

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Ácido giberélico como responsable de la estimulación en morfogénesis de fresa (*Fragaria ananassa* var. *Diamante*)

Por:

Rodrigo Cedillo Osornio

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Torreón, Coahuila, México
Diciembre 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN REGIONAL DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Ácido giberélico como responsable de la estimulación en
morfogénesis de fresa (*Fragaria ananassa* var. *Diamante*)

Por:

Rodrigo Cedillo Osornio

TESIS

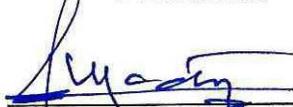
Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito
parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por:


Dr. Ruben López Salazar
Presidente


Ph. D. Pedro Cano Ríos
Vocal


Ph. D. Eduardo Emilio Madero Tamargo
Vocal


Dr. Jorge Enrique Canales Almendares
Vocal Suplente


Dr. J. Isabel Marquez Mendoza
Coordinador de la División Regional de Agronomía



Torreón, Coahuila, México

Diciembre 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN REGIONAL DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Ácido giberélico como responsable de la estimulación en
morfogénesis de fresa (*Fragaria ananassa* var. *Diamante*)

Por:

Rodrigo Cedillo Osornio

TESIS

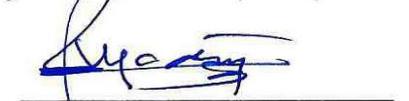
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Ruben López Salazar
Asesor principal


Ph. D. Pedro Cano Ríos
Coasesor


Ph. D. Eduardo Emilio Madero Tamargo
Coasesor


Dr. Jorge Enrique Canales Almendares
Coasesor


Dr. J. Isabel Márquez Mendoza
Coordinador de la División Regional de Agronomía



Torreón, Coahuila, México

Diciembre 2023

DEDICATORIA

A mis padres

Por su apoyo incondicional, su cariño y respaldo durante mi vida y en estos años de estudio.

A mis hermanos

Por su ayuda en estos años de estudio

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Mater la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Por brindarme estudios profesionales para desarrollar capacidades, conocimientos y habilidades agronómicas para desarrollar en mi vida.

Al Dr. Rubén López Salazar

Por asesorarme, ayudarme y guiarme en las últimas etapas de mi formación, prácticas, tesis y más.

Al Dr. Pedro Cano Ríos

Por su asesoría, apoyo durante la carrera, en el servicio social y en este proyecto.

Al Dr. Eduardo Emilio Madero Tamargo

Por su asesoría y apoyo durante la carrera y en este proyecto.

Al Dr. Jorge Enrique Canales Almendares

Por su asesoría, su enseñanza y apoyo durante mi formación y en este proyecto de tesis.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO	3
HIPÓTESIS	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Descripción botánica y fisiológica	4
Fenología del cultivo	7
Nutrición	8
Solución nutritiva	9
Plagas y enfermedades	10
La arena y perlita como sustrato	12
Morfogénesis	12
Hormonas vegetales	12
Giberelinas	13
Índice DOP	14
MATERIALES Y MÉTODOS	16
Materiales	17
Trasplante	17
Desarrollo del experimento	17
Solución nutritiva	17
Análisis de áreas	20
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
Peso fresco de la raíz	22
Peso seco de la raíz	22
Área de la raíz	23
Peso fresco del tallo	24
Peso seco del tallo	25

Área de tallo	26
Peso fresco de la hoja	27
Peso seco de la hoja	28
Área de hojas	29
Índice DOP	30
CONCLUSIONES	34
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Funciones de algunos microelementos.	8
Cuadro 2. Solución nutritiva empleada.	18
Cuadro 3. Análisis de varianza en peso fresco de raíz de planta de fresa.	22
Cuadro 4. Análisis de varianza en peso seco de la raíz dela planta de fresa. ..	23
Cuadro 5. Análisis de varianza en área de raíz de la planta de fresa.	23
Cuadro 6. Análisis de varianza en peso fresco del tallo.	25
Cuadro 7. Análisis de varianza en peso seco del tallo.	25
Cuadro 8. Análisis de varianza en área de tallo de la planta de fresa.	26
Cuadro 9. Análisis de varianza en peso fresco de la hoja.	27
Cuadro 10. Análisis de varianza en peso seco de la hoja.	28
Cuadro 11. Análisis de varianza en área de hojas de la planta de fresa.	29
Cuadro 12. Índice DOP y orden de limitación de nutrientes en muestras de raíz de fresa.	30
Cuadro 13. Índice DOP y orden de limitación de nutrientes en muestras de tallo de fresa.	31
Cuadro 14. Índice DOP y orden de limitación de nutrientes en muestras de hoja de fresa.	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de producción más común de la fresa en México.	4
Figura 2. Inflorescencia de fresa (<i>Fragaria ananassa</i>).....	6
Figura 3. Fruto de fresa.	7
Figura 4. <i>Spodoptera exigua</i> , <i>Tetranychus urticae</i> y <i>Botritis cinérea</i> en fresa. ...	11
Figura 5. Desarrollo de las plantas de fresa durante la experimentación.	16
Figura 6. Selección de muestras y toma de datos de peso seco.	18
Figura 7. Proceso de digestión con ácidos de las muestras.	19
Figura 8. Análisis de contenido de micronutrientes con ayuda del Espectrómetro de emisión atómica de plasma.....	19
Figura 9. Imagen tomada al área foliar de un tratamiento y convertida en imagen binaria.	20
Figura 10. Imágenes binarias de la raíz en los distintos tratamientos.....	21
Figura 11. Agrupación de medias en peso fresco de raíz de planta de fresa. ...	22
Figura 12. Agrupación de medias en peso seco de raíz de la planta de fresa...	23
Figura 13. Agrupación de medias en área de la raíz.	24
Figura 14. Medición de distintas variables en raíz de fresa.	24
Figura 15. Agrupación de medias en peso fresco del tallo.	25
Figura 16. Agrupación de medias en peso seco del tallo.....	26
Figura 17. Agrupación de medias en área de tallo.....	26
Figura 18. Medición de las distintas variables del tallo en fresa.	27
Figura 19. Agrupación de medias en peso fresco de la hoja.	28
Figura 20. Agrupación de medias en peso seco de la hoja.	28
Figura 21. Agrupación de medias en área de las hojas.	29
Figura 22. Medición de distintas variables del área foliar de la fresa.....	30

RESUMEN

La producción de fresa es importante en el mercado nacional e internacional, por su aroma característico y sabor, esta fruta es reconocida por su aporte de antioxidantes, vitaminas y minerales a la dieta humana; en la presente investigación, se evaluó el efecto que tiene la aplicación del ácido giberélico (AG_3) en la morfogénesis de la fresa en la etapa fisiológica de desarrollo vegetativo, se empleó la variedad comercial diamante, posterior al trasplante se asperjó al área foliar los siguientes tratamientos de AG_3 ; T1 testigo sin aplicación de AG_3 , T2 AG_3 20 mgL^{-1} , T3 AG_3 40 mgL^{-1} ; T4 AG_3 100 mgL^{-1} ; el T3 desarrolló área radicular, sin significancia, 14.01% superior al testigo, sin embargo, el peso fresco y seco de este órgano dicho tratamiento, se obtuvo una alta significancia con un aumento de 59.18 y 58.88% respectivamente en comparación al testigo. El área del tallo de las plantas tratadas con el T4 aumento en hasta un 165.43% respecto al testigo y 100 % más que el T3. Los pesos fresco y seco de este tratamiento fueron superiores al resto, el área de las hojas del T4 aumentó un 94.73% en comparación al testigo, el peso fresco y peso seco también fue superior al resto de tratamientos; el aumento del área radicular basto para que se presentara una eficiente absorción de los micronutrientes Fe, Cu, Zn y Mn, los cuales tras el análisis de contenido en los distintos órganos evaluados se encontraron en niveles óptimos, por el método de la desviación optima porcentual, para el desarrollo de la fresa, el T4 presento los niveles más altos de estos en los órganos evaluados, seguido del T3.

Palabras clave: Fresa, Acido giberélico, Morfogénesis, Hierro, Zinc, Manganeso, Cobre

INTRODUCCIÓN

La fresa como el resto de frutos brinda compuestos bioactivos que benefician a la salud humana, es así que este fruto puede ser fuente de compuestos fenólicos con capacidad antioxidante (flavonoides y no flavonoides); las antocianinas, flavonoles, flavan-3-ols, elagitaninos, conjugados de ácido cinámico, también carbohidratos, fibra, vitaminas C, A, B6 Y E y los nutrientes Ca, Mg, Zn, Fe, k, entre otros compuestos más (Malone, 2014).

Alrededor de 384 mil 688 hectáreas se producen actualmente en el mundo de esta fruta, siendo México el 4^{to} productor mundial, aportando a la exportación nacional en la que las berries se han posicionado como uno de los principales productos exportados, aunque principalmente a Estados Unidos, son varios los países a los que llegan estas frutas, con todo el movimiento económico que esto implica (SIAP, 2022).

Fragaria ananassa se obtuvo de la cruce de las especies *Fragaria chiloensis* y *Fragaria virginiana*, a partir de esta cruce se obtuvieron distintas variedades que tras procesos de mejoramiento genético se llegaron a que actualmente se explotan (Hardigan M, *et al.* 2021).

El cultivo de fresa se comienza con el trasplante de plántulas obtenidas de estolones de plantas madre o de cultivos in vitro, siendo lo más común que las plántulas se entreguen a los productores a raíz desnuda (INTAGRI, 2018). Posteriormente al trasplante y una vez aclimatada la planta se comienza el desarrollo vegetativo de la planta, una etapa muy importante que asegurara la capacidad de las plantas para una buena producción de frutos.

Las plantas regulan su desarrollo con ayuda de fitohormonas, dentro de las más estudiadas están las Auxinas, Giberelinas, Citoquininas, Ácido abscísico, Etileno, Ácido salicílico, poliamidas y Brasinoesteroides (Alcántara *et al.*, 2019).

El ácido giberélico se identificó en el hongo patógeno *Fusarium fujikuroj*, el cual causa un crecimiento excesivo de las hojas en las plantas de arroz (Yoshida, *et al.* 2020).

Distintos trabajos como el de Katel *et al.* (2022) mencionan que el ácido giberelico AG₃ afecta la altura de las plantas, la producción de estolones, la floración, aumenta la longitud de los peciolos y el área foliar.

Los micronutrientes son esenciales en diversas áreas de la planta, procesos como la fotosíntesis, transporte entre membranas o activación de enzimas son algunos de los que las requieren. Algunos de los micronutrientes son el hierro es un micro elemento que principalmente es parte de la clorofila y al no ser móvil su deficiencia se presenta en las hojas jóvenes, el zinc por su parte, aunque presenta clorosis, los bordes mantienen el color verde. El manganeso es necesario en la fotosíntesis y algunas enzimas (Bolda y Dara, 2015).

OBJETIVO

Estimular la morfogénesis con ácido giberélico en fresa.

HIPÓTESIS

H_i - La estimulación en la morfogénesis se dará con la aplicación de ácido giberélico.

H_a- Por lo menos un tratamiento de ácido giberelico estimula las morfogénesis en fresa.

H_o - Ningún tratamiento de ácido giberélico tendrá efecto en la morfogénesis en fresa.

REVISIÓN DE LITERATURA

En 2022 el servicio de información agroalimentaria y pesquera (SIAP), en el mundo se producen 384 mil 688 hectáreas; fresa, México con tan solo el 3.4% de esta superficie, produce 542,891 toneladas, posicionándolo como el 4to productor mundial. De esta producción mexicana Estados Unidos importo 349 mil 428 toneladas en 2021, convirtiéndose en el principal mercado de exportación de esta Berry para México.

A nivel nacional los principales productores son Michoacán con 326,191, Guanajuato con 99,338, Baja California con 91,628, México con 7,944 y Baja California Sur con 7,712 toneladas en 2021 (SIAP, 2022).



Figura 1. Sistema de producción más común de la fresa en México.

Descripción botánica y fisiológica.

Taxonómicamente la fresa es parte de la familia *Rosaceae*, a la subfamilia *Rosoideae*, tribu *potentilleae*, subtribu *fragariinae*, el género *fragaria* L. (Kirschbaum, 2021).

Vieira, S. *et al.* (2017), mencionan que la fresa es la única hortaliza de la familia de las rosáceas. Se han descrito más de 45 especies del genero *Fragaria*.

La especie cultivada actualmente es un híbrido obtenido de las especies americanas *Fragaria chiloensis* y *Fragaria virginiana*, las mejoras genéticas a la obtenida *Fragaria ananassa*, han expandido su producción 300 años después, desde Francia a nivel mundial, con muchas variedades económicamente importantes (Hardigan M, 2021).

Botánicamente es catalogada como una especie perenne y leñosa, del pequeño tallo conocido como corona se forman el resto de órganos. Las yemas axilares que se presentan en la parte superior de la base de las hojas pueden originar coronas laterales si los días son cortos y las temperaturas bajas y estolones cuando hay días largos con temperaturas altas. En el ápice de los estolones se forma una nueva planta (Kirschbaum, 2021).

Presenta un sistema radicular fasciculado, es decir que presenta distintas raíces principales que desarrollan raicillas. Con una altura no mayor a los 50 cm, las hojas salen de la corona (Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación, 2017).

Las hojas compuestas presentan tres folíolos y son pinnadas, con una longevidad de algunos meses, están influenciadas respecto a la variedad y fertilización del elemento nitrógeno (Kirschbaum, 2021).

La hoja de fresa también consumible presenta una mayor cantidad de polifenoles y capacidad antioxidante 122 y 13 veces más que el propio fruto (Salas *et al.*, 2023). Se encuentran flavonoles, elagitaninos, ácido octadecatrienoico, ácido clorogénico, entre otros, moléculas que fácilmente pueden ser potenciadas y aprovecharlas (Karlund *et al.*, 2017; Karlund *et al.*, 2014).

Su inflorescencia es una cima que termina en una flor principal, después de esta, se presentan dos flores secundarias, cuatro terciarias y ocho cuaternarias. Dichas flores son hermafroditas con un cáliz formado de diez sépalos, una corola pentámera dipétala blanca, androceo de entre 20 y 30 estambres y un gineceo que varía desde 60 hasta 600 pistilos (Kirschbaum, 2021).



Figura 2. Inflorescencia de fresa (*Fragaria ananassa*).

El SIAP (2022), describe al fruto como “el resultado de la agregación de muchos carpelos secos diminutos sobre un receptáculo pulposo hipertrofiado, de color rojo, sabor dulce y aroma característico”.

Los frutos presentan distintos compuestos, tales como; antocianinas, flavonoles, ácidos fenólicos, vitaminas, minerales, elagitaninos, entre otros, los cuales varían según el cultivar, el grado de madurez, la variación estacional y otros factores más (Fierascu, R. *et al.*, 2020).



Figura 3. Fruto de fresa.

En base a los requerimientos para su floración, por su sensibilidad al fotoperiodo las plantas de fresa se pueden clasificar como de día corto o de día largo. Mientras que las plantas de día corto requieren menos de 12 horas de luz al día, las de día largo requieren de mínimo 12 horas de luz diaria para inducirse a floración, esto les ha dado el nombre de fresas de temporada a las primeras y fresas perenes a las segundas (Jiang *et al.*, 2023).

Fenología del cultivo.

Las etapas fenológicas de cultivo se pueden dividir en dos grupos: vegetativa y productiva. La parte vegetativa se considera desde el trasplante hasta la aparición de inflorescencias, se inicia con el brote de las principales yemas que dan paso a hojas (15 DDT), posteriormente pueden aparecer algunas flores solitarias y pequeñas (30 DDT), al tiempo se que incrementa el follaje hay emisión de estolones (40 -60 DDT). Una vez desarrollada la parte vegetativa y con la suficiente acumulación de azúcares, la planta comienza con la parte reproductiva, en la que se desarrollan vigorosas flores (75 DDT), que al polinizarse correctamente se desarrollaran los “frutos blancos” (90 DDT), posteriormente

comienzan con la maduración (105 DDT) y finalmente la fructificación, es el momento en el que se abre la cosecha a los 120 DDT pudiéndose mantener alrededor de 5 meses dependiendo del manejo agronómico que se le dé, las condiciones medioambientales y la variedad con la que se trabaje (Aguilar *et al.* 2019; ITSC, 2018).

Nutrición

Favela *et al.* (2006), mencionan que alrededor de 95 y 98% de una planta se constituye de hidrogeno, carbono, oxígeno y nitrógeno y el resto son otros elementos, de estos solo algunos son esenciales en el correcto desarrollo de las plantas. Se consideran como indispensables a los elementos con una importancia vital en la nutrición de las plantas y que cumplen con los criterios de esencialidad. Los elementos útiles, son los que de forma indirecta o directa benefician la nutrición, pero no llegan a ser indispensables. Por último, los elementos prescindibles son elementos que la planta los absorbe, pero están ahí sin realizar beneficios directos o indirectos al desarrollo de la planta.

Los nutrimentos o elementos esenciales que principalmente pueden participar como componentes estructurales de moléculas de compuestos orgánicos, componentes de enzimas o activadores enzimáticos son; carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, zinc, manganeso, cobre, boro, molibdeno, cloro, silicio, sodio, cobalto y vanadio. Favela *et al.* (2006).

Cuadro 1. Funciones de algunos microelementos.

micronutrientes	Función
Fe, Mn, Cu, Ni	Constituyentes de enzimas (metalproteínas)
Mn, Zn,	Activadores de enzimas

Fe, Cu, Mn	Involucrados en el transporte de electrones en la fotosíntesis
Mn, Zn, Mo	Involucrados en la tolerancia al estrés
Cu, Mn, Zn, B	Involucrados en el crecimiento reproductivo (inducción al floración, polinización, establecimiento de fruto)
B, Zn	Constituyentes de las paredes celulares y membrana.

Adaptado de Kyrkby y Römheld (2004).

Las deficiencias de hierro (Fe), en la planta se observan en las hojas jóvenes con coloraciones amarillas en la zona internerval, entre mayor sea la deficiencia mayor será la clorosis. La deficiencia del zinc es similar a la del Fe en hojas jóvenes, sin embargo, se puede diferenciar con la presencia de un borde de hojas casi normal de coloración verde y los frutos se desarrollan huecos y decolorados. (Espino *et al.*, 2017).

La deficiencia de Mn se presenta en las hojas jóvenes con coloraciones que van del verde pálido al amarillo y manchas de clorosis entre nervaduras, el exceso de este elemento es causal de deficiencias férricas. La deficiencia de cobre se presenta como una deformación y muerte en hojas jóvenes; inicialmente se presenta una clorosis que puede contener manchas pardas seguida de una necrosis que va de los bordes y del ápice al peciolo. (Espino *et al.*, 2017).

Solución nutritiva

Las soluciones nutritivas son medios acuosos que contienen los nutrimentos esenciales y son la fuente de nutrición en cultivos hidropónicos y en sustratos. Estas se preparan específicamente para el cultivo al que se le aplicara, pues cada cultivo presenta diferentes necesidades. Los elementos iónicos deben

mantenerse en la mayor estabilidad posible para asegurar su absorción, se debe de controlar también la CE y el pH. INTAGRI 2017

La fertilización vía riego puede tener los mismos resultados si es orgánica (de origen animal y/ vegetal) o química (en base a una solución nutritiva Steiner), como lo concluyen Hernández *et al.* (2022).

El agua usada en la agricultura contiene una cantidad variable de sales (SST), que, dependiendo de distintos factores, estos pueden ser asimilados por la planta. Estos también le dan un pH a el agua que puede no ser un gran problema en la fertirrigación, si se puede ajustar con el uso de ácidos (principalmente), siendo un pH de 5.5 el valor deseado en este caso (Favela *et al.*, 2006).

La salinidad o contenido de sales disueltas puede “medirse” como conductividad eléctrica CE, considerándose a una CE mayor a los 2.25 dSm⁻¹ como no recomendada para la producción agrícola (Ayers y Westcot, 1987).

Un ambiente salino a la fresa le causa una disminución del peso fresco y seco de la planta los compuestos antioxidantes se disminuyen, la prolina se dispara en un 100% ante el estrés, la concentración foliar de p disminuye en hasta 55% y la de mg en 52%, específicamente en condiciones de conductividad de 2,7 (Gonzales *et al.*, 2022).

Plagas y enfermedades

Araña roja (*Tetranychus urticae*), estos ácaros son la plaga más dañina en este cultivo, por su corti ciclo biológico tienen son altamente polífagos, succionan el contenido celular de las hojas y las cubren de una fina telaraña, desgastando rápidamente este órgano (Jiménez y Laguna, 2008; MAPA, 2019).

Pulgón (*Aphys gossypii*, *Macrosiphum euphorbiae* y *Myzus persicae*), son especies de insectos que se presentan en colonias numerosas que de manera indirecta dañan a la planta pues al alimentarse de segregaciones de la planta

facilitan la presencia de hongos, manchan los frutos y disminuyen la actividad fotosintética. (MAPA, 2019).

Trips (*Frankliniella occidentalis*), es un pequeño insecto que se alimentan del tejido de las flores y frutos. (MAPA, 2019).

Orugas (*Spodoptera exigua*, *Spodoptera littoralis*, *Helicoverpa armígera*), son especies masticadoras que dañan tanto hojas, peciolo, estolones y flores y frutos, suelen ser muy polífagos, lo que representa una presencia constante (MAPA, 2019).

Podredumbre de la corona (*Phytophthora cactorum*), es un falso hongo que se presenta en ambientes de alta humedad causa marchites observándose inicialmente en las hojas más jóvenes (MAPA, 2019).

Antracnosis (*Colletotrichum spp.*), son distintos hongos del mismo género que ataca principalmente a la corona y el fruto, en este presenta como manchas deprimidas, inicialmente cafés, se recubren de mucilago anaranjado y finalmente se tornan negras (MAPA, 2019).

Podredumbre gris (*Botritis cinerea*), este hongo infecta los frutos por los estomas y heridas causando la descomposición de estos, el micelio blanco que se torna gris es su característica más distinguible (MAPA, 2019).



Figura 4. *Spodoptera exigua*, *Tetranychus urticae* y *Botritis cinérea* en fresa.

La arena y perlita como sustrato

Se concedieran como sustratos a aquellos medios inertes que funcionan como anclaje y retienen agua y nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas (Domínguez, 2006).

Los sustratos deben de brindar una eficiente retención de humedad, pero también un buen drenaje (Arcos *et al.*, 2011).

La arena presenta una granulometría de los 0,2 a los 2 mm, aunque con buena porosidad su retención de humedad es mínima, es un sustrato con un bajo costo y una estabilidad estructural como sus mayores beneficios, por otro lado, la perlita es una arena volcánica con una granulometría de los 0 a los 5 mm presenta una buena retención de humedad y una excelente aireación siendo un material inerte (Martínez, 2011). La mezcla de estos dos sustratos nos das un buen medio para el desarrollo radicular de las plantas.

Morfogénesis

La morfogénesis es la formación de tejidos, órganos y organismos enteros, mediante la diferenciación, división y el crecimiento celular para dar forma y estructura a los órganos de las plantas, todo esto controlado por la genética y condicionado en gran parte por factores medioambientales. La concentración y distribución de las hormonas vegetales también son determinantes en este proceso (Pérez, 2017).

Hormonas vegetales

Las plantas han desarrollado una efectiva capacidad de regular su desarrollo en base a las condiciones ambientales que le rodean principalmente con la ayuda de hormonas vegetales, las cuales son moléculas sintetizadas por estas que

promueven, inhiben y regulan procesos fisiológicos y bioquímicos de las plantas. Pueden mencionarse a la división celular y por tanto el crecimiento, la diferenciación celular, la embriogénesis, la germinación, la floración y fructificación y la senescencia de las hojas como algunos de los procesos regulados por las hormonas (Porta & Jiménez, 2019).

Las hormonas vegetales también llamadas fitohormonas, aunque son químicamente sintetizados por las plantas, pueden ser obtenidos de otros organismos, estas suelen ser más potentes que las naturales. Las fitohormonas se clasifican en familias en base a la estructura y actividad similar, algunas son; Auxinas, Giberelinas, Citoquininas, Ácido abscísico, Etileno, Ácido salicílico, poliamidas, Brasinoesteriodes, entre otras (Alcántara *et al.*, 2019).

Giberelinas

Son producidas tanto por varias bacterias, especies de hongos, como por todas las plantas vasculares. En estas últimas actúan como hormonas que afectan el crecimiento y la diferenciación de órganos (Hedden, 2020).

Yoshida, *et al.* (2020), mencionan que las plantas adquirieron de forma gradual enzimas metabólicas de GA, las cuales se diversificaron en las angiospermas, para controlar los niveles de esta hormona.

El ácido giberélico, y por tanto las giberelinas, se identificó en el hongo patógeno *Fusarium fujikuroi*, el cual se nombraba *Gibberella fujikuroi*, dicha enfermedad causa un crecimiento excesivo de las hojas en las plantas de arroz (Yoshida *et al.*, 2020).

De las 136 giberelinas descritas actualmente la giberelina A₃, conocida comúnmente como ácido giberélico, obtenida de *F. fujikuroi* es la más abundante siendo usada en la agricultura debido a la incapacidad de las plantas para protegerse de una dosis alta de GA (Hedden, 2020).

Las giberelinas son sintetizadas en las hojas jóvenes que aún están en crecimiento, en los frutos, semillas y en raíces, al parecer son transportadas en el xilema y floema libremente (Pérez, 2017).

El GA puede ser transportado en la planta por los transportadores de azúcar; las AtSWEET13, AtSWEET14 y OsSWEET3 y las vías metabólicas más frecuentes son seis enzimas de biosíntesis, como ent-copalil difosfato sintasa (CPS), entkaureno sintasa (KS), entkaureno oxidasa, ent-ácido kaurenoico oxidasa (KAO), GA 20-oxidasa (GA20ox) y GA 3-oxidasa (GA3ox), y la GA 2-oxidasa (GA2ox) una enzima de desactivación (Yoshida *et al.*, 2020).

Sood *et al.* (2018), obtuvieron un aumento del rendimiento del fruto acortando el tiempo a la primera floración con la aplicación de una mezcla de biofertilizante (PSB (bacterias solubilizadoras de fósforo)) a 6 Kg/ha con AG₃ a 100 ppm.

Katel *et al.* (2022) en su trabajo "Impacts of plant growth regulators in strawberry plant: A review", mencionan entre otros que el ácido giberélico AG₃ afecta la altura de las plantas, la producción de estolones, la floración, aumenta la longitud de los peciolo y el área foliar. El GA promueve la germinación del polen, inhibe a la IAA oxidasa, aumentando así los niveles de las auxinas.

Índice DOP.

El índice de desviación del óptimo porcentual (DOP) descrito por Montañés *et al.* (1991); es la desviación porcentual en la concentración de cierto nutrimento, con valor obtenido del % de este en materia seca de la muestra, en comparación al nivel óptimo descrito como valor referencial para que el cultivo exprese su máximo potencial. Calculándose por la siguiente fórmula:

$$DOP = \frac{C \times 100}{C_{ref}} - 100$$

Donde:

C: se refiere al % del nutrimento que se encontró en la materia seca de la muestra en análisis.

C_{ref}: el valor óptimo de este nutrimento para el mismo cultivo en iguales condiciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta prueba se realizó en un invernadero del departamento de horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, en Torreón Coahuila, México, durante el primer semestre del 2023.

La plántula de fresa var. Diamante, que se consiguió a raíz desnuda, se colocó en bolsas plásticas con sustrato, se aclimataron y recuperaron durante 3 semanas.

Se evaluaron 3 tratamientos y un testigo con tres repeticiones en bloques al azar:

El primer tratamiento (T_1) es el testigo con un desarrollo normal.

El segundo tratamiento (T_2) consistió en aplicaciones de AG_3 a 20 mg l^{-1} .

El tercer tratamiento (T_3) consistió en aplicaciones de AG_3 a 40 mg l^{-1} ,

El cuarto tratamiento (T_4) consistió en aplicaciones de AG_3 a 100 mg l^{-1} .

Las aplicaciones se realizaron con un intervalo de 8 días entre aplicaciones durante 5 semanas.



Figura 5. Desarrollo de las plantas de fresa durante la experimentación.

Materiales

El material vegetal empleado fue planta de fresa (*Fragaria x ananassa*) var. Diamante.

Herramientas: Cubetas, pala, aspersor de litro, bolsas de polietileno, libreta, pluma.

Material de medición: Conductivímetro, potenciómetro, balanza analítica.

Trasplante.

Las plántulas, en este caso coronas de fresa se trasplantaron en bolsas de polietileno color negro, con capacidad de 20 litros, llenas a $\frac{3}{4}$ y con agujeros en la parte inferior para darle drenaje, como sustrato se usó una mezcla de perlita y arena de río al 25 y 75% respectivamente.

Desarrollo del experimento.

Se realizaron riegos diarios y en ocasiones dos veces al día por las condiciones climáticas y el ambiente dentro del invernadero, al agua de pozo, se le agregaba algún ácido para contrarrestar la salinidad que esta posee por las condiciones naturales del área en la que se ubica Torreón, el cual es un desierto predominantemente calcáreo. Los ácidos empleados fueron ácido fosfórico, ácido nítrico y ácido sulfúrico

Con ayuda de un aspersor se aplicaron los tratamientos de AG₃.

Se eliminaron los brotes florales prematuros de todos los tratamientos, así como hojas viejas.

Solución nutritiva.

Se utilizó una solución nutritiva modificada en base a la Steiner universal (Steiner, 1961), adaptándola al cultivo y a las características del agua.

Cuadro 2. Solución nutritiva empleada.

Elemento	N		P	Ca	Mg	S	K
	NH4	NO3					
Ppm	237		57.3	253.3	53.8	180	250.1
Meq/l	3.9	13	1.8	12.6	4.4	11.2	6.4

Se tomaron muestras para los análisis a los 90 ddt, extrayendo plantas completas, se lavó la raíz para eliminar residuos del sustrato y se dividió en raíz, tallo (peciolos) y hojas, para poder tomar los pesos frescos de cada una. Posteriormente con ayuda de una cámara se tomaron fotografías de cada órgano de cada tratamiento, para con ayuda del programa se obtuvieran las áreas de estos. Después las muestras se dejaron 24 horas en una estufa para eliminar la humedad y poder tomar los pesos secos de estas muestras.

**Figura 6. Selección de muestras y toma de datos de peso seco.**

Finalmente se mandaron las muestras al laboratorio de suelos de la UAAAN, para obtener el contenido de Fe, Zn, Mn y Cu, mediante una digestión con ácidos

nítrico (HNO_3) y perclórico (HClO_4). Una vez digeridas las muestras se pasaron por el Espectrómetro de emisión atómica de plasma, para obtener los valores de la concentración de dichos micronutrientes.



Figura 7. Proceso de digestión con ácidos de las muestras.



Figura 8. Análisis de contenido de micronutrientes con ayuda del Espectrómetro de emisión atómica de plasma.

Para la evaluación de las concentraciones de estos micronutrientes, se realizó el índice de desviación óptima porcentual (DOP), con valores dados para el cultivo de fresa.

Análisis de áreas

Para el para obtener datos de las áreas de los órganos evaluados, se utilizo, el proceso que se explica a continuación:

Con ayuda de una cámara fotográfica en formato macro, se acomodaron las muestras en un fondo blanco para obtener posterior mente imágenes dicromáticas, empleando el software “image-pro plus 14”, se editan las imágenes ajustando valores para obtener imágenes como las de las figuras 9 y 10.

Para poder obtener valores numéricos el software se calibra con ayuda de una cuadrícula milimétrica ajustándose los pixeles con el tamaño conocido de la cuadrícula en un sistema de coordenadas x-y, en este sistema se van introduciendo las imágenes para sobreponerse y es entonces que el sistema cuantifica el área oscura de la imagen binaria y nos da un área numérica que podemos comparar y evaluar (López, 2014).

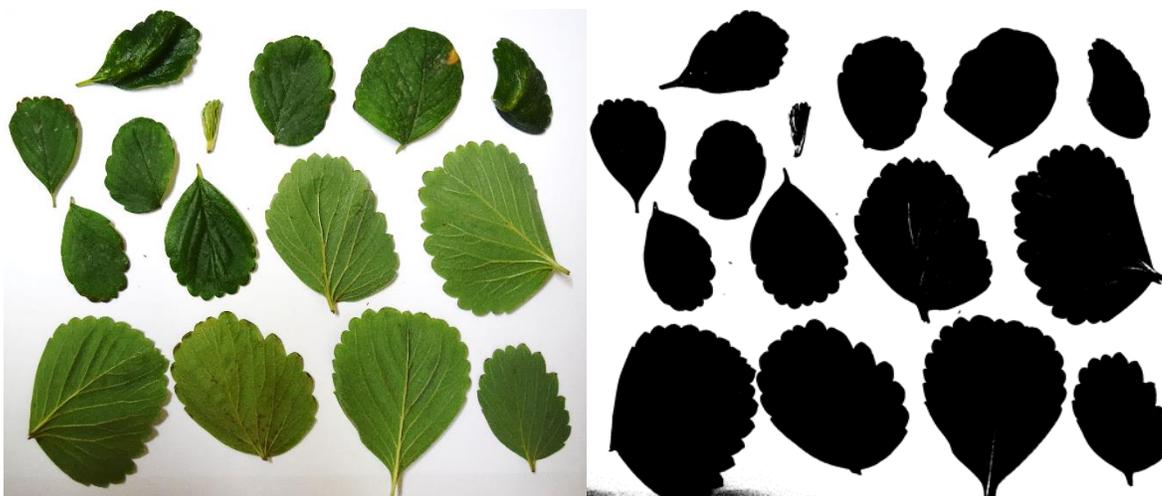


Figura 9. Imagen tomada al área foliar de un tratamiento y convertida en imagen binaria.



Figura 10. Imágenes binarias de la raíz en los distintos tratamientos.

Con el uso del software “mini tab” (versión 2022), se realizó la evaluación de tratamientos y con el software Excel (versión 2022), se proyectaron en graficas de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Peso fresco de la raíz

En el experimento realizado, el cuadro 3 muestra que hubo diferencia altamente significativa, en la figura 11 la agrupación de medias resulta en que el T4 fue superior al T1 en un 59.18%, seguido del T2 en un 27.67%.

Cuadro 3. Análisis de varianza en peso fresco de raíz de planta de fresa.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Trat.	3	74.90	24.967	3.50	0.129
Error	4	28.54	7.135		
Total	7	103.44			

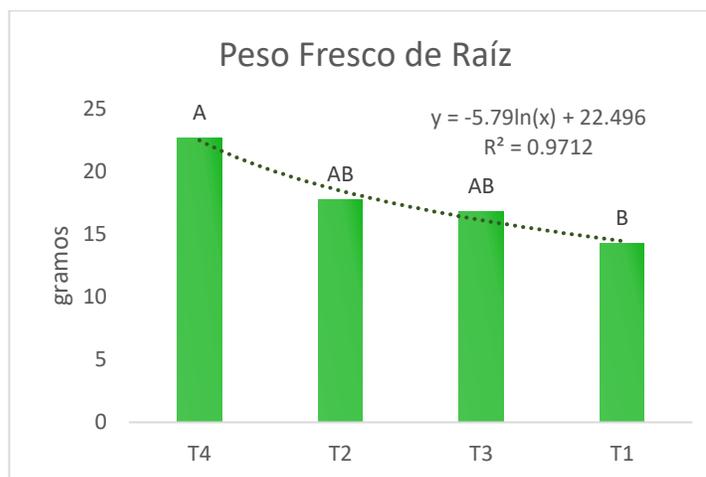


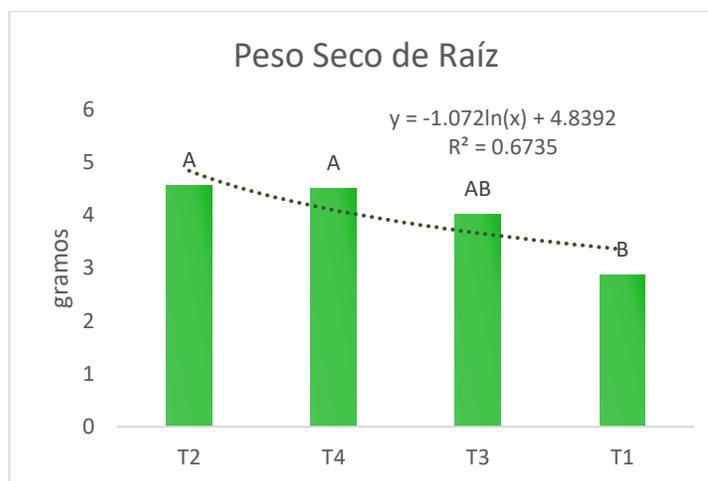
Figura 11. Agrupación de medias en peso fresco de raíz de planta de fresa.

Peso seco de la raíz

El cuadro 4 muestra una diferencia altamente significativa en esta variable, siendo el T2 superior al T1 en un 58.88%. El T4 por su parte, es inferior en tan solo un 1.1% respecto al T2, tal como lo muestra la figura 12.

Cuadro 4. Análisis de varianza en peso seco de la raíz de la planta de fresa.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Trat	3	3.7121	1.2374	6.60	0.050
Error	4	0.7495	0.1874		
Total	7	4.4616			

**Figura 12. Agrupación de medias en peso seco de raíz de la planta de fresa.**

Área de la raíz

Como se muestra en el cuadro 5, en este trabajo no se encontró diferencia significativa para el área de la raíz entre el testigo y los tratamientos, sin embargo, con la comparación de medias, que se muestra en la figura 13 se puede decir que el T4 fue superior al T1 en un 14.01% y un 2.37% más con respecto al T2.

Cuadro 5. Análisis de varianza en área de raíz de la planta de fresa.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Trat	3	417.4	139.1	0.33	0.808
Error	4	1710.4	427.6		
Total	7	2127.8			

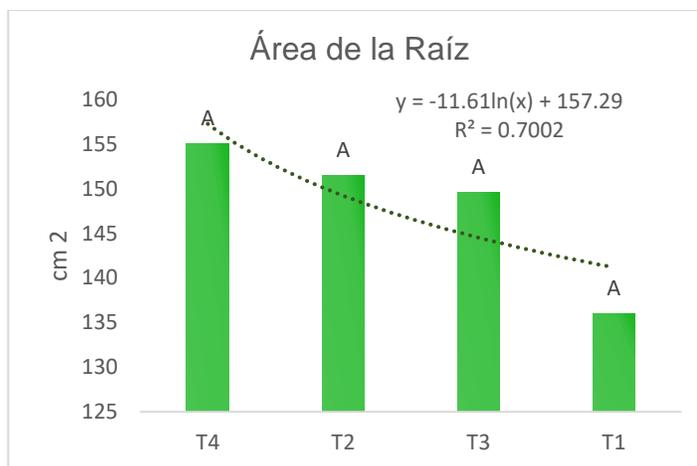


Figura 13. Agrupación de medias en área de la raíz.



Figura 14. Medición de distintas variables en raíz de fresa.

Peso fresco del tallo

En el experimento, como se muestra en el cuadro 6 se encontró una alta significancia para esta variable entre los tratamientos, como se puede observar en la figura 15 el T4 fue superior un 165.43% al T1 y un 100% al T3.

Cuadro 6. Análisis de varianza en peso fresco del tallo.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Trat	3	541.77	180.59	9.86	0.026
Error	4	73.25	18.31		
Total	7	615.02			

**Figura 15. Agrupación de medias en peso fresco del tallo.**

Peso seco del tallo

En esta variable el cuadro 7 muestra una alta significancia entre los tratamientos evaluados y como se puede ver en la figura 16 el T4 fue superior al T1 en un 140.6% y un 99.15% al T3.

Cuadro 7. Análisis de varianza en peso seco del tallo.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Trat	3	11.356	3.7852	5.72	0.063
Error	4	2.648	0.6619		
Total	7	14.003			

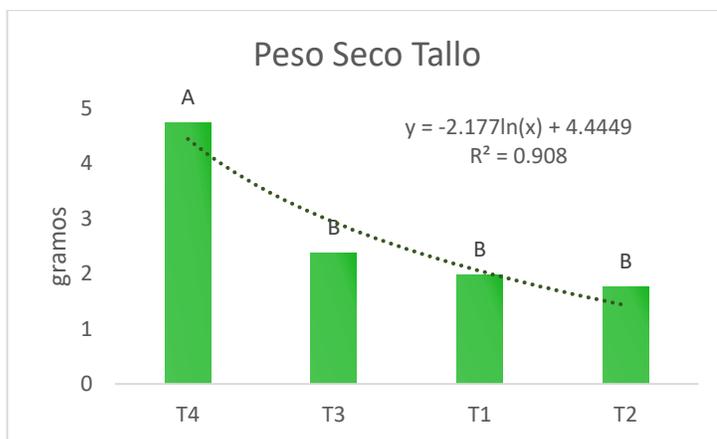


Figura 16. Agrupación de medias en peso seco del tallo.

Área de tallo

Como se puede ver en el cuadro 8 en este trabajo, para esta variable en el ANOVA se encontró significancia entre los tratamientos y el testigo y lo muestra la figura 17, el T4 fue superior al T1 un 24%, un 40% con respecto al T3 y un 128% al T2.

Cuadro 8. Análisis de varianza en área de tallo de la planta de fresa.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Trat	3	9477	3159.0	4.01	0.107
Error	4	3154	788.5		
Total	7	12631			

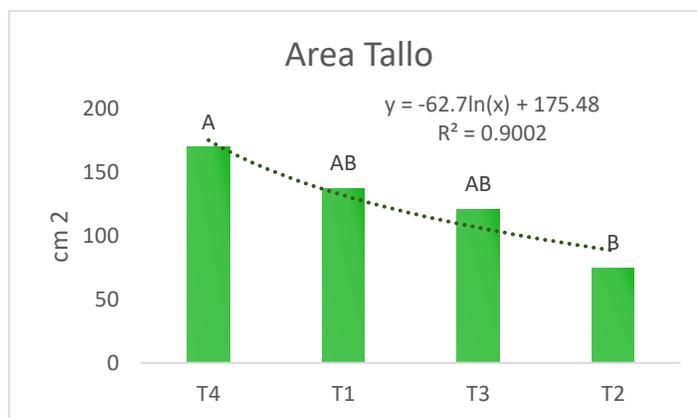


Figura 17. Agrupación de medias en área de tallo.



Figura 18. Medición de las distintas variables del tallo en fresa.

Peso fresco de la hoja

En el caso de esta variable, el cuadro 9 muestra que una alta significancia en la comparación entre el testigo y los tratamientos, como se puede observar en la figura 19, el T4 es un 90.57% superior al T1 y un 34.78% al T3.

Cuadro 9. Análisis de varianza en peso fresco de la hoja.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Trat	3	211.61	70.536	7.75	0.038
Error	4	36.39	9.098		
Total	7	248.00			

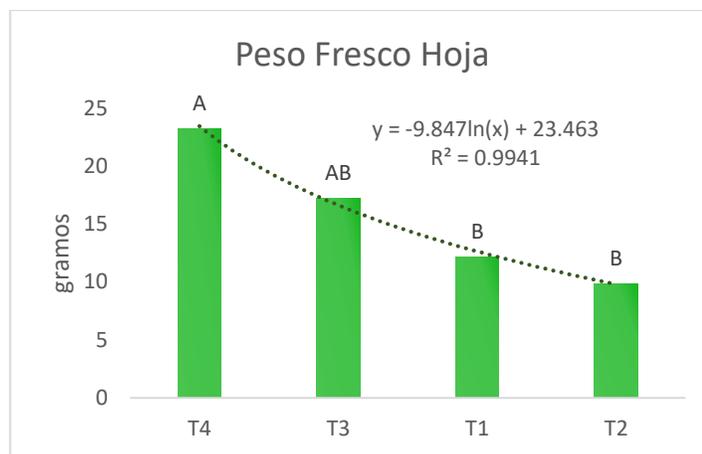


Figura 19. Agrupación de medias en peso fresco de la hoja.

Peso seco de la hoja

En el experimento realizado, se obtuvo, como se muestra en el cuadro 10 que para esta variable hubo significancia entre tratamientos y testigo, como se puede ver en la figura 20 el T4, fue superior al T1 en un 55.75% y un 20.65% al T3.

Cuadro 10. Análisis de varianza en peso seco de la hoja.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Trat	3	8.717	2.9058	5.68	0.063
Error	4	2.047	0.5117		
Total	7	10.764			



Figura 20. Agrupación de medias en peso seco de la hoja.

Área de hojas

Para esta variable el análisis de varianza presenta una alta significancia entre los tratamientos y el testigo, evaluados en este trabajo, siendo el T4 un 94.73% superior al T1 y un 27.39% superior al T3, tal como se puede apreciar en el cuadro 11 y la figura 21, respectivamente.

Cuadro 11. Análisis de varianza en área de hojas de la planta de fresa.

Análisis de Varianza Area de Hojas.					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Trat	3	507979	169326	9.07	0.029
Error	4	74690	18673		
Total	7	582669			

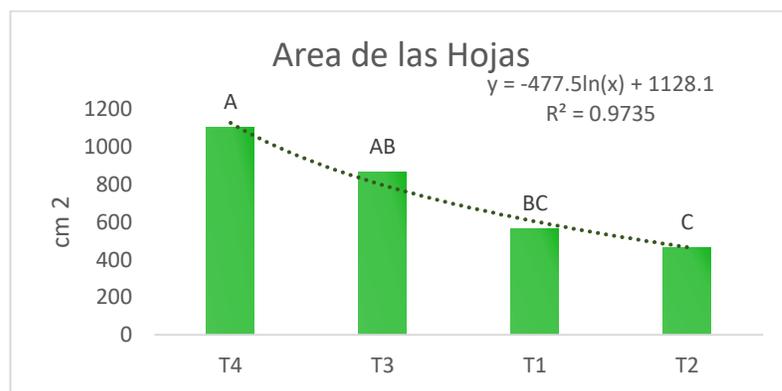


Figura 21. Agrupación de medias en área de las hojas.



Figura 22. Medición de distintas variables del área foliar de la fresa.

Índice DOP

Cuadro 12. Índice DOP y orden de limitación de nutrientes en muestras de raíz de fresa.

Trat.	DOP
T1	Fe>Cu>Zn>Mn
T2	Fe>Cu>Zn>Mn
T3	Fe>Mn>Cu>Zn
T4	Fe>Cu>Mn>Zn

En el cuadro 12 puede observarse que el DOP resulta en que los micro elementos hierro y cobre se encuentran en mayor cantidad en los tratamientos analizados, la importancia de la presencia del hierro en esta área va desde el fortalecimiento de las paredes celulares, cofactor de enzimas y su participación en la síntesis de la lignina (compuesto importante en estas plantas de naturaleza perene), en la rizodermis y endodermis. De igual manera el cobre ayuda a la formación de la lignina, facilita también la formación de enlaces cruzados entre las proteínas de las paredes celulares, esto contribuye a la resistencia y estabilidad estructural de las células de la raíz. También ayuda a la conversión de glucosa a almidón, que se va acumulando en la raíz y corona de la planta.

Cuadro 13. Índice DOP y orden de limitación de nutrientes en muestras de tallo de fresa.

Trat.	DOP
T1	Cu>Mn>Zn>Fe
T2	Cu>Mn>Zn>Fe
T3	Mn>Cu>Zn>Fe
T4	Mn>Cu>Fe>Zn

El cuadro 13 del DOP de micronutrientes en el tallo muestra que cobre y manganeso son lo más presentes, ambos están presentes en la síntesis de la lignina, brindando rigidez a estos, es importante la presencia del manganeso en la planta, en este trabajo, puesto que participa en la activación de hormonas y la división celular.

Cuadro 14. Índice DOP y orden de limitación de nutrientes en muestras de hoja de fresa.

Trat.	DOP
T1	Cu>Mn>Zn>Fe
T2	Mn>Cu>Zn>Fe
T3	Cu>Fe>Zn>Mn
T4	Mn>Cu>Zn>Fe

En el cuadro 14 se aprecia el DOP de micronutrientes en el área foliar de las plantas evaluadas, como se puede observar el cobre y el manganeso se encuentran en mayores proporciones en esta área, en la cual tienen funciones muy variadas; el Mn se encuentra en la síntesis de la clorofila y algunas vitaminas y aminoácidos, el transporte de algunos macronutrientes, en la fotólisis del agua y absorción del dióxido de carbono y hasta se describe como un reemplazo para el magnesio en algunas reacciones enzimáticas. Por su parte el Cu es componente importante de los cloroplastos, en los que ayuda en la síntesis de proteínas y clorofila y también participa en el transporte de electrones y la formación de la pared celular.

La aplicación de ácido giberélico AG₃ estimuló significativamente la morfogénesis de la fresa, aumento su desarrollo vegetativo en raíz, tallo y hoja.

Pese a que no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos para el desarrollo radicular, la comparación de medias muestra un mejor desarrollo en el T4, igualmente la cantidad de los micronutrientes Fe, Zn, Mn y Cu, en porcentaje de materia seca son superiores en este tratamiento.

Zhou *et al.* (2023), en su trabajo “Respuestas de raíces y rizosfera de papaya hembra a la aplicación exógena de GA₃” la aplicación exógena de este promueve el desarrollo de raíces posiblemente aumentando las auxinas que reprimen a CpBP y manejan a CpLBD16, promoviendo la formación y el desarrollo de raíces laterales.

La evaluación del índice DOP muestra una suficiencia de los micronutrientes evaluados, estos se encuentran dentro del rango descrito para el correcto desarrollo de la fresa.

El Hierro se encontró en hasta el 0.468 % del total de la materia en la raíz, 0.0818 % de tallos y 0.0423% en hojas del T 4, que en general presento niveles superiores al resto, cuando los valores medios van de las 85 a las 200 ppm (Bolda, M, Dara, S., 2015).

El elemento zinc se presentó en valores muy similares entre los tratamientos, sin embargo, en el T3 y T4 son ligeramente mayores con valores de 0.0595 y 0.0596 % respectivamente en raíz, 0.0223 y 0.0198 % en tallo y 0.0174 y 0.0199% en hoja, los valores medios en la planta son de 15 a 28 ppm (Bolda, M, Dara, S., 2015).

El contenido de cobre en el área foliar que se encontró es similar a la obtenida por Mendieta (2011) pues encontramos en el testigo, T1, T2, T3 y T4; 7.46, 8.46, 5.97 y 8.96 ppm respectivamente, dentro del rango óptimo que menciona que va de las 5 a las 10 ppm.

El manganeso se encontró en mayor concentración en el T4, aunque en raíz ligeramente abajo que el T3, se encontró en 86.92 ppm en raíz, 111.15 ppm en

tallo y 62.20 ppm en hoja, todos dentro de los valores óptimos 75 a 600 ppm (Bolda, M, Dara, S., 2015).

La longitud del peciolo se aumentó considerablemente, siendo el T4, con un desarrollo de tallos, presento con un área 24 % mayor al T1 testigo, Kumar & Lamba (2022), reportaron un desarrollo máximo en las plantas tratadas con 100 mgL⁻¹ de GA₃, con longitudes de peciolo de 11.50 cm, número de hojas 28.53 y un mayor desarrollo de las coronas y estolones con respecto a los testigos. Este resultado también es similar con lo obtenido por Ikram y Qureshi (2016), quienes en su trabajo reportan un crecimiento máximo de 22.60 cm de estos con un tratamiento de 400 ppm de GA₃.

El desarrollo de las hojas en el T3 con una aplicación de 20 mgL⁻¹ de AG₃ es similar a lo obtenido por Pérez de Camacaro, *et al.* (2013), con 20 mgL⁻¹ que es superior a lo obtenido con 40 mgL⁻¹, ligeramente inferior a lo obtenido con solo 10 mgL⁻¹, sin embargo, el T3 fue 27.39% inferior al T4 de 100 mgL⁻¹; en contraste con el trabajo de Ikram y Qureshi (2016), en el que todos sus tratamientos de 200 y 400 ppm de AG₃ no presentaron significancia a diferencia de su tratamiento de enfriamiento a 4° C, en el presente trabajo tanto en el caso del área foliar como el peso en fresco y seco de este, el T4 fue significativamente superior al resto y aun el T3 fue superior al testigo y al T2; esta comparación nos recuerda la importancia de las bajas temperaturas en el desarrollo de las variedades temporales de esta especie y nos permite ver que si se aumenta el área foliar por planta y por tanto el área fotosintéticamente activa.

Aunque en el presente trabajo no se evaluó cosecha, cabe mencionar que tanto Pérez de Camacaro, *et al.* (2013) como Viasus, *et al.* (2013), concluyen que, el AG₃ influye en el tamaño y producción de frutos de fresa, no lo hace significativamente sobre la calidad organoléptica de estos.

CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se evidencia que la aplicación de AG₃ a la planta de fresa influencia la morfogénesis, también se aprecia un aumento altamente significativo en el desarrollo del área y peso foliar, tallos y raíces. El tratamiento 4 con 100mgL⁻¹ de AG₃ aumento el peso en fresco y seco de las raíces, el área de las hojas, su peso fresco y seco se aumentó en 94.73, 90.57 y 55.75% respectivamente, el área del tallo de las plantas tratadas aumento en hasta un 165.43% respecto al testigo. El desarrollo de las raíces aumenta la absorción de micronutrientos, el aumento de hojas aumenta el área fotosintéticamente activa, preparando a la planta para la producción de frutos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Tlatelpa, Martin, Volke Haller, Víctor Hugo, Sánchez García, Prometeo, Pérez Grajales, Mario, & Fajardo Franco, Marja Liza. (2019). Concentración y extracción de macronutrientes en cuatro variedades de fresa. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(6), 1287-1299. Epub 02 de octubre de 2020. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1552>
- Alcantara-Cortes, Johan Steven, Acero Godoy, Jovanna, Alcántara Cortés, Jonathan David, & Sánchez Mora, Ruth Melida. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *Nova*, 17(32), 109-129. Retrieved November 09, 2023, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702019000200109&lng=en&tlng=es.
- Arcos, B., Benavides, O., & Rodríguez, M. (2011). Evaluación de dos sustratos y dos dosis de fertilización en condiciones hidropónicas bajo invernadero en lechuga *Lactuca sativa* L. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 28(2), 95-108.
- Ayers, R.S. y D.W. Westcot. 1987. La calidad del agua en la agricultura. Estudio FAO riego y drenaje # 29. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 174 p.
- Bolda, M, Dara, S,. 2015. Manual de Producción de Fresa para los Agricultores de la Costa Central. 2da edición. Cachuma Resource Conservation District (CRCD).
- Dominguez, A. 2006. Fertirrigación. 4da. Editorial Mundi-Prensa Madrid. España. 200p.
- Espino, L. F. D., González, P. A. D., Jofre, A. E., & Martínez, G. T. O. M. 2017. FRESA, DEFICIENCIAS Y SÍNTOMAS NUTRICIONALES “UNA GUÍA VISUAL PARA FERTILIZAR”. Instituto Nacional De Investigaciones Forestales Agrícolas Y Pecuarias (inifap). México.
- Favela, E., Preciado, P., & Benavides, A. (2006). Manual para la preparación de soluciones nutritivas. *Cultivos sin suelo. Primera (Ed.). Torreón, Coahuila. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro*, 53-77.
- Fierascu, R. C., Temocico, G., Fierascu, I., Ortan, A., & Babeanu, N. E. (2020). *Fragaria* Género: Composición química y actividades biológicas. *Molecules* (Basilea, Suiza), 25(3), 498. <https://doi.org/10.3390/molecules25030498>

- González-Jiménez, Sandra L., Castillo-González, Ana Ma., García-Mateos, Ma. del Rosario, Valdez-Aguilar, Luis A., Ybarra-Moncada, Carmen, & Avitia-García, Edilberto. (2020). Respuesta de fresa cv. Festival a la salinidad. *Revista fitotecnia mexicana*, 43(1), 53-60. Epub 28 de diciembre de 2020. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.1.53>
- Hardigan, M. A., Lorant, A., Pincot, D. D. A., Feldmann, M. J., Famula, R. A., Acharya, C. B., Lee, S., Verma, S., Whitaker, V. M., Bassil, N., Zurn, J., Cole, G. S., Bird, K., Edger, P. P., & Knapp, S. J. (2021). Desentrañando la compleja historia de la ascendencia híbrida y la domesticación de la fresa cultivada. *Biología molecular y evolución*, 38(6), 2285–2305. <https://doi.org/10.1093/molbev/msab024>
- Hedden P. (2020). The Current Status of Research on Gibberellin Biosynthesis. *Plant & cell physiology*, 61(11), 1832–1849. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcaa092>
- Hernández Valencia, R. D., Juárez Maldonado, A., Pérez Hernández, A., Lozano Cavazos, C. J., Zermeño González, A., & González Fuentes, J. A. (2022). Influencia de fertilizantes orgánicos y del silicio sobre la fisiología, el rendimiento y la calidad nutracéutica del cultivo de fresa. *Nova Scientia*, 13(28), 1–16. <https://doi.org/10.21640/ns.v14i28.3032>
- Ikram, S., & Qureshi, K.M. (2016). Effect of chilling and gibberellic acid on vegetative growth and runner production of strawberry under tunnel conditions in Pothowar. *Journal of Agricultural Research*, 54, 487-500.
- INTAGRI. 2018. Manejo de Viveros de Fresa en México. Serie Frutillas, Núm. 27. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 6 p.
- INTAGRI. 2017. Solución Nutritiva y su Monitoreo Mediante Análisis Químico Completo. Serie Horticultura Protegida. Núm. 27. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3 p.
- Instituto Tecnológico Superior De Coalcomán (ITSC). 2018. MANUAL DE PRODUCCIÓN DE FRESA EN COALCOMÁN MICHOACÁN. ITSC. México.
- Jiang, N., Yang, Z., Luo, J., & Wang, C. (2023). Cuantificación de la lesión por frío en el sistema de fotosíntesis de las fresas: información sobre las características de fluorescencia fotosintética y la inversión hiperespectral. *Plants*, 12(17), 3138. MDPI. <http://dx.doi.org/10.3390/plants12173138>
- Jiménez Martínez, E., & Laguna Miranda, R. (2008). Insectos plagas y enfermedades asociadas a los cultivos de mora y fresa. UNAM.

- Kårlund, A., Hanhineva, K., Lehtonen, M., McDougall, G. J., Stewart, D., & Karjalainen, R. O. (2017). Non-targeted metabolite profiling highlights the potential of strawberry leaves as a resource for specific bioactive compounds. *Journal of the science of food and agriculture*, 97(7), 2182–2190. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8027>
- Kårlund, A., Salminen, J. P., Koskinen, P., Ahern, J. R., Karonen, M., Tiilikkala, K., & Karjalainen, R. O. (2014). Polyphenols in strawberry (*Fragaria × ananassa*) leaves induced by plant activators. *Journal of agricultural and food chemistry*, 62(20), 4592–4600. <https://doi.org/10.1021/jf405589f>
- Katel, Shambhu & Mandal, Honey & Kattel, Sujata & Yadav, Shubh Pravat & Sharma Lamshal, Baibhav. (2022). Impacts of plant growth regulators in strawberry plant: A review. *Heliyon*. 8. e11959. 10.1016/j.heliyon.2022.e11959.
- Kirschbaum, D. S. (2021). *Cultivo, Postcosecha, Procesado y Comercio de Berries*. Valencia, España: Instituto Nacional de la Tecnología Agropecuaria.
- Kumar, S., & Lamba, M. (2022). Effect of plant growth regulators on vegetative and reproductive growth in strawberry (*Fragaria xananassa*). *Journal of Plant Development Sciences*. 14(6): 535-540
- Kyrkby, E., y Römheld, V. (2017). MICRONUTRIENTES EN LA FISILOGIA DE LAS PLANTAS: FUNCIONES, ABSORCION Y MOVILIDAD. <http://listas.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Micronutrientese nlaFisiologia.pdf>. (09, Noviembre, 2023).
- López, Rubén. 2014. Efecto del humato de calcio y fulvato de hierro en la calidad y producción de chile jalapeño (*Capsicum annum L.*) y piquin (*Capsicum annum L. aviculare*) y en la porosidad en el suelo calcisol. Universidad Autónoma De Nuevo León, México.
- Malone, N. (2014). *Strawberries: Cultivation, Antioxidant Properties and Health Benefits*. Nova Science Publishers, Inc.
- Martínez, PF & Roca, Dolors. (2011). Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. Universidad Nacional de Colombia.
- Ministerio de agricultura, pesca y alimentación (MAPA). 2019. Guía de gestión integrada de plagas fresa y fresón. MAPA. https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/sanidad-vegetal/guiagipfresayfreson_tcm30-507859.pdf
- Mendieta, L. A. (2011) Distribucion espacial de nutrimentos en la solución del suelo para la producción intensiva de fresa. Tesis de maestría. Colegio de postgraduados. Texcoco, Estado de México. 86 p.

- Montañés, L., L. Heras, J. Abadía, and M. Sanz. 1991. Desviación del Optimo Porcentual (DOP): Nuevo índice para la interpretación del análisis vegetal. *An. Aula Dei*, v. 20(1991), n. 3-4:93-107
- Pérez de Camacaro, María, Ojeda, Maritza, Mogollón, Norca, & Giménez, Aracelis. (2013). Efecto de diferentes sustratos y ácido giberélico sobre el crecimiento, producción y calidad de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) cV. *camarosa*. *Bioagro*, 25(1), 31-38. Recuperado en 13 de noviembre de 2023, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612013000100004&lng=es&tIng=es.
- Pérez, E. 2017. Fisiología vegetal, parte IV. Universidad Nacional de Ucayali. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/3201>
- Porta, Helena, & Jiménez-Nopala, Gladys. (2019). Papel de las hormonas vegetales en la regulación de la autofagia en plantas. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 22, e160. Epub 04 de marzo de 2020. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.160>
- Salas-Arias, K., Irías-Mata, A., Sánchez-Kopper, A., Hernández-Moncada, R., Salas-Morgan, B., Villalta-Romero, F., & Calvo-Castro, L. A. (2023). Strawberry *Fragaria x ananassa* cv. Festival: A Polyphenol-Based Phytochemical Characterization in Fruit and Leaf Extracts. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 28(4), 1865. <https://doi.org/10.3390/molecules28041865>
- Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. (2017). *Planeación Agrícola Nacional 2017 - 2030. Fresa*. México: SAGARPA.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2022). *Panorama Agroalimentario 2022*. Ciudad de México: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
- Sood, Manish & Kachawaya, Dilip & Singh, Mahesh. (2018). Effect of Bio-fertilizers and Plant Growth Regulators on Growth, Flowering, Fruit ion Content, Yield and Fruit Quality of Strawberry. *INTERNATIONAL JOURNAL OF AGRICULTURE, ENVIRONMENT AND BIOTECHNOLOGY*. 11. 10.30954/0974-1712.06.2018.4.
- Steiner, A.A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil*. 15: 134- 154.
- Viasus, G., Álvarez, J, & Alvarado Oscar. (2013). Efecto de la aplicación de giberelinas y 6-bencilaminopurina en la producción y calidad de fresa (*Fragaria x Ananassa* Duch.). *Bioagro*, 25(3), 195-200. Recuperado en

13 de noviembre de 2023, de
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612013000300007&lng=es&tlng=es.

- Vieira, S. D., de Souza, D. C., Martins, I. A., Ribeiro, G. H., Resende, L. V., Ferraz, A. K., Galvão, A. G., & de Resende, J. T. (2017). Selección de híbridos experimentales de fresa (*Fragaria x ananassa*) en base a índices de selección. *Genética e investigación molecular: GMR*, 16(1), 10.4238/gmr16019052. <https://doi.org/10.4238/gmr16019052>
- Yoshida, H., Nakajima, M., & Matsuoka, M. (2020). Special Issue on Gibberellin: A Fascinating Substance That Still Attracts Plant Scientists. *Plant & cell physiology*, 61(11), 1829–1831. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcaa127>
- Yoshida, H., Takehara, S., Mori, M., Ordonio, R. L., & Matsuoka, M. (2020). Evolution of GA Metabolic Enzymes in Land Plants. *Plant & cell physiology*, 61(11), 1919–1934. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcaa126>
- Zhou, Y., Pang, Z., Jia, H. *et al.* (2023). Respuestas de raíces y rizosfera de papaya hembra a la aplicación exógena de GA₃. *BMC Plant Biol* **23**, 35. <https://doi.org/10.1186/s12870-022-04025-6>