b>Figura 2.</b> Producción de fruto en fresa ( <i>Fragaria</i> x <i>ananassa Duch</i> ) cultivada bajo un sistema de ambiente de interior e iluminada mediante lámparas de luz emisoras de diodos a diferentes radiaciones bajo diferentes concentraciones de ácido glutámico. Las barras indican la variabilidad del promedio mediante el error estándar. Promedios con diferente literal señala efectos significativos de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$ . ....	21
<b>Figura 3.</b> Longitud de fruto en fresa ( <i>Fragaria</i> x <i>ananassa Duch</i> ) cultivada bajo un sistema de ambiente de interior e iluminada mediante lámparas de luz emisoras de diodos a diferentes radiaciones bajo diferentes concentraciones de ácido glutámico. Las barras indican la variabilidad del promedio mediante el error estándar. Promedios con diferente literal señala efectos significativos de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$ . ....	22
<b>Figura 4.</b> Diámetro de fruto en fresa ( <i>Fragaria</i> x <i>ananassa Duch</i> ) cultivada bajo un sistema de ambiente de interior e iluminada mediante lámparas de luz emisoras de diodos a diferentes radiaciones bajo diferentes concentraciones de ácido glutámico. Las barras indican la variabilidad del promedio mediante el error estándar. Promedios con diferente literal señala efectos significativos de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$ . ....	23
<b>Figura 5.</b> Sólidos solubles totales en fresa ( <i>Fragaria</i> x <i>ananassa Duch</i> ) cultivada bajo un sistema de ambiente de interior e iluminada mediante lámparas de luz emisoras de diodos a diferentes radiaciones bajo diferentes concentraciones de ácido glutámico. Las barras indican la variabilidad del promedio mediante el error estándar. Promedios con diferente literal señala efectos significativos de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$ . ....	24
<b>Figura 6.</b> Peso de fruto en fresa ( <i>Fragaria</i> x <i>ananassa Duch</i> ) cultivada bajo un sistema de ambiente de interior e iluminada mediante lámparas de luz emisoras de diodos a diferentes radiaciones bajo diferentes concentraciones de ácido glutámico.	

Las barras indican la variabilidad del promedio mediante el error estándar. Promedios con diferente literal señala efectos significativos de acuerdo a la prueba de Duncan con  $p < 0.05$ . ..... 25

**Figura 7.** Numero de coronas en fresa (*Fragaria* x *ananassa Duch*) cultivada bajo un sistema de ambiente de interior e iluminada mediante lámparas de luz emisoras de diodos a diferentes radiaciones bajo diferentes concentraciones de ácido glutámico. Las barras indican la variabilidad del promedio mediante el error estándar. Promedios con diferente literal señala efectos significativos de acuerdo a la prueba de Duncan con  $p < 0.05$ . ..... 27

**Figura 8.** Peso fresco de la hoja (en fresa (*Fragaria* x *ananassa Duch*) cultivada bajo un sistema de ambiente de interior e iluminada mediante lámparas de luz emisoras de diodos a diferentes radiaciones bajo diferentes concentraciones de ácido glutámico. Las barras indican la variabilidad del promedio mediante el error estándar. Promedios con diferente literal señala efectos significativos de acuerdo a la prueba de Duncan con  $p < 0.05$ . ..... 28

**Figura 9.** Peso fresco total en fresa (*Fragaria* x *ananassa Duch*) cultivada bajo un sistema de ambiente de interior e iluminada mediante lámparas de luz emisoras de diodos a diferentes radiaciones bajo diferentes concentraciones de ácido glutámico. Las barras indican la variabilidad del promedio mediante el error estándar. Promedios con diferente literal señala efectos significativos de acuerdo a la prueba de Duncan con  $p < 0.05$ . ..... 30

**Figura 10.** Peso fresco de raíz en fresa (*Fragaria* x *ananassa Duch*) cultivada bajo un sistema de ambiente de interior e iluminada mediante lámparas de luz emisoras de diodos a diferentes radiaciones bajo diferentes concentraciones de ácido glutámico. Las barras indican la variabilidad del promedio mediante el error estándar. Promedios con diferente literal señala efectos significativos de acuerdo a la prueba de Duncan con  $p < 0.05$ . ..... 31

**Figura 11.** Longitud de raíz en fresa (*Fragaria* x *ananassa Duch*) cultivada bajo un sistema de ambiente de interior e iluminada mediante lámparas de luz emisoras de diodos a diferentes radiaciones bajo diferentes concentraciones de ácido glutámico. Las barras indican la variabilidad del promedio mediante el error estándar.

Promedios con diferente literal señala efectos significativos de acuerdo a la prueba de Duncan con  $p < 0.05$ . ..... 32

## RESUMEN

México es el tercer productor y exportador a nivel mundial de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch), sin embargo, la producción de este cultivo en ambientes controlados se ve afectado por la falta de polinización. por lo tanto, se ha demostrado que las aplicaciones de los bioestimulantes potencializan la actividad fisiológica de las plantas, el ácido glutámico es un aminoácido que cumple grandes funciones dentro de la planta cuando esta se ve acumulado se ve reflejado en un incremento en la producción del fruto. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de diferentes tipos de lámparas LED (N2, N3 y N4), y determinar la concentración adecuada de la aplicación foliar del ácido glutámico para incrementar la el rendimiento y calidad del fruto del cultivo de fresa. Los resultados indican que la mayor producción de fruto se obtiene cuando las plantas de fresa son iluminadas con las lámparas LED N3, sin embargo, los frutos de mayor peso, longitud y diámetro se obtienen con las lámparas N4. La aplicación de ácido glutámico permite aumentar el rendimiento y tamaño de frutos, pero sin afectar el contenido de sólidos solubles totales. El aumento en el rendimiento en plantas iluminadas con LEDs del N3 estuvo asociado con una reducción en el número de coronas producidas, lo cual se reflejó en un menor peso fresco total de las plantas.

**Palabras claves:** Bioestimulantes, lámparas LED, Agricultura de interior

## I. INTRODUCCION

La principal especie de fresa cultivada, *Fragaria x ananassa*, se originó hace 250 años (Hancock *et al.*, 2010). En el mercado internacional de fresa México es el tercer proveedor, con un valor de 14.8% de las exportaciones mundiales (SAGARPA,2017)., En México se producen alrededor de 551,168.53 toneladas de fresa (SIAP, 2023). Sea registrado un incremento del cultivo de fresa en México en los últimos 5 años, esto gracias a las campañas promocionales que han sido de gran importancia para darle promoción al consumo de este fruto, ya que la medida per cápita era de 800 g y pasó a 1.5 kg, y se cree que el consumo del fruto se siga incrementando (SAGARPA-SPF, 2013). Para obtener altos rendimientos y un producto de alta calidad se debe tener un sistema eficiente, para ello la producción en los sistemas de cultivos protegidos pueden llevar a tener una gran inversión, esto dependerá del tipo de tecnología que se utilice, este tipo de tecnología permitirá un manejo ideal para el cultivo y así poder cosechar cualquier época del año.

Uno de los factores limitantes para la producción del cultivo de fresa en sistemas hidropónicos es la falta de estudios e investigación que impiden identificar las condiciones climáticas para las distintas variedades de fresa (Ferrucho y Ruiz, 2013).

Los bioestimulantes son productos que no afectan al medio ambiente y nos permiten mejorar a nuestros cultivos cuando están sometidos por algún factor estresante, son recomendables utilizarlo cuando los cultivos son susceptibles algún tipo de estrés, sea biótico o abiótico (Kocira *et al.*, 2018). La producción de fresa en sistemas de agricultura de interior puede imponer un estrés para las plantas ya que en estos sistemas existen condiciones que representan una desventaja, como lo es la baja intensidad de la radiación, así como la falta de alguna banda del espectro luminoso que es requerida para el crecimiento adecuado de los cultivos. Ante esta situación, el presente estudio se realizó con el objetivo de determinar el efecto de la intensidad de luz sobre las plantas de fresa y en caso de intensidades inadecuadas definir si la aplicación de un bioestimulante a base de ácido glutámico permitía restituir el crecimiento y producción de las plantas.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo general**

Determinar el efecto de la aplicación de un bioestimulante y el tipo de lámparas LED en fresa.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Determinar la producción y calidad del fruto de fresa bajo diferentes concentraciones de ácido glutámico aplicado vía foliar.

Definir el efecto de diferentes tipos de lámparas LED en fresa bajo agricultura vertical en ambiente controlado.

## **1.2. Hipótesis**

La concentración óptima de ácido glutámico aplicado vía foliar afectara la respuesta de las plantas de fresa a las lámparas LED evaluadas.

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1 Origen e historia del cultivo de fresa

El origen de la fresa se dio entre el cruce de *Fragaria chiloensis* y *Fragaria virginiana*, que dio origen el híbrido *Fragaria x ananassa* (Carmona, 2009). La fresa es un fruto de color rojo intenso y aromático que pertenece a la familia de las Rosáceas, nombrada en 1776 por el botánico francés Duchesne; la hibridación de esta especie ocurrió en los jardines botánicos europeos y fue importada desde el nuevo mundo a finales del siglo XVI y mediados del siglo XVIII, dando así el origen del híbrido comercial *Fragaria x ananassa*, la fresa cultivada actualmente (Romero y Tovar, 2019).

### 2.2 Morfología

#### 2.2.1 Sistema radicular

El sistema radicular de la fresa crece desde el tallo, se compone de raíces y raicillas, tiene un promedio de 40 cm de profundidad, las primeras raíces presentan un cambium vascular y suberoso, mientras que las raicillas sufren un proceso de renovación fisiológico (Patiño *et al.*, 2014).

#### 2.2.2 Tallo

El tallo contiene un eje cónico, denominado corona, que se encuentra en la parte central formando hojas axilares y yemas que desarrollan tallos rastreros conocidos como que dan origen a los estolones, que darán origen a una nueva planta (Bolda *et al.*, 2015).

#### 2.2.3 Hojas

Las hojas están compuestas por tres folíolos, de hojas pediculadas y de bordes cerrados, están intersectadas en la corona, cuentan con un gran número de estomas; sus principales funciones son la participación en el proceso de fotosíntesis, respiración y transpiración (Infoagro,2024).

#### 2.2.4 Flor

La flor es de color blanco y cuenta con 5-6 pétalos, 20 a 35 estambres y muchos pistilos, se desarrollan de las yemas axilares, cuenta con un receptáculo para dar protección y soporte a la flor (ITSC, 2018)

#### 2.2.5 Fruto

Se desarrolla de cada óvulo fecundado el cual da lugar a un fruto de tipo aquenio. El desarrollo de los aquenios, distribuidos por la superficie del receptáculo carnoso, estimula el crecimiento y la coloración de éste, dando lugar al “fruto” del fresón (Gualacata, 2019).

### 2.3 Taxonomía

La fresa es una planta herbácea que pertenece a la familia de las Rosáceas y al género *Fragaria* (Bianchi, 2018) y la clasificación taxonómica se muestra en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Clasificación taxonómica de la planta de fresa

<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Orden</b>	Rosales
<b>Familia</b>	Rosaceae
<b>Género</b>	<i>Fragaria</i>
<b>Especie</b>	<i>Fragaria x ananassa</i> D.

(EcuRed, 2019).

## 2.4 Valor nutricional de la fresa

El Cuadro 2 muestra el valor nutricional de los frutos de la fresa.

**Cuadro 2.** Valor nutricional del fruto de fresa

<b>Valor por cada 100 g</b>	
Energía	36 kcal
Grasa	0,5 g
Proteínas	0,7 g
Agua	89,6 g
Fibra dietética	2,2 g
Carbohidratos	7 g
Vitamina C	60 mg
Vitamina E	2 mg
Vitamina B6	0,06 mg
Vitamina B9 o ácido fólico	20 µg
Potasio	190 mg
Fósforo	26 mg
Magnesio	12 mg
Calcio	25 mg
Sodio	2 mg
Hierro	0,8 mg

(ABC bienestar,2022).

## 2.5 Variedades cultivadas en México

Las variedades de fresa se pueden clasificar de acuerdo con su respuesta al fotoperiodo; pueden ser de día corto, neutro o largo; y se refiere a los requerimientos necesarios para inducir la floración (Dávalos *et al*, 2011).

Las variedades de día neutro se mantienen indiferentes al número de horas de fotoperiodo, lo que las hace ideales para su producción en invierno, entre ellas se pueden citar a 'Albión', 'Monterrey', 'San Andreas', ente otras (Santoyo *et al.*, 2010).

## **2.6 Requerimientos edafoclimáticos**

### **2.6.1 Temperatura**

La fresa es un cultivo de clima frío, las temperaturas óptimas en las que se desarrolla están entre 15° y 25° C en el día y 8° y 10°C en la noche, aunque existen variedades capaces de adaptarse a zonas cálidas (Miserendino, 2012).

### **2.6.2 Humedad relativa**

La humedad relativa adecuada para el cultivo de fresa es de 60-70 %, cuando tienden a ser superiores a esta permite la presencia de enfermedades por hongos y cuando son inferiores la planta puede llegar a sufrir daños fisiológicos que afectan la producción, en casos muy extremos la planta puede morir (Chiqui y Lema, 2010).

### **2.6.3 Fotoperiodo**

La mayoría de los cultivares de fresa requieren 12 horas diarias de luz al día para una buena producción (Dario, 2020).

## **2.7 Importancia socioeconómica**

La fresa a nivel mundial es uno de los frutos más usados por el público ya sea fresco o procesado, comúnmente es utilizado para productos elaborados o en reposterías; el uso de la fresa no solo es importante como saborizante, sino además es un fruto que gran cantidad de nutrientes a nivel alimenticio (Kessel, 2012).

## **2.8 Cultivos sin suelo**

Es un sistema que no emplea suelo, que se desarrollan en una solución nutritiva o en sustratos totalmente inertes, permitiendo el correcto desarrollo de las plantas (Baixauli y Aguilar, 2002).

### **2.8.1 Sustratos**

El sustrato es un material diferente al suelo, que puede ser orgánico e inorgánico, que se coloca en cualquier contenedor en forma de mezcla o única; el sustrato ayuda a mantener y darle soporte a la planta anclada (Bardo, 2005).

### **2.8.2 Clasificación de los sustratos**

- **Según sus propiedades**

Químicamente inertes: arena silíceo o granítica, grava, roca volcánica, perlita, lana de roca, arcilla expandida.

Químicamente activos: turbas rubias y negras, orujos, residuos de la industria maderera, vermiculita.

- **Según su origen**

Naturales: turbas rubias y negras, fibra de coco, son los más empleados; subproductos de actividades agrícolas, urbanas e industriales, Normalmente necesitan ser compostados para ser aptos para el cultivo.

Minerales: proceden de rocas y minerales diversos: arenas, gravas, gravas volcánicas, deben ser tratados industrialmente para su uso (Martínez y Roca, 2011).

### 2.8.3 Propiedades de los sustratos

Los sustratos empleados para sistemas de cultivo sin suelo deben reunir ciertas propiedades, las cuales se señalan en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Propiedades que debe tener un buen sustrato en cultivo sin suelo.

<b>Propiedades de un sustrato</b>	
<b>Generales</b>	1. Facilidad de compra en el mercado y bajo precio. 2. Peso ligero y facilidad de manejo.
<b>Físicas</b>	3. Espacio poroso total (>85%). 4. Capacidad de aireación (20-30%). 5. Alta capacidad de retención del agua. 6. Estructura permanente. 7. Tamaño de partículas homogéneas (0.25-2.5 mm). 8. Baja densidad aparente (<0.4 g/cm <sup>3</sup> ).
<b>Químicas</b>	9. Alta CIC (>20 meq/100 g). 10. Disponibilidad de los nutrientes. 11. Baja salinidad. 12. pH 5.5-6.8. 13. Eficiente relación C/N (<=40).
<b>Biológicas</b>	14. Amigable con el medio ambiente. 15. Alta velocidad de descomposición. 16. Actividad reguladora del crecimiento. 17. Libre de plagas y semillas de malas hierbas.

(Beltrano y Gimenez, 2015).

### 2.9 Solución nutritiva

La solución nutritiva es la principal fuente de nutrición en los cultivos de hidroponía, la cual está basada en concentraciones de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y micro elementos; cada cultivo requiere diferente nutrición en cada etapa fenológica, los elementos en la solución nutritiva están en forma iónica, ya que no pueden ser tomados en su forma elemental por la planta, y así, permitiendo un adecuado crecimiento y desarrollo en la planta (González, 2022).

### **2.9.1 pH**

El pH es una escala de cero a 14 que mide la acidez y alcalinidad de una sustancia. Un pH de 0 a 6.9 indica acidez de la sustancia; uno de 7.0 es neutro y el de 7.1 a 14 indica alcalinidad en la sustancia (Aquino, 2014).

### **2.9.2 Conductividad eléctrica (CE)**

Es importante determinar las concentraciones óptimas para el crecimiento de los cultivos, para evitar deficiencias de nutrientes dentro de los sistemas interiores (Hosseini *et al.*, 2021). Para el caso de la fresa la CE debe ser menor de 2.0 dS m<sup>-1</sup>.

## **2.10 Agricultura vertical**

La agricultura vertical es un sistema que permite producir alimentos en capas apiladas de forma vertical en espacios cerrados o aislados, esto con el fin de utilizar tecnologías de ambiente controlado, además la implementación de tecnología de iluminación artificial, para producir un cultivo más eficiente se utilizan soluciones nutritivas que aporten los nutrientes necesarios a la planta para su desarrollo (Horvath, 2018).

### **2.10.1 Origen**

El término de agricultura vertical fue definida por el estadounidense Ellis Bailey, profesor de geología en la Universidad del Sur de California, y publicó el primer libro llamado "Vertical farming" en 1915 (Bailey, 2014). Este concepto no fue del todo desarrollado, pero en 1990 el profesor Dickinson Despommier propuso la idea de utilizar la tecnología de agricultura vertical para producir alimentos en áreas pocos cultivables (Despommier, 2010).

### **2.10.2 Agricultura vertical a nivel nacional**

En los últimos años la agricultura vertical hidropónica en México ha crecido debido a que la producción de alimentos a campo abierto ha disminuido por la presencia de plagas y enfermedades que se enfrentan los productores, además del uso de agua y suelos degradados que no son aptas para la producción de cultivos (Anda y Shear, 2017).

### 2.10.3 Beneficios de la agricultura vertical

En el Cuadro 4 se muestran los beneficios que se han propuesto para el empleo de la agricultura vertical.

**Cuadro 4.** Beneficios de la agricultura vertical en el ámbito económico, ambiental y social.

<b>Beneficio</b>	<b>Económico</b>	<b>Ambiental</b>	<b>Social</b>
Menor distancia de transporte.	Ahorro de combustibles.	Menor contaminación del aire.	Mejor salud humana.
Uso de aguas residuales.	Menor costo del agua.	Menor cantidad de agua utilizada.	Disponibilidad de agua.
Ejecución de restos orgánicos.	Darles utilidad a los restos.	Restricción de escombros.	Alimentos nutritivos.
Fuentes de empleo.	Mayores ingresos locales.	Menor huella ecológica.	Trabajo para los habitantes.
Menor uso de plaguicidas.	Menor compra de plaguicidas.	Menor contaminación del medio ambiente.	Alimentos libres de pesticidas y químicos.
Buena productividad.	Producción segura todo el año.	Uso de espacios pequeños o edificios.	Trabajo eficiente en menor tiempo.
Producción todo el año.	Inversiones seguras.	Menor daño al medio ambiente.	Seguridad alimenticia.
Empleo de energías limpias.	Menor inversión monetaria.	Menor consumo de combustibles.	Aire fresco y puro.
Producción de alimentos sanos.	Costos bajos por daños al medio ambiente.	Conservar la biodiversidad de nuestro planeta.	Mejor estilo de vida.
Uso de espacios deshabitados	Recuperación económica.	Evita el desalojo de flora/fauna.	Mejor presentación del sitio.

(Mir *et al*, 2022; Eigenbrod y Gruda, 2015).

#### **2.10.4 Desventajas de la agricultura vertical**

Una de las desventajas muy importantes dentro de la agricultura vertical es la inversión de los sistemas, equipos, el suministro de nutrientes, soporte para los cultivos, además, estos costos se ven aumentados debido a la demanda de mucha energía para la iluminación, control del ambiente (temperatura, humedad, oxígeno), equipos de riegos, lo que implica una desventaja dentro de la agricultura protegida (Banerjee y Adenaeuer, 2014).

#### **2.10.5 Iluminación con LED'S**

La implementación de luces LED dentro de la agricultura, se convirtió en una alternativa para cultivar en espacios cerrados principalmente en agricultura vertical donde es más utilizado, la iluminación de la luz artificial en las plantas nos permite obtener altos rendimientos de acuerdo a los cultivos que se establezcan (Canali y Gutiérrez, 2018).

### **2.11 Bioestimulantes**

Son productos que actualmente están siendo muy importantes dentro de la agricultura, en el 2018 se ha estimado que los Bioestimulantes superan los 2000 millones de dólares dentro del mercado global, con un crecimiento anual del 12,4 % entre los años 2013 y 2018 (Calvo *et al.*, 2014). Los bioestimulantes son capaces de interactuar en los sistemas de señalización de las plantas y estimular algunos microorganismos beneficiosos, y así evitando factores de estrés que puedan dañar a la planta y disminuir el rendimiento (Brown y Saa, 2015).

### **2.12 Importancia de los bioestimulantes**

Los bioestimulantes son sustancias y materiales orgánicos que, al momento de ser aplicados en las plantas o medio de cultivo, que potencializa la actividad fisiológica y crecimiento de los cultivos, además de mejorar la respuesta por un factor de estrés (Veobides, 2018).

### 2.13 Clasificación de los bioestimulantes

Los bioestimulantes son clasificados en función a las respuestas fisiológicas en las plantas (Cuadro 5), así como también por su composición. Los bioestimulantes son fáciles de identificar por sus mecanismos activados (Bulgari *et al.*, 2014).

**Cuadro 5.** Clasificación de los bioestimulantes según su categoría.

---

1.	Ácidos húmicos y fúlvicos.
2.	Hidrolizatos de proteínas con péptidos, aminoácidos y otros compuestos con N. Extractos de algas y de plantas.
3.	Biopolímeros como el quitosán, poliácido acrílico, oligómeros de celulosa.
4.	Elementos benéficos y sus sales (Si, Se, Co, Na, I).
5.	Hongos benéficos (ejemplo, micorrizas).
6.	Bacterias benéficas (PGPR y bacterias endofíticas)

---

(du Jardin, 2015).

### 2.14 Ácido glutámico

El ácido glutámico es un aminoácido que cumple una gran función dentro de las plantas que actúa como un mecanismo fisiológico y metabólico, además de asimilar y metabolizar el nitrógeno (Intagri, 2018).

Las aplicaciones de ácido glutámico foliar se ve favorecida por la formación de la clorofila b, la acumulación de su aplicación provoca un incremento de la actividad del glutamato sintetasa, lo cual se ve reflejado un incremento en la producción del fruto (Serna, 2011).

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Metodología

El estudio inició el 29 de agosto del 2023, en un sistema de agricultura de interior ubicado en el Departamento de Ciencias de Suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, C.P. 25084, Saltillo, Coahuila, México, y cuyas coordenadas son: 25 grados 21 minutos 10 segundos latitud norte, -101 grados 1 minutos 52 segundos longitud oeste y con una altitud de 1,785 msnm (Figura 1).



**Figura 1** Laboratorio de Agricultura de Interior en el Departamento de Ciencias del Suelo.

#### 3.2 Material Vegetal

Un total de 72 plantas de fresa cultivar San Andreas, cuyas características es ser precoz y neutra a la respuesta de fotoperiodo.

#### 3.3 Elaboración de la mezcla de cultivo

Se utilizó una proporción de 70-30 con peat moss y 30 % perlita. Los contenedores fueron bolsas de polietileno color negro, a los cuales se les realizó cuatro perforaciones en el fondo con unos perforadores, para el drenaje del agua no retenida. Al mezclar el sustrato se fue agregando 1 g por litro de bicarbonato de sodio con el fin de ajustar el pH a 5.7. Posteriormente se procedió a llenar las bolsas con el sustrato ya preparado y se realizó el primer riego para lavar el sodio y evitar que se acumuló en el sustrato.

### **3.4 Trasplante**

Se llenaron 72 bolsas de polietileno color negro de 5 L. El trasplante de la fresa se hizo el 29 de agosto del 2023, haciendo un hoyo en el centro sustrato, y se colocó la planta dejando un 1 cm de la corona arriba del sustrato.

### **3.5 Sistema de cultivo vertical de interior**

En el presente estudio, se utilizó un rack de 2.53 m de altura, 1.72 m de longitud y 80 cm de anchura. El rack consistió de 4 niveles con separación entre ellos de 35.5 cm conteniendo una charola de aluminio en la cual se colocaron seis charolas de semillero termoformada elaborada de poliestireno de color negro, con las siguientes medidas: 55 cm de longitud, 28.5 cm de anchura y 6 cm de altura.

En todas las bandejas se realizó una perforación circular, colocando mangueras, para reunir el agua de drenaje del riego de cada uno de los tratamientos. Para este trabajo de investigación, se tenía un total de 18 plantas por nivel en cada charola, se fraccionó teniendo 6 plántulas en cada tratamiento.

### **3.6 Manejo del ambiente**

La temperatura se mantuvo en 24 grados centígrados en la parte iluminada mientras que en la parte nocturna se mantuvo en 16 °C, control un equipo de control forzado de la temperatura.

### 3.7 Tratamientos de lámparas LED'S

Los tratamientos de intensidad de luz se aplicaron mediante el empleo de diferente tipo o número de lámparas LED (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Intensidades lumínicas de las lámparas LED'S por niveles

Tratamiento	Numero de lámparas	Leds	Marca
N2	10	Azul	KVF
N3	8	Blancas	KVF
N4	3	Blancas	Ledvance

### 3.8 Riego

Los riegos se realizaban conforme a las necesidades de la planta y se aplicaban 2L por planta con solución nutritiva Steiner completa con un pH de 6.0 que se ajustaba con ácido cítrico.

### 3.9 Tratamientos de ácido glutámico

Los tratamientos con bioestimulantes se realizaron mediante la aplicación foliar de ácido glutámico, los cuales se muestran en el Cuadro 7.

**Cuadro 7** Tratamientos de Ácido Glutámico

Niveles	Tratamientos	Concentración ppm foliar
G1	T1	0
G2	T2	150
G3	T3	300

### 3.10 Manejo agronómico del cultivo

#### 3.10.1 Control del crecimiento vegetativo

- **Eliminación de estolones**

Los estolones se comenzaron a formar 45 días después del trasplante; semanalmente se revisaban las fresas y al observar que crecían, se podaban para que no absorbieran nutrimentos de la planta y afectara el desarrollo vegetal.

- **Eliminación de hojas**

La poda foliar consistía en eliminar las hojas de mayor edad y las que tenían síntomas de agentes patógenos o plagas para prevenir la diseminación en las hojas sanas, lo que ocasionó una menor presencia de plagas y enfermedades.

- **Eliminación de órganos reproductores**

Se eliminaron las primeras flores que se formaron luego del trasplante con el objetivo de impedir que la planta joven entre en producción y promover un mayor desarrollo de las plantas.

- **Eliminación de la frutilla**

Al iniciar la producción de frutillas se monitoreaba semanalmente los frutos nuevos, podando aquellos que mostraban malformaciones o carencia de nutrimentos.

### **3.11 Combate de pestes**

Las fresas estuvieron sujetas al ataque de problemas parasitológicos durante todo el ciclo vegetativo a pesar de crecer bajo un sistema de interior. Se presentó el ataque de araña roja (*Tetranychus urticae*), la cual se inició a observar cómo diminutas puntuaciones de color claro en la superficie adaxial de la hoja y en la superficie abaxial, en la cuales se distinguían diferentes estadios fenológicos del acaro. Se preparó una calendarización para la fumigación, en la cual semanalmente se aplicaba una mezcla de los productos indicados en el Cuadro 8.

**Cuadro 8.** Insecticidas para el control de plagas y enfermedades.

<b>Insecticida</b>	<b>Ingrediente activo</b>	<b>Dosis</b>	<b>Forma de aplicación</b>
Abamectina delta	Abamectina	1 mL/L	Foliar
Penatrex	Nonilfenol y Polioxietilénico	3 mL/L	Foliar
Agrimec	Abamectina	1 mL/L	Foliar

### **3.12 Cosecha**

Las frutillas se cosecharon manualmente, seleccionados solo aquellos que tenían similar estado de maduración y una adecuada firmeza. Al ser recolectados, las frutillas se manejaban para realizarles las evaluaciones en el aula instalada para este objetivo en el Departamento de Suelos. Las frutillas en buen estado y mejor calidad, se almacenaban en recipientes de polietileno flexible con cremallera tipo Ziploc, y etiquetándose con la información para el control con el número del nivel del rack, tratamiento del bioestimulante y número de planta, para en seguida pasar las bolsas en el congelador.

### **3.13 Parámetros de evaluación**

#### **3.13.1 Rendimiento y calidad de fruto**

- **Producción de frutillas**

Se cuantificó el peso de las frutillas cosechadas en gramos con una báscula digital de acero inoxidable (marca MESVIER).

- **Largo y ancho del fruto**

Se determinaron parámetros en milímetros con un vernier digital, colocándolo a lo longitud y diámetro del fruto.

- **Sólidos solubles totales**

Los sólidos solubles totales se cuantificaron con un refractómetro manual (marca ATAGO) y se expresó en grados Brix; para lo cual se limpiaba la pantalla de luz de día con un trapo fino, se colocan de algunas gotas del extracto del jugo de la fruta, y posteriormente la pantalla se cierra, para observar la lectura a través de un ocular.

#### **3.13.2 Variables de crecimiento vegetativo**

- **Formación de coronas**

Al finalizar el estudio, se procedió a contabilizar la formación de coronas; estas fueron removidas y guardadas en una bolsa del tipo 3 de papel estraza, etiquetarla con un marcador indeleble anotando el nivel, aplicación de lámparas LED y planta.

- **Peso fresco de partes vegetativas**

Al instante de podar las coronas, raíces y estructuras foliares de cada planta, se cuantificó su peso con una báscula digital; posteriormente se introdujeron en un recipiente de papel estraza del tipo tres, etiquetándolos con un marcador indeleble el tratamiento, número de planta y número del nivel.

### **3.14. Análisis estadístico**

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar con arreglo factorial, en los factores fueron la intensidad proporcionada por las lámparas LED, con tres niveles, y la concentración de ácido glutámico, también con tres niveles. Los datos de los parámetros evaluados se analizaron con un análisis de varianza mediante el programa SAS y en caso de significancia estadística se aplicó una comparación múltiple a los promedios mediante la prueba de Duncan con  $p < 0.05$ .

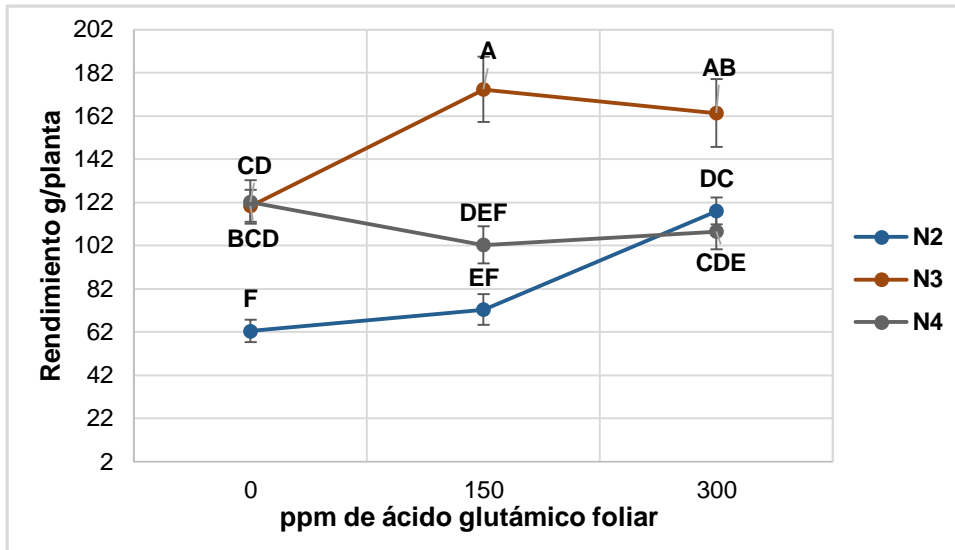
## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Rendimiento y calidad de fruto

#### Rendimiento

La interacción muestra que las LEDs del tratamiento N3 resultó con los rendimientos más altos en comparación a el N2 y N4. En el N3, la aplicación de ácido glutámico a 150 y 300 ppm mostraron un efecto significativo en rendimiento. Por lo que en el N3 combinado con 150 ppm de ácido glutámico fue el tratamiento que obtuvo un mayor rendimiento de 174.34 g/planta. El rendimiento comercial por planta en frutillas oscila entre 554 y 96 g por planta en condiciones de cultivo en túneles (Prasad *et al.*, 2022); los resultados obtenidos en el presente estudio concuerdan con lo anterior al ubicarse en el rango reportado como aceptable en el mercado. Las plantas bajo las LED del tratamiento N2 tuvieron el menor rendimiento, sin embargo, la respuesta al ácido glutámico fue similar ya que con 300 ppm se obtuvo una mayor producción de fruto. En contraste, las plantas tratadas con las LED del tratamiento N4 no mostraron respuesta al ácido glutámico (Figura 2).

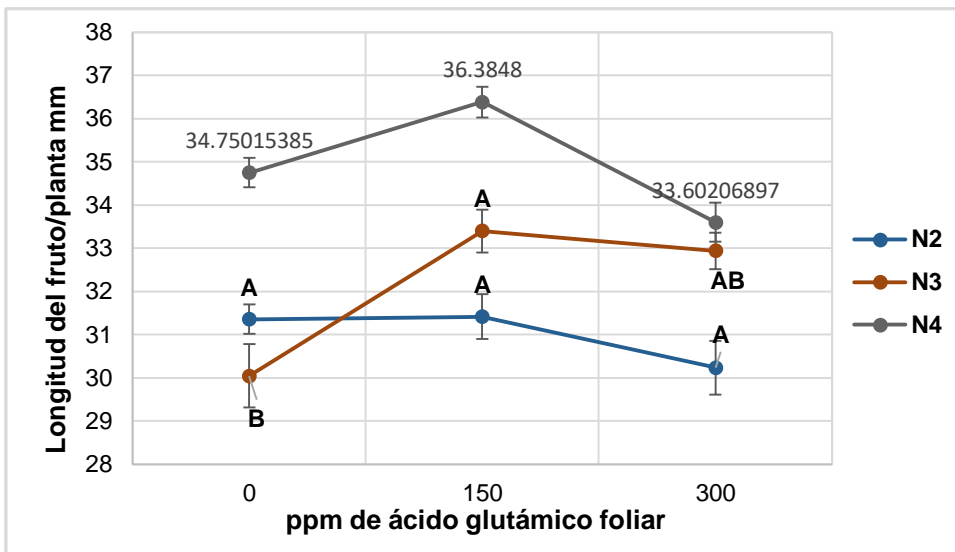
Se ha señalado que el mayor rendimiento de frutillas se obtiene con radiaciones entre 250 y 150  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  lográndose la mayor producción con la intensidad más alta (Guiamba *et al.*, 2022). Por otra parte, se ha señalado que con un balance de luz roja, verde y azul de 60:20:20, se lograron rendimientos de 80 g/planta de fresa bajo una intensidad lumínica de 420.6  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Avendaño-Abarca *et al.*, 2022).



**Figura 2.** Producción de fruto en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) cultivada bajo un sistema de ambiente de interior e iluminada mediante lámparas de luz emisoras de diodos a diferentes radiaciones bajo diferentes concentraciones de ácido glutámico. Las barras indican la variabilidad del promedio mediante el error estándar. Promedios con diferente literal señala efectos significativos de acuerdo a la prueba de Duncan con  $p < 0.05$ .

### Longitud del fruto

Similarmente, los frutos tratados con las LEDs N4 fueron de mayor longitud, especialmente cuando recibieron aplicaciones de ácido glutámico a 150 ppm (Figura 3). En plantas que se trataron con las LEDs del N2 no se presentó una respuesta al ácido glutámico mientras que en las del N3 se observó una tendencia similar al rendimiento, ya que los frutos tendieron a ser de mayor longitud al elevarse las concentraciones de ácido glutámico (Figura 3).

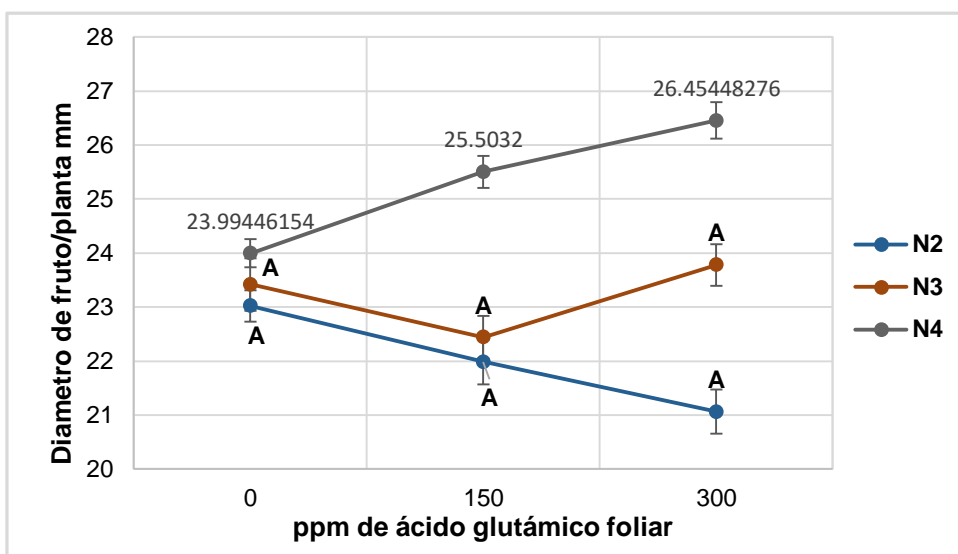


**Figura 3.** Longitud de fruto en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) cultivada bajo un sistema de ambiente de interior e iluminada mediante lámparas de luz emisoras de diodos a diferentes radiaciones bajo diferentes concentraciones de ácido glutámico. Las barras indican la variabilidad del promedio mediante el error estándar. Promedios con diferente literal señala efectos significativos de acuerdo a la prueba de Duncan con  $p < 0.05$ .

## Diámetro del fruto

Al igual que la longitud y diámetro de fruto, las plantas con las LEDs del N4 produjeron los frutos de mayor diámetro, sin embargo, este diámetro tendió a aumentar al elevarse la concentración de ácido glutámico aplicado (Figura 4). Por otro lado, los frutos de las plantas en las LED del N2 y N3 redujeron su diámetro al aumentar la concentración de ácido glutámico (Figura 4).

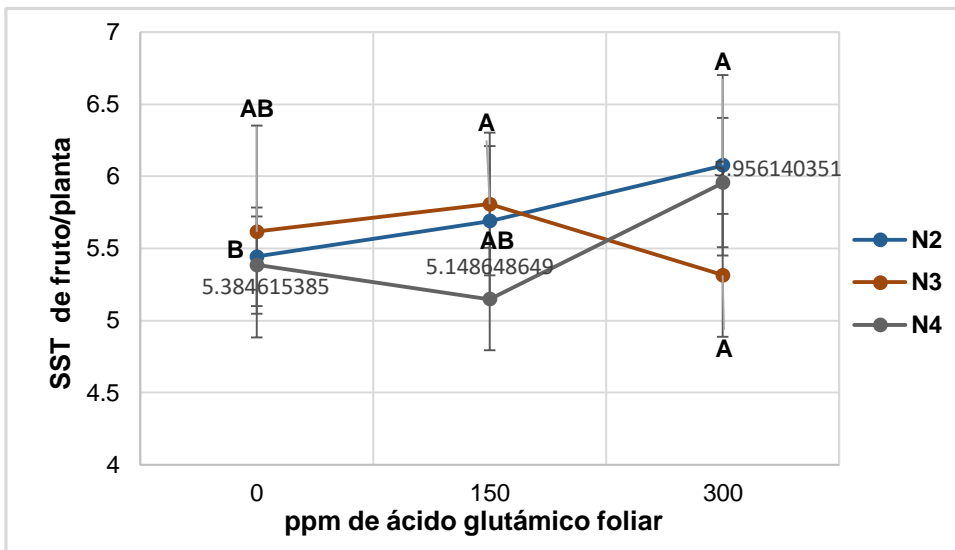
Se ha reportado que la deficiente radiación de luz induce efectos en las dimensiones y desarrollo de las frutillas en fresa (Dussi, 2007). Lo anterior concuerda con las observaciones del presente estudio ya que se presentó una variación en lo largo y ancho de las frutillas cuando se modificó el tipo de lámparas LEDs.



**Figura 4.** Diámetro de fruto en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) cultivada bajo un sistema de ambiente de interior e iluminada mediante lámparas de luz emisoras de diodos a diferentes radiaciones bajo diferentes concentraciones de ácido glutámico. Las barras indican la variabilidad del promedio mediante el error estándar. Promedios con diferente literal señala efectos significativos de acuerdo a la prueba de Duncan con  $p < 0.05$ .

## Sólidos solubles totales

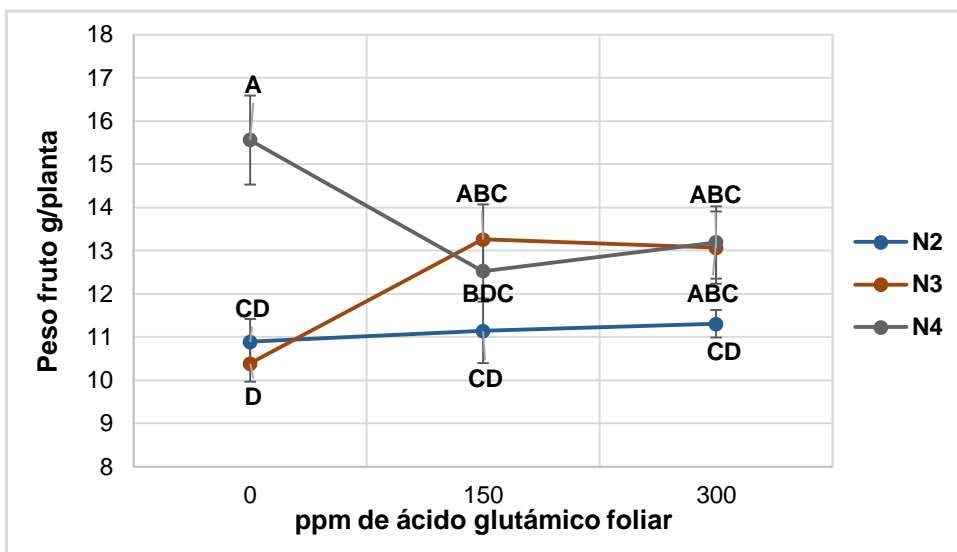
La concentración de sólidos solubles totales no fue afectada por las LEDs empleadas ni por la aplicación de ácido glutámico (Figura 5). Avendaño-Abarca *et al.* (2022) señalaron que balances variables de luz roja, azul y verde impuestas con lámparas LED con radiaciones similares de 427.5, 420.6 y 434.9  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  pero con no alteran la firmeza de las fritillas, pero con 427.5  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  obtuvieron mayor contenido de sólidos solubles totales en las frutillas con 12.79 °Brix, lo que indica que lo observado en el presente estudio es diferente a lo obtenidos por estos autores.



**Figura 5.** Sólidos solubles totales en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) cultivada bajo un sistema de ambiente de interior e iluminada mediante lámparas de luz emisoras de diodos a diferentes radiaciones bajo diferentes concentraciones de ácido glutámico. Las barras indican la variabilidad del promedio mediante el error estándar. Promedios con diferente literal señala efectos significativos de acuerdo a la prueba de Duncan con  $p < 0.05$ .

## Peso de fruto

Los frutos de peso más grande se obtuvieron con las LEDs del tratamiento N4 con 0 ppm de ácido glutámico, ya que con 150 y 300 ppm se presentó una disminución significativa en el peso de los frutos (Figura 6), lo que sugiere que con este tipo de lámparas el bioestimulante resultó perjudicial. En plantas tratadas con las LED N2 y N3 se presentó una tendencia similar al rendimiento ya que con la aplicación de ácido glutámico hubo un aumento en el peso de frutos (Figura 6).



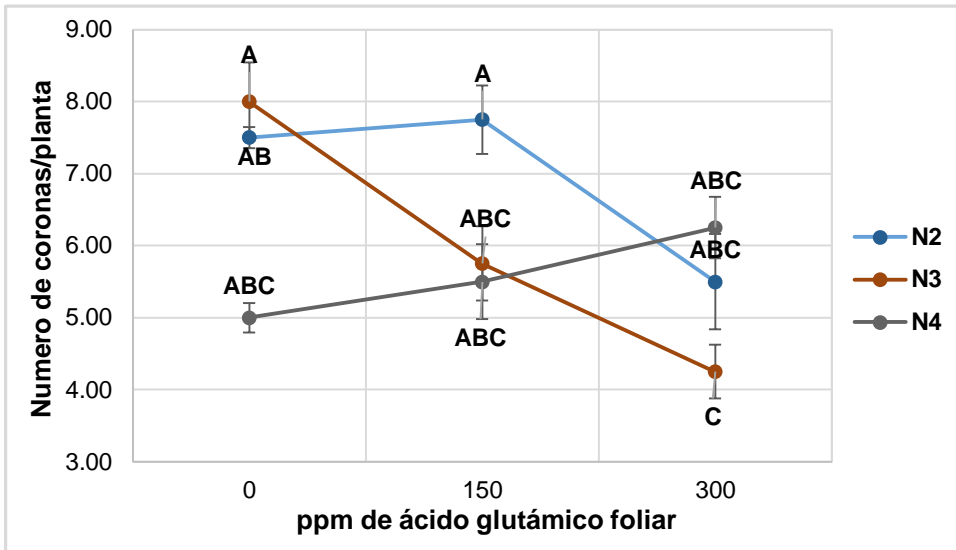
**Figura 6.** Peso de fruto en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) cultivada bajo un sistema de ambiente de interior e iluminada mediante lámparas de luz emisoras de diodos a diferentes radiaciones bajo diferentes concentraciones de ácido glutámico. Las barras indican la variabilidad del promedio mediante el error estándar. Promedios con diferente literal señala efectos significativos de acuerdo a la prueba de Duncan con  $p < 0.05$ .

## 4.2 Variables de crecimiento vegetativo

### Numero de coronas

El mayor número de coronas se obtuvo en las lámparas N3 y en plantas no tratadas con ácido glutámico, en comparación a los N2 y N4 (Figura 7). Se pudo observar que en relación al número de coronas que ningún tratamiento de ácido glutámico pudo superar al testigo, sin embargo, se observa en la Figura 7 que las plantas tratadas con el N2 y N3 mostraron una disminución en el número de coronas al aumentar la concentración de ácido glutámico, mientras que las del N4 tuvieron un incremento. Estos datos indican que en las plantas del N2 y N3 hubo una tendencia hacia la mayor producción de fruto en tanto que la producción de coronas disminuye, en contraste con las del N4 pues en estas ocurre una tendencia a producir más coronas, pero con menor rendimiento.

Se ha reportado que un mayor número de coronas se obtienen con una radiación de luz de  $427.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  si la relación entre la luz azul, verde y roja es de 12:27:61 (Avendaño-Abarca *et al.*, 2022); sin embargo, otros autores señalan haber obtenido un número de coronas de 2.43 en las plantas de fresa desarrolladas en un túnel bajo diferentes mezclas del medio de crecimiento (Prasad *et al.*, 2022). Avendaño-Abarca *et al.*, (2022) reportan que obtuvieron mayor peso seco de corona y raíz de la planta de fresa con una intensidad lumínica de  $420.6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

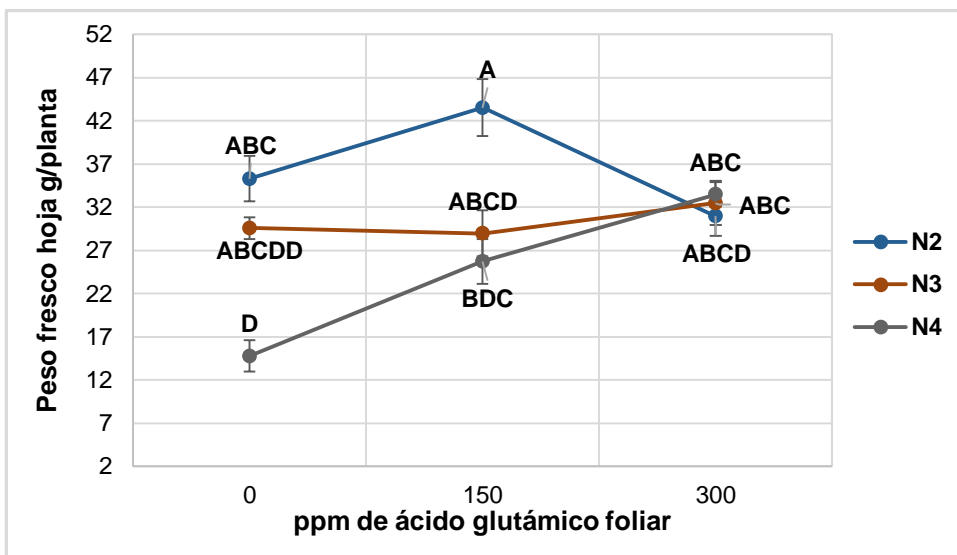


**Figura 7.** Numero de coronas en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) cultivada bajo un sistema de ambiente de interior e iluminada mediante lámparas de luz emisoras de diodos a diferentes radiaciones bajo diferentes concentraciones de ácido glutámico. Las barras indican la variabilidad del promedio mediante el error estándar. Promedios con diferente literal señala efectos significativos de acuerdo a la prueba de Duncan con  $p < 0.05$ .

### 4.3 Peso fresco de partes vegetativas

#### Peso fresco de hoja

Las fresas que fueron iluminadas con LEDs del N2 y ácido glutámico a concentraciones de 150 ppm tuvieron un mayor peso fresco de hojas (Figura 8). Mulato *et al.* (2023) señalaron que en de lechuga se observó un mayor peso fresco de hoja con diferentes tratamientos de luz LEDs. En contraste, las plantas tratadas con las LEDs N3 y N4 mostraron una tendencia a aumentar el peso fresco de hojas al elevarse la concentración de ácido glutámico (Figura 8).



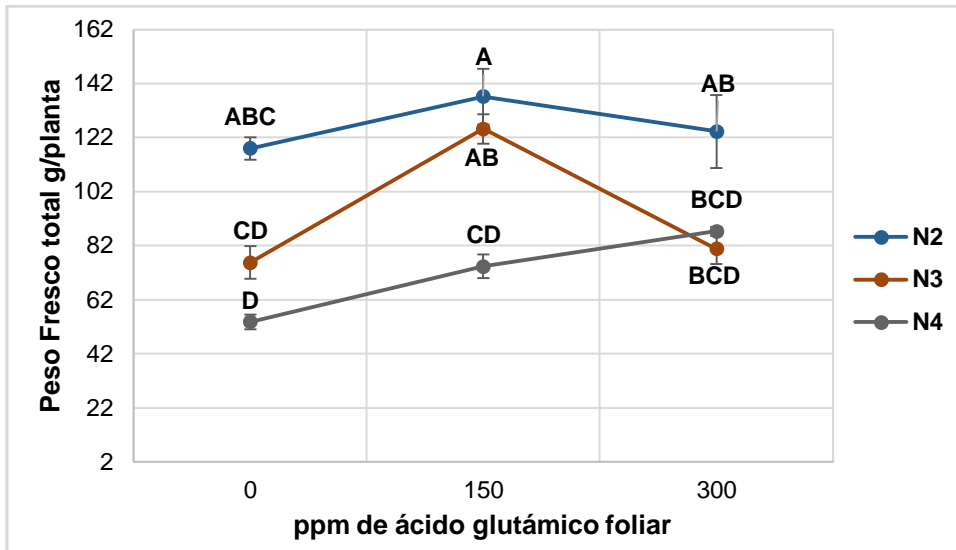
**Figura 8.** Peso fresco de la hoja (en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) cultivada bajo un sistema de ambiente de interior e iluminada mediante lámparas de luz emisoras de diodos a diferentes radiaciones bajo diferentes concentraciones de ácido glutámico. Las barras indican la variabilidad del promedio mediante el error estándar. Promedios con diferente literal señala efectos significativos de acuerdo a la prueba de Duncan con  $p < 0.05$ .

## **Peso fresco total**

Con las LEDs N2 se observó que el peso fresco total de la planta fue mayor a 0, 150 y 300 ppm en comparación a los otros niveles (Figura 9), además, al aumentar la concentración de ácido glutámico se presentó un mayor peso fresco total, siendo con 150 ppm de 137.18 g. Con intensidades de las lámparas N3 y N4 igualmente se observa que las plantas aumentan su peso fresco total (Figura 9).

Lo anterior, concuerda con Barajas (2023) quien demostró que la longitud de onda de la luz blanca tiene un efecto en el incremento en el peso fresco de las plantas de fresa. Un mayor peso fresco en lechuga (*Lactuca sativa* L.).

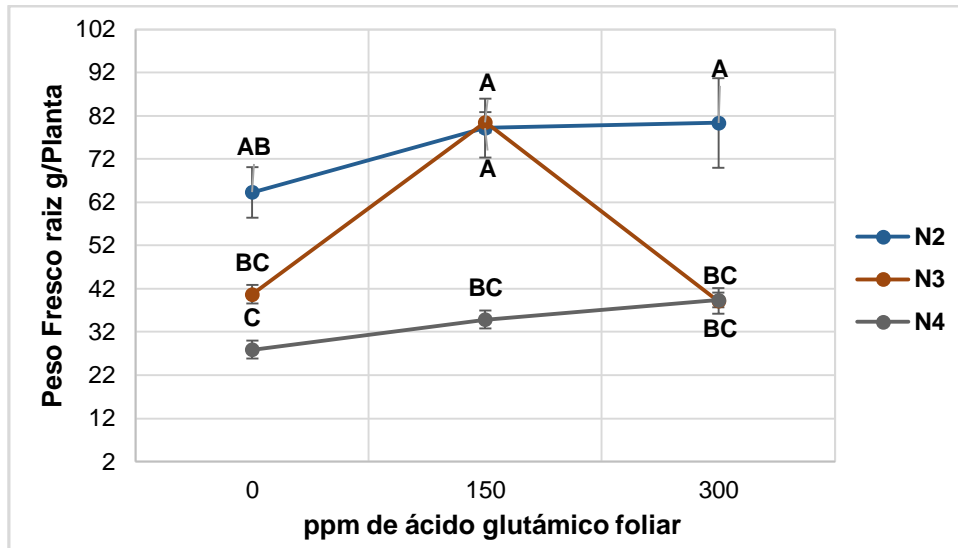
Se ha reportado en la parte aérea, alcanzando hasta 148 g, cuando las plantas se desarrollaron bajo una radiación de luz de  $75 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Matysiak *et al.*, 2021) La producción de fresa en túnel con la combinación de sustrato de turba y varios hongos, obtuvieron un peso fresco de 25.42 g de la parte aérea (Prasad *et al.*, 2022), por lo que los datos del presente estudio resultaron menores, lo cual pudo haber sido causado por el uso de hongos benéficos en el sustrato, lo que aumentó el peso fresco de la parte aérea.



**Figura 9.** Peso fresco total en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) cultivada bajo un sistema de ambiente de interior e iluminada mediante lámparas de luz emisoras de diodos a diferentes radiaciones bajo diferentes concentraciones de ácido glutámico. Las barras indican la variabilidad del promedio mediante el error estándar. Promedios con diferente literal señala efectos significativos de acuerdo a la prueba de Duncan con  $p < 0.05$ .

## Peso fresco de la raíz

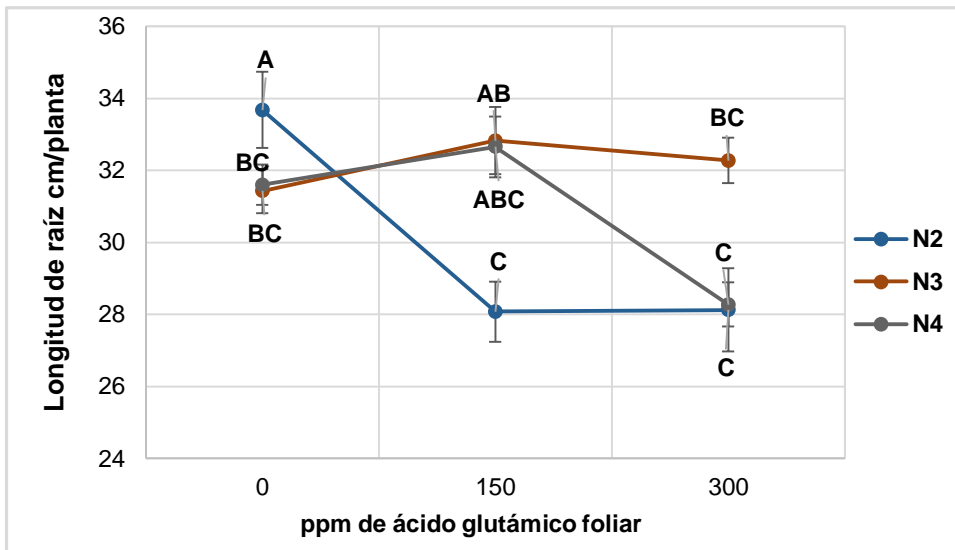
Con las LEDs del N3 se muestra que hubo un aumento en la biomasa fresca de las raíces de las plantas tratadas con 150 ppm de ácido glutámico, mientras que con el N2 tendió a aumentar con cualquier concentración (Figura 10). Las plantas que recibieron la iluminación de las LEDs del N4 no mostraron efecto significativo al ácido glutámico (Figura 7).



**Figura 10.** Peso fresco de raíz en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) cultivada bajo un sistema de ambiente de interior e iluminada mediante lámparas de luz emisoras de diodos a diferentes radiaciones bajo diferentes concentraciones de ácido glutámico. Las barras indican la variabilidad del promedio mediante el error estándar. Promedios con diferente literal señala efectos significativos de acuerdo a la prueba de Duncan con  $p < 0.05$ .

## Longitud de raíz

Con iluminación de la LED N2 mostró que se obtuvo una mayor longitud de raíces, en comparación a los N3 y N4 (Figura 8), sin embargo, esta tendió a disminuir con aplicaciones de ácido glutámico. Los tratamientos N3 y N4 mostraron efectos similares entre sí a baja concentración de ácido glutámico, pero con 300 ppm la mayor longitud de raíces se observó en plantas con tratamiento N3 (Figura 11). Esto concuerda con Barajas (2023), quien demostró que la longitud de onda de la luz blanca tiene un efecto en el incremento en la longitud de la raíz de las plantas de fresa. Guiamba *et al.* (2022) reportan que se obtiene un aumento en el peso seco de la raíz, siendo este de 2.60 g, a utilizar lámparas con  $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  al utilizar intensidades lumínicas de 150, 200 y  $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Similarmente, Avendaño-Abarca *et al.*, (2022) reportan un aumento en la biomasa seca de la raíz, siendo esta de 34.3 g bajo una radiación de luz de  $420.6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .



**Figura 11.** Longitud de raíz en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) cultivada bajo un sistema de ambiente de interior e iluminada mediante lámparas de luz emisoras de diodos a diferentes radiaciones bajo diferentes concentraciones de ácido glutámico. Las barras indican la variabilidad del promedio mediante el error estándar. Promedios con diferente literal señala efectos significativos de acuerdo a la prueba de Duncan con  $p < 0.05$ .

## V. CONCLUSIONES

Los resultados indican que la mayor producción de fruto se obtiene cuando las plantas de fresa son iluminadas con las lámparas LED N3, sin embargo, los frutos de mayor peso, longitud y diámetro se obtienen con las lámparas N4. La aplicación de ácido glutámico permite aumentar el rendimiento y tamaño de frutos, pero sin afecta el contenido de sólidos solubles totales. El aumento en el rendimiento en plantas iluminadas con LEDs del N3 estuvo asociado con una reducción en el número de coronas producidas, lo cual se reflejó en un menor peso fresco total de las plantas; en contraste, a pesar de los bajos rendimientos obtenidos con las lámparas N4, las plantas tuvieron mayor número de coronas y peso de hojas y total por plantas, lo que sugiere un ajuste en la distribución de los fotosintatos de las plantas hacia los órganos vegetativos, mientras que con el N3 los fotosintatos se dirigieron principalmente a una mayor producción de fruto.

## VI. LITERATURA CITADA

- Anda, J., y Shear, H. (2017). Potential of vertical hydroponic agriculture in Mexico. *Sustainability*, 9(1), 140.
- Avendaño-Abarca, V. H., Alvarado-Camarillo, D., Valdez-Aguilar, L. A., Sánchez-Ortíz, E. A., González-Fuentes, J. A., y Cartmill, A. D. (2022). Response of strawberry to the substitution of blue light by green light in an indoor vertical farming system. *Agronomy*, 13(1), 99 p.
- Baixauli, C., y Aguilar, J. M. (2002). Cultivo sin suelo de hortalizas. Aspectos Prácticos y Experiencias. València: Generalitat Valenciana. Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Banerjee, C., y Adenaeuer, L. (2014). Up, Up and Away! The Economics of Vertical Farming. *Journal of Agricultural Studies*, 2(1), p.40.
- Barajas Rojo, P. G. (2023). Efecto de luz LED comercial de colores en el desarrollo vegetativo de fresa (*Fragaria x ananassa*), cultivada en sistema aeropónico vertical a partir de vitroplantas.
- Barbado, J. L. (2005). Hidroponía. Su empresa de cultivos en agua. Editorial Albatros. Argentina.
- Beltrano, J., y Gimenez, D. O. (2015). Cultivo en hidroponía. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). 180 p.
- Bianchi, P. G. (2018). Guía completa del cultivo de las fresas. España: De Vecchi, Editorial, S.A.
- Bolda, M., Dara, S., Soto, J., Sánchez, M., Peterson, K., y Barnum, L. (2015). Manual de producción de fresa para los agricultores de la Costa central.
- Brown, P., Saa, S. (2015). Biostimulants in agriculture. *Front. Plant Sci.* 6: 671.

- Bulgari, R., G. Cocetta, A. Trivellini., P. Vernieri., y A. Ferrante. (2014). Biostimulants and crop responses: a review. *Biological Agriculture y Horticulture*, 31: 1-17.
- Calani, J. A. E., y Gutiérrez, C. R. D. C. (2018). Uso de las luces led en la producción agrícola: Judith A. Espinal Calani, Carmen R. Del Castillo Gutiérrez. *Revista Estudiantil AGRO-VET*, 2(2), 273-276.
- Calvo P., Nelson L., Kloepper J.W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil* 383: 3- 41.
- Carmona, A. R. (2009). Fresa *fragaria ananassa*.
- Chiqui, F. A., y Lema C. M. L. (2010). Evaluación del rendimiento en el cultivo de fresa (*Fragaria sp*) variedad oso grande, bajo invernadero mediante dos tipos de fertilización (orgánica y química) en la parroquia Octavio Cordero Palacios, Cantón Cuenca (Bachelor's thesis).
- Dario, H. C. R. (2020). Desarrollo morfológico y rendimiento de tres variedades de fresa mediante un sistema hidropónico NFT cantón Guayaquil, guayas (Doctoral Dissertation, Universidad Agraria del Ecuador).
- Dávalos, P. A., Aguilar, G. R., Jofre, A. E., Hernández, A. R., y Vázquez, M. N. (2011). Tecnología para sembrar viveros de fresa. *Campo Experimental Bajío*, INIFAP. Celaya, Guanajuato, México. Libro técnico Núm.3. p. 156.
- Despommier, D. (2010). *The Vertical Farm: feeding thr World in the 21st century*. New York: picador Thomas Dunne Books, St. Martin's Press.
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia horticultrae*, 196, 3-14.
- Dussi, M.C. 2007. Intercepción y distribución lumínica en agroecosistemas frutícolas. En: Sozzi, G.O. (ed.). 2007. *Árboles frutales: ecofisiología, cultivo y aprovechamiento*. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires. 200- 241 p.

- Eigenbrod, C., y Gruda, N. (2015). Urban vegetable for food security in cities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 483-498 p.
- Ferrucho., y Ruiz, D. (2013). Evaluación y comparación del comportamiento agronómico de cultivares de fresa. Cajicá, Colombia: Universidad Militar Nueva Granada.
- Gilbert, E. B. (2014). Vertical Farming. Literary Licensing, LLC.
- Gonzalez-Jimenez, A. C. (2022). Evaluación de soluciones nutritivas en lechuga (*Lactuca sativa* L.) con la técnica hidropónica NFT, para mejorar la calidad y rendimiento en la Provincia de Santa Elena (Bachelor's thesis, UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL-FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS).
- Gualacata, Cabascango, J. D. (2019). Tesis; control químico del (*Micosphaerella fragaria*), en la hoja del cultivo de la fresa (*Fragaria ananassa*) en la zona de Intihuaycopungo, Otavalo-Imbabura.
- Guiamba, H. D. S. S., Zhang, X., Sierka, E., Lin, K., Ali, M. M., Ali, W. M., ... y Xu, Y. (2022). Enhancement of photosynthesis efficiency and yield of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) plants via LED systems. *Frontiers in Plant Science*, 13, 918038.
- Gutiérrez-Roque, H.R. (2015). Tesis de Maestría; sistema intensivo de producción de fresa bajo condiciones de invernadero.
- Hancock, J., Finn,C., Luby,J., Adam, D., Pete,C., y Sedat,S. (2010). Reconstruction of the strawberry, *Fragaria x ananassa*, using genotypes of *F. virginiana* and *F. chiloensis*. *HortScience*, 45(7), 1006-1013.
- Hosseini, H., Mozafari, V., Roosta, H.R., Shirani, H., van de Vlasakker, P.C.H., Farhangi, M. (2021). Nutrient use in vertical farming: optimal electrical conductivity of nutrient solution for growth of lettuce and basil in hydroponic cultivation. *Horticulturae*. 7:283.

- ITSC. (2018). Manual de producción de fresa en coalcomán Michoacán, Instituto Tecnológico Superior de Coalcomán 53 p.
- Kessel Domini, Argelys. (2012). Mejora genética de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.), a través de métodos biotecnológicos. *Cultivos Tropicales*, 33(3), 34-41
- Kocira, S., Szparaga, A., Kocira, A., Czerwińska, E., Wójtowicz, A., Bronowicka-Mielniczuk, U., y Findura, P. (2018). Modeling biometric traits, yield and nutritional and antioxidant properties of seeds of three soybean cultivars through the application of biostimulant containing seaweed and amino acids. *Frontiers in plant science*, 9, 388.
- Martínez Florián, P., y Roca, D. (2011). Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. En: Víctor J., Flórez, R. (Ed.) "Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo". (pp.37-78).
- Matysiak, B., Kaniszewski, S., Dyśko, J., Kowalczyk, W., Kowalski, A., & Grzegorzewska, M. (2021). The impact of LED light spectrum on the growth, morphological traits, and nutritional status of 'Elizium' romaine lettuce grown in an indoor controlled environment. *Agriculture*, 11(11), 1133.
- Miserendino, E. (2012). Frutillas: implantación del cultivo en Patagonia. EEA Alto Valle, INTA.
- Mulato Huamani, J., Vivanco Aguilar, S., Ramos Acuña, H. E., Mulato Sánchez, J., Leon Gomez, R., Chate Pareja, A., Flores Miranda, C., Taype Landeo, O., Llimpe Perez, P., Y Carbajal Cuadros, L. N. (2023). Efecto de la iluminación LED en la producción hidropónica de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo invernadero. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 8147-8163.

- Patiño, D., García, F., Barrera, E., Quejada, O., Rodríguez, H. y Arroyo, I. (2014). Manual técnico del cultivo de fresa bajo buenas prácticas agrícolas. Gobernación de Antioquia. Medellín, Colombia.
- Prasad, R., Lisiecka, J., Y Kleiber, T. (2022). Morphological and yield parameters, dry matter distribution, nutrients uptake, and distribution in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) cv. 'Elsanta' as influenced by spent mushroom substrates and planting seasons. *Agronomy*, 12(4), 854 p.
- Romero-Tabares, E. D., y Tovar Martinez, D. G. (2019). Tesis; efecto de los plaguicidas usados en cultivos de fresa, como posibles disruptores endocrinos: revisión sistemática.
- Ruiz, R. A., Y Piedrhaita (2012). Manual para el cultivo de frutales en el trópico.
- Sánchez, G. (1982). Cultivo Hidropónico.
- Sánchez, J. D. A. (2016). La agricultura vertical: una opción sustentable para producir alimentos en México.
- Santoyo, J. A., y Martínez, C. O. (2010). Paquete tecnológico para la producción de fresa. SAGARPA-Fundación PRODUCE Sinaloa AC México. Folleto técnico 21 p.
- Serna, R. J.R. (2007). Tesis de Maestría; Aplicación foliar de ácido glutámico en plantas de jitomate. Chapingo, México.
- Veobides Amador, H., Guridi-Izquierdo, F., y Vázquez-Padrón, V. (2018). Las sustancias húmicas como bioestimulantes de plantas bajo condiciones de estrés ambiental. *Cultivos tropicales*, 39(4), 102-109.

## 5.1 Citas electrónicas

ABC Bienestar (2022, marzo 28). Citado el 09 de septiembre de 2024, de [https://www.abc.es/bienestar/alimentacion/abci-fresa-201909240903\\_noticia.html](https://www.abc.es/bienestar/alimentacion/abci-fresa-201909240903_noticia.html)

Aquino Zarate, A. M. (2014). Manual de Hidroponía. 42 p. Citado el 09 de 2024, de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232367/Manual\\_de\\_hidroponia.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232367/Manual_de_hidroponia.pdf)

EcuRed. (2019, mayo 08). Fresa de huerto. Citado el 09 de septiembre de 2024, de [https://www.ecured.cu/index.php?title=Fresa\\_de\\_huerto&oldid=3366555](https://www.ecured.cu/index.php?title=Fresa_de_huerto&oldid=3366555)

Infoagro. (2024, septiembre 02). cultivo de la Fresa. Citado el 31 de agosto de 2024 de [https://infoagro.com/documentos/el\\_cultivo\\_fresa.asp](https://infoagro.com/documentos/el_cultivo_fresa.asp)

INTAGRI (2018). El Ácido Glutámico en la Bioestimulación de los Cultivos. Serie Nutrición Vegetal. Núm. 108. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/el-acido-glutamico-en-la-bioestimulacionde-los-cultivos>

Horvath, M. (2018, noviembre 29). Vertical Farming | What is Vertical Farming?. Citado el 12 de Noviembre de 2024, de <https://www.foodunfolded.com/article/vertical-farming-whats-the-deal-anyway>.

SIAP. (2023, septiembre 02). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Citado el 31 de agosto de 2024 de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

SAGARPA (2017). Planeación Agrícola Nacional. Citado el 12 de noviembre de 2024, de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257075/Potencial-Fresa.pdf>

SAGARPA-SPF (2013) Comité de la Agroindustria y Productores de la fresa, A.C. programa de desarrollo de capacidades, innovación tecnológica y extensionismo rural 2013. Sistema producto fresa. Zamora, Michoacán. Citado el 12 de noviembre de 2024, de <file:///C:/Users/bloqu/OneDrive/Documentos/C%20-%20copia/MANUAL%20PARA%20CULTIVO%20DE%20FRESA%20EN%20COALCOMAN.pdf>