

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



RESPUESTA FISIOLÓGICA DE FRAMBUESA ROJA A GIBERELINAS A_{4/7}, 6-BENCILAMINOPURINA Y PROHEXADIONA DE CALCIO

Tesis

Que presenta JUAN CARLOS GONZÁLEZ ESCOBAR

Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila

Diciembre 2023.

RESPUESTA FISIOLÓGICA DE FRAMBUESA ROJA A GIBERELINAS A_{4/7}, 6-BENCILAMINOPURINA Y PROHEXADIONA DE CALCIO

Tesis

Elaborada por JUAN CARLOS GONZÁLEZ ESCOBAR como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería de Sistemas de Producción con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría.



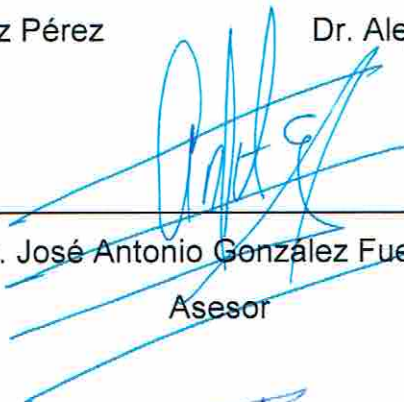
Dr. Homero Ramírez Rodríguez
Director de Tesis



Dr. Armando Hernández Pérez
Asesor



Dr. Alejandro Zermeño González
Asesor



Dr. José Antonio González Fuentes
Asesor



Dr. Antonio Flores Naveda
Subdirector de Postgrado
UAAAN

AGRADECIMIENTOS

A Dios: Gracias por permitir sonreír a mis logros que son resultado de tu ayuda, cuando caigo me doy cuenta que solo son pruebas que me tienes, que debo levantarme y aprender de ellas para ser mejor persona y profesionista, nunca me dejas solo y siempre estás ahí para protegerme y bendecirme.

A mis papas: Por su apoyo incondicional en todo momento.

A mis hermanos: Por sus consejos que siempre me dan la fuerza y el ánimo para salir adelante y conseguir mis metas.

A mis amigos Edgar Muñoz y Brandon Sánchez: Por su apoyo en esta investigación, fueron elementos importantes para poder llevar a cabo el trabajo experimental de campo.

Al Dr. Homero Ramírez: Por la gran oportunidad de poder trabajar bajo su supervisión y brindar su apoyo, experiencia y dedicación a esta investigación. Gracias a sus consejos que fueron clave para ser mejor profesionista y terminar en tiempo y forma todas las actividades para concluir el postgrado de maestría.

A los doctores Alejandro Zermeño, Armando Hernández y José Antonio González: Por su tiempo que brindaron para ser parte de esta investigación.

A MI ALMA MATER “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO”: Por abrirme sus puertas nuevamente y permitirme ser parte de la comunidad estudiantil de postgrado, por todas las comodidades y facilidades que me brindo en sus instalaciones, las cuáles, fueron indispensables para llevar a cabo todas las actividades de mi estancia en la maestría.

A CONAHCYT: Por el apoyo económico que me brindo durante toda mi estancia en el postgrado de maestría y así poder obtener el grado de **“MAESTRO EN CIENCIA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN”**

DEDICATORIA

A mis padres:

RODOLFO GONZÁLEZ HERRERA

TERESA ESCOBAR FLORES

Esta tesis la dedico a mis padres que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Ellos son los que con su cariño me han impulsado siempre a perseguir mis metas y a nunca abandonarlas frente a las adversidades, **GRACIAS POR TODO.**

“Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber”

Albert Einstein

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
INTRODUCCIÓN	- 1 -
Objetivo General.....	- 3 -
Objetivos Específicos	- 3 -
Hipótesis	- 3 -
REVISIÓN DE LITERATURA	- 4 -
Frambuesa Roja (<i>Rubus idaeus</i> L.)	- 4 -
Generalidades.....	- 4 -
Origen.....	- 4 -
Clasificación Taxonómica	- 4 -
Importancia Económica	- 6 -
Hormonas Vegetales.....	- 7 -
Descripción.....	- 7 -
Giberelinas	- 8 -
Generalidades.....	- 8 -
Historia	- 8 -
Biosíntesis	- 9 -
Funciones Biológicas.....	- 10 -
Citoquininas.....	- 11 -
Generalidades.....	- 11 -
Historia	- 11 -
Biosíntesis	- 12 -
Funciones Biológicas	- 14 -
Biorreguladores	- 14 -
Descripción.....	- 14 -
Retardantes de Crecimiento	- 15 -
Prohexadiona de Calcio	- 15 -
Generalidades.....	- 15 -

Metabolismo	- 16 -
MATERIALES Y MÉTODOS	- 17 -
Área Experimental.....	- 17 -
Material Vegetal.....	- 17 -
Sistema Producción y Manejo de Cultivo	- 17 -
Tratamientos y Análisis Estadístico.....	- 18 -
Aplicación de Tratamientos	- 18 -
Evaluación del Crecimiento Vegetativo	- 19 -
Evaluación de Crecimiento Reproductivo y Rendimiento	- 19 -
Calidad de Fruto	- 20 -
RESULTADOS	- 21 -
Evaluación Crecimiento Vegetativo.....	- 21 -
Evaluación de Crecimiento Reproductivo y Rendimiento	- 23 -
Calidad de Fruto	- 27 -
DISCUSIÓN	- 29 -
Evaluación Crecimiento Vegetativo.....	- 29 -
Evaluación de Crecimiento Reproductivo y Rendimiento	- 31 -
Calidad de Fruto	- 34 -
CONCLUSIONES	- 38 -
REFERENCIAS	- 39 -

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Frambuesa roja cv. UANC-2022 en diferentes etapas.....	5
Figura 2. Principales estructuras químicas de GAs con actividad biológica en plantas.....	8
Figura 3. Diagrama de la ruta de biosíntesis de giberelinas (GAs).....	10
Figura 4. Estructuras químicas de citoquininas sintéticas y naturales.....	13
Figura 5. Estructura química de prohexadiona de calcio.....	16
Figura 6. Influencia de biorreguladores sobre la tasa de crecimiento de brotes de frambuesa cv. UANC-2022.....	21
Figura 7. Influencia de biorreguladores sobre el número de inflorescencias en frambuesa cv. UANC-2022.....	23
Figura 8. Influencia de biorreguladores sobre el número de flores en frambuesa cv. UANC-2022.....	24
Figura 9. Influencia de biorreguladores sobre el número de frutos cosechados en frambuesa cv. UANC-2022.....	25
Figura 10. Influencia de biorreguladores sobre producción semanal en frambuesa cv. UANC-2022.....	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de frambuesa roja.....	5
Tabla 2. Descripción de tratamientos evaluados en frambuesa cv. UANC-2022.....	19
Tabla 3. Influencia de la aplicación de biorreguladores sobre parámetros vegetativos de frambuesa cv. UANC-2022.....	22
Tabla 4. Influencia de la aplicación de biorreguladores sobre el porcentaje de frutos cuajados y rendimiento de frambuesa cv. UANC-2022.....	25
Tabla 5. influencia de la aplicación de biorreguladores en el comportamiento de calidad de fruto y rendimiento de frambuesa cv UANC-2022.....	28

RESUMEN

RESPUESTA FISIOLÓGICA DE FRAMBUESA ROJA A GIBERELINAS A_{4/7}, 6-BENCILAMINOPURINA Y PROHEXADIONA DE CALCIO

Por:

JUAN CARLOS GONZÁLEZ ESCOBAR

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Asesor Principal:

Dr. HOMERO RAMÍREZ RODRÍGUEZ

Saltillo, Coahuila

Diciembre 2023.

Actualmente México es el segundo país con mayor producción de frambuesa roja en el mundo. El alto contenido de antioxidantes, vitaminas y minerales han impulsado el interés de investigación en áreas como farmacéutica, alimentaria y agrícola. Las cualidades fitoquímicas de esta frutilla contribuyen substancialmente a una nutrición saludable y al fortalecimiento del sistema inmunológico del consumidor. El constante incremento del consumo, las exigencias de calidad de los mercados y el valor económico de este cultivo, conduce a investigar herramientas que permitan mejorar la producción y calidad de esta frutilla. Una alternativa para ello es el uso de biorreguladores. En este estudio, se evaluó el impacto de prohexadiona de calcio (P-Ca), giberelinas $GA_{4/7}$ ($GA_{4/7}$), 6-bencilaminopurina (6-BAP) y una combinación de $GA_{4/7}$ y 6-BAP ($GA_{4/7}+6-BAP$) en el crecimiento, desarrollo y calidad de los frutos de frambuesa roja cultivar UANC-2022. El diseño experimental utilizado fue un arreglo factorial 4x3 en bloques completamente al azar, donde el primer factor fue la aplicación de los biorreguladores mencionados y el segundo factor fue el número de aplicaciones: una aplicación (100 ppm), dos aplicaciones (100+25 ppm) y tres aplicaciones (100+25+25 ppm). Además, se incluyó un control tratado con agua destilada. P-Ca redujo temporalmente tasa de crecimiento de brotes (TCB), incrementó el número de flores por planta (NFP), el número de frutos cosechados (NFC), el rendimiento y el contenido de vitamina C (CVC), antocianinas (CA), potasio (CK) y sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix) en frutos. Se observó un retraso en la cosecha de una semana con dos y tres aplicaciones de P-Ca. $GA_{4/7}$ favoreció la TCB, NFP, rendimiento, CVC, CA, CK y $^{\circ}$ Brix, además, influyo en adelantar la producción una semana. En relación con 6-BAP, se registró un aumento en NFP, rendimiento y un adelanto en la producción de una semana. P-Ca, $GA_{4/7}$ y 6-BAP demostraron ser herramientas viables de manejo que se pueden implementar para lograr un mayor rendimiento y calidad en la producción de frambuesa roja.

Palabras clave: Biorreguladores, calidad de fruto, citoquininas, frutillas, *Rubus idaeus*

ABTRACT

PHYSIOLOGICAL RESPONSE OF RED RASPBERRY TO GIBBERELLINS *A₄/7*, 6-BENZYLAMINOPURINE AND PROHEXADIONE CALCIUM

By:

JUAN CARLOS GONZÁLEZ ESCOBAR

MASTER OF SCIENCE IN PRODUCTION SYSTEMS ENGINEERING
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Principal Advisor:

Dr. HOMERO RAMÍREZ RODRÍGUEZ

Saltillo, Coahuila.

December 2023.

Currently Mexico is the second country with the largest production of red raspberries in the world. The high content of antioxidants, vitamins and minerals has driven research interest in areas such as pharmaceuticals, food and agriculture. The phytochemical qualities of this berry contribute substantially to healthy nutrition and the strengthening of the consumer's immune system. The constant increase in consumption, the quality demands of the markets and the economic value of this crop, leads to research into tools that allow improving the production and quality of this berry. An alternative for this is the use of bioregulators. In this research, it was evaluated the effect of prohexadione calcium (P-Ca), gibberellins $GA_{4/7}$ ($GA_{4/7}$), 6-benzylaminopurine (6-BAP) and a combination of $GA_{4/7}$ and 6-BAP ($GA_{4/7}$ +6-BAP) on the growth, development and quality fruit of red raspberry cv. UANC-2022. The study was established under a completely randomized block design with a 4X3 factorial arrangement, the first factor was the bioregulators referred to and the second factor was the number of applications: one application (100 ppm), two applications (100+25 ppm) and three applications (100+25+25 ppm). A control with distilled water was included. P-Ca temporarily reduced the shoot growth rate (TCB), increased the number of flowers per plant (NFP), number of harvested fruits (NFC), yield and the content of Vitamin C (CVC), anthocyanins (CA), potassium (CK) and total soluble solids (°Brix) in fruit. P-Ca with two and three applications delayed the harvest by one week. $GA_{4/7}$ favored TCB, NFP, yield, CVC, CA, CK and °Brix, and also advanced production by one week. 6-BAP increased NFP, yield and advanced production by one week. P-Ca, $GA_{4/7}$ and 6-BAP are a viable tool that can be implemented to develop management strategies that allow greater yield and quality, as well as manipulate red raspberry production periods.

Keywords: Bioregulators, fruit quality, cytokinins, berries, *Rubus idaeus*.

INTRODUCCIÓN

La frambuesa roja (*Rubus idaeus* L.) forma parte del grupo de las berries, caracterizadas por sus colores intensos, sabores distintivos, texturas jugosas y tamaños pequeños. Originaria de Europa, esta fruta pertenece a la familia Rosaceae y al género *Rubus*, el cual, engloba alrededor de 740 especies, organizadas en 15 subgéneros (López-Corona *et al.* 2022). Las frambuesas destacan por sus elevados niveles de proteínas, minerales y vitaminas, además, poseen compuestos polifenólicos con notables propiedades antioxidantes. Estas características las convierten en una contribución significativa a una dieta saludable y en un refuerzo para el sistema inmunológico de quienes las consumen (Manganarisa *et al.* 2013, Will *et al.* 2020).

La producción de frambuesa en México ha experimentado un crecimiento constante en los últimos años, En 2021 se alcanzó una producción de 165 677 t, lo que representa un aumento del 13.2% en comparación con el año anterior. Este rendimiento destacado posiciona a México como el segundo mayor productor a nivel mundial, contribuyendo con un 16.3 % del volumen global, únicamente superado por Rusia, que aportó el 20.3 %. Además, la frambuesa mexicana ha logrado establecerse en 33 mercados internacionales, siendo Estados Unidos su principal destino. La frambuesa se destaca como la segunda fruta más relevante dentro del grupo de las berries en términos de impacto económico. En el año 2021, las ventas de frambuesa alcanzaron la notable cifra de 1 217 millones de dólares. A nivel nacional, los principales productores de esta fruta son Jalisco, Michoacán y Baja California, contribuyendo con participaciones del 70.2, 18.0 y 9.7 respectivamente al total de la producción nacional. A pesar de su destacada producción y relevancia en los mercados internacionales, el consumo per cápita de frambuesa en México se sitúa en 315 g, representando solo el 0.7 % de la producción total (FAO-FAOSTAT 2022, SIAP-SADER 2022). Las hormonas vegetales son moléculas orgánicas sintetizadas internamente por las plantas que, en concentraciones muy bajas, ejercen efectos a nivel celular, influyendo en diversos procesos fisiológicos y metabólicos para regular patrones de crecimiento y desarrollo (López-Lauri 2016, Bhatla 2018a). El término

"biorreguladores" o "reguladores de crecimiento vegetal" abarca no solo a las hormonas vegetales, sino también a otros elementos como extractos de plantas, minerales e incluso microorganismos que pueden promover, inhibir o retardar procesos fisiológicos en las plantas. Un biorregulador tiene la capacidad de activar o suprimir genes de manera indirecta, provocando así modificaciones en el programa de desarrollo de la planta. La aplicación de biorreguladores en la agricultura ha generado mejoras significativas en los sistemas de producción, permitiendo maximizar el potencial de diversos cultivos (Njiti *et al.* 2013).

Las giberelinas (GAs) son hormonas vegetales endógenas que desempeñan un papel crucial en el crecimiento de las plantas. Se les reconoce por su capacidad para estimular el alargamiento celular y su influencia en diversos procesos de desarrollo, como la germinación de semillas, alargamiento del tallo, latencia de yemas, floración, expansión de hojas y frutos, entre otros. Estas hormonas son fundamentales para regular la morfología y el desarrollo global de las plantas, desencadenando respuestas específicas en diferentes etapas del ciclo de vida vegetal (Kalra y Bhatla 2018b).

Las citoquininas (Cyt) son hormonas que desempeñan principalmente un papel promotor de la división celular (Feng *et al.* 2017). Están directamente involucradas en la regulación de diversos procesos de crecimiento y desarrollo en las plantas, incluyendo la formación de gametos y embriones femeninos, organización de haces vasculares, desarrollo de brotes axilares, fotomorfogénesis, senescencia de hojas, diferenciación floral y germinación de semillas, además, de su función en procesos de desarrollo, las citoquininas también participan activamente en mecanismos adaptativos frente a condiciones de estrés abiótico (Kalra y Bhatla 2018b, Alcántara *et al.* 2019, Ayub *et al.* 2021, Ramírez *et al.* 2023).

Prohexadiona de calcio (P-Ca) es un biorregulador que actúa como retardante del crecimiento vegetal, disminuyendo la longitud de tallos y brotes y resultando en plantas más compactas (Rademacher y Bucci 2000). Su modo de acción implica bloquear la formación de GAs biológicamente activas en las últimas etapas de su biosíntesis. Es importante destacar que este efecto es temporal, ya

que el P-Ca solo mantiene su actividad en la planta durante unas pocas semanas. Esto significa que en cultivos caducifolios, no afecta el crecimiento de las siguientes temporadas (Evans *et al.* 1999, Rademacher *et al.* 2006).

El aumento en la demanda, los estándares exigentes de calidad en los mercados, junto con el significativo impacto social y económico del cultivo de frambuesa, sumado a las variaciones climáticas y estacionales, motiva a los investigadores a llevar a cabo estudios para optimizar al máximo el potencial de este cultivo. La aplicación de biorreguladores en la agricultura emerge como una alternativa eficaz para mejorar el rendimiento y la calidad de diversos cultivos. Estos compuestos, al modificar temporalmente la expresión génica, influyen en la fisiología y metabolismo de las plantas, lo que beneficia la producción y calidad de los cultivos, así como la gestión de los periodos de cosecha, respondiendo así a las demandas del mercado.

Objetivo General

Evaluar y analizar el efecto de tres biorreguladores en la fisiología de frambuesa roja cv. UANC-2022.

Objetivos Específicos

- Evaluar el efecto de P-Ca con una, dos y tres aplicaciones sobre el crecimiento, desarrollo y calidad de fruto de frambuesa roja.
- Evaluar el crecimiento, desarrollo y calidad de fruto con una, dos y tres aplicaciones de GA_{4/7}.
- Conocer la influencia de 6-BAP sobre el crecimiento, desarrollo y calidad de fruto con una, dos y tres aplicaciones.
- Conocer la respuesta del crecimiento, desarrollo y calidad de fruto a la combinación de GA_{4/7}+6-BAP con una, dos y tres aplicaciones.

Hipótesis

La aplicación de biorreguladores modifica positivamente la fisiología de frambuesa roja.

REVISIÓN DE LITERATURA

Frambuesa Roja (*Rubus idaeus* L.)

Generalidades

La frambuesa roja es el fruto que proviene de la planta de frambueso (*Rubus idaeus* L.) y pertenece al grupo de las berries o frutillas. Estas frutas se distinguen por sus colores brillantes, sabores intensos y tamaños pequeños, en este grupo también se encuentran las fresas, las zarzamoras y los arándanos. La frambuesa roja principalmente se consume en fresco, no obstante, también se comercializa en diversas presentaciones elaboradas como mermeladas, lácteos, golosinas, té, helados, bebidas y congeladas. En los últimos años, la frambuesa ha despertado un gran interés en diferentes industrias como agrícola, alimentaria, farmacéutica y cosmética, consecuencia de su distinguido sabor y color intenso característico, además, por su alto valor nutricional se considera como una fruta que contribuye a una dieta saludable para el consumidor, derivado del contenido de minerales, vitaminas y polifenoles con alta capacidad antioxidante (Manganarisa *et al.* 2013, López-Corona *et al.* 2022).

Origen

Su origen es de regiones templadas del Norte de Asia y de Europa Oriental, los primeros registros en forma silvestre fueron en el monte de la Ida de la isla de Creta en Grecia, es por ello que se le denominó *idaeus* a la especie, que significa “Del Monte Ida”. Palladius fue un agricultor romano del siglo IV, quien realizó las primeras documentaciones de la domesticación de esta especie. Durante el siglo XVIII se exportó a Nueva York, mientras que, a comienzos del siglo XIX ya se cultivaban más de 20 variedades en Europa y Estados Unidos, posteriormente se fueron expandiendo hacía Sudamérica (Hummer 2010, SERIDA 2014).

Clasificación Taxonómica

Las frambuesas pertenecen al género *Rubus*, el cual, presenta alrededor de 740 especies clasificadas en 15 subgéneros, en la tabla 1 se puede apreciar detalladamente la clasificación taxonómica de frambuesa roja.

Tabla 1. Clasificación taxonómica de frambuesa roja.

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Rosales
Familia	Rosaceae
Subfamilia	Rosoideae
Tribu	Rubeae
Género	<i>Rubus</i>
Subgénero	<i>Idaeobatus</i>
Especie	<i>Rubus idaeus</i>

Fuente: Monasterio-Huelin 1992.

La planta de frambueso, es un arbusto con tallo subterráneo, semileñoso, erecto y espinoso, presenta flores en racimo y los frutos son infrutescencias unidas por un receptáculo, en la Figura 1 se puede observar la planta de frambueso en sus diferentes etapas fisiológicas.

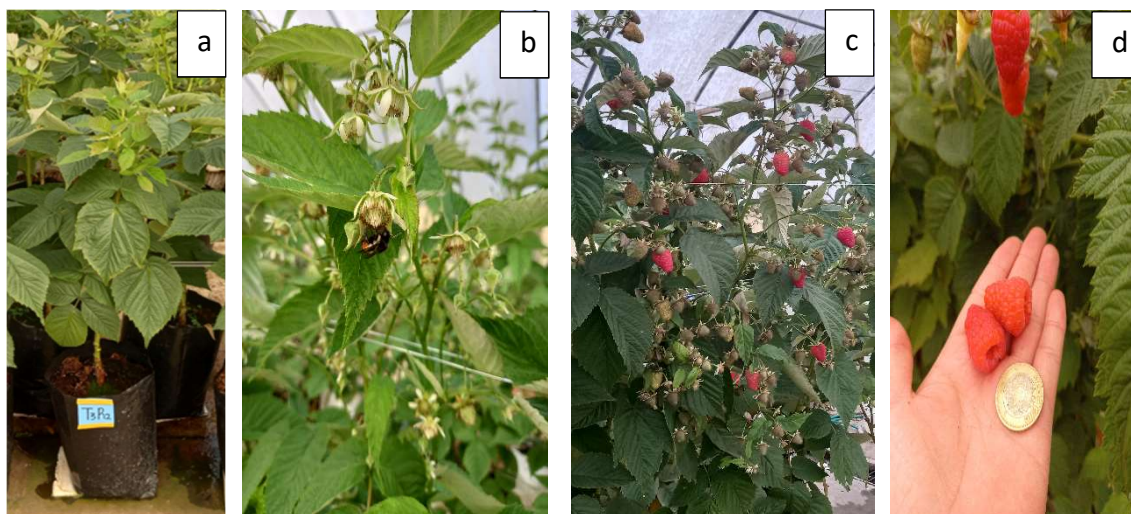


Figura 1. Frambuesa roja cv. UANC-2022 en diferentes etapas.

a) vegetativa; b) floración; c) fructificación; d) cosecha.

Raíz: Presenta numerosas raíces delgadas, superficiales y fibrosas que brotan desde la corona, algunas pocas son más gruesas y leñosas que tienen como función el soporte de la planta, el 80 % del sistema radicular se encuentra en los

primeros 30 cm. Presentan abundantes yemas adventicias de donde se originan los retoños o renuevos (Bañados 2015).

Tallo: El frambueso presenta un tallo corto y subterráneo, tiene yemas que emiten brotes, también llamados cañas, el número de cañas depende de la variedad, estas son vigorosas y están cubiertas por espinas, pueden alcanzar hasta 2 m de altura (SERIDA 2014).

Hojas: Posee hojas imparipinadas y están compuestas por 5-7 foliolos, los cuales, son ovalados y aserrados, presentan un color verde por el haz y un verde grisáceo por el envés, algunas variedades con espinas en las nervaduras y raquis (INIA 2009).

Flor: Las flores se presentan en inflorescencias de tipo racimo hasta con 10 flores, son de color blanco-rosado y están sujetas de un pedúnculo largo y con espinas. Se conforman por cinco sépalos y cinco pétalos, el androceo presenta numerosos estambres y el gineceo está conformado por varios pistilos individuales insertados en un receptáculo convexo, cada pistilo tiene un ovario con un ovulo, que posteriormente cada uno da origen a una drupa pequeña (SERIDA 2014).

Fruto: Botánicamente es una polidrupa, la cual, es una infrutescencia conformada por pequeñas drupas unidas por un receptáculo, existen de color rojo, amarillo, púrpura y negro, el cual, es distinguido por cada especie. Las frambuesas rojas son de la especie *Rubus idaeus*. La pulpa es jugosa y tiene un sabor dulce con una sensación ácida, tiene aroma muy intensa y perfumada (INTA 2023).

Importancia Económica

En México, la superficie destinada a la producción de frambuesa roja ha experimentado un crecimiento sostenido en los últimos años. Esta fruta, que

ocupa el segundo lugar en importancia y contribuye significativamente a la economía en la categoría de berries, registró una producción de 165 677 t en 2021, generando ventas por aproximadamente 1 217 millones de dólares y experimentando un crecimiento del 13.2 % en comparación con el año anterior. México ha consolidado su posición como el segundo mayor productor mundial en los últimos años, representando el 16.3 % del volumen global en 2021. Este desempeño ubica al país solo detrás de Rusia, que lidera la producción mundial con el 20.3 %. La frambuesa roja mexicana ha conquistado mercados internacionales, siendo Estados Unidos su principal cliente, con una importación mensual promedio de 10 000 toneladas (SIAP-SADER 2022).

En el ámbito nacional, Jalisco, Michoacán y Baja California son los principales productores de frambuesa roja, contribuyendo con participaciones del 70.2, 18.0, y 9.7 % respectivamente a la producción total del país. A pesar de la destacada producción, el consumo per cápita en México se sitúa en 315 g, representando apenas el 0.7 % de la producción total (SIAP-SADER 2022).

Hormonas Vegetales

Descripción

Las plantas llevan a cabo la síntesis de numerosas biomoléculas como parte de su metabolismo, las cuales, desempeñan funciones clave en la comunicación intercelular. Este proceso es esencial para dirigir los patrones de crecimiento y desarrollo. Las moléculas responsables de esta señalización se conocen como hormonas vegetales. Estas hormonas son moléculas orgánicas sintetizadas internamente por las plantas, a pesar de su baja concentración, ejercen efectos notables en las células. Pueden actuar a nivel genético como activadores o represores de la expresión génica, influyendo de manera directa o indirecta en diversos procesos fisiológicos y metabólicos para regular los patrones de crecimiento y desarrollo de las plantas (López-Lauri 2016, Bhatla 2018a).

Giberelinas

Generalidades

Las GAs son hormonas de crecimiento sintetizadas de manera endógena por las plantas, controlan distintos procesos de crecimiento y desarrollo, entre los principales son el alargamiento celular, germinación de semillas, latencia de yemas, regula diferenciación de floración, expansión de hojas y frutos, entre otros (Kalra y Bhatla 2018b).

Historia

Las giberelinas se identificaron por primera vez en la década de los años de 1950 en el hongo *Gibberella fujikuroi*, el cual, ocasionaba una enfermedad conocida como “bakanae” en plantas de arroz, el principal síntoma era el alargamiento excesivo de tallo y brotes, posteriormente, se logró aislar el compuesto que provocaba ese síntoma y se le denominó ácido giberelico (GA_3), después, se demostró que este compuesto tenía actividad biológica en las plantas ya que se realizó la extracción de GA_3 de *Gibberella fujikuroi* y se aplicó a mutantes de maíz enano y observaron que recuperaban su altura normal (Hedden *et al.* 2002). Actualmente se han identificado alrededor de 136 giberelinas en bacterias, hongos y principalmente plantas, sin embargo, solo algunas pocas tienen actividad biológica en las plantas (Figura 2) (Sponsel y Hedden 2004).

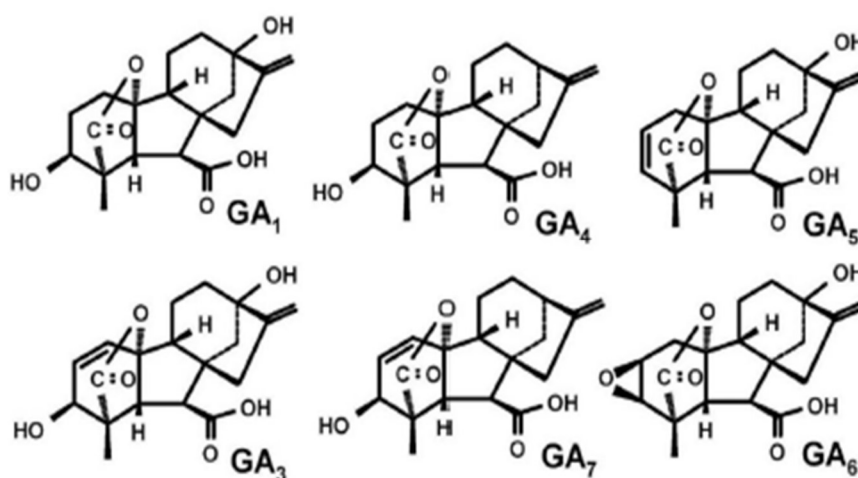


Figura 2. Principales estructuras químicas de GAs con actividad biológica en plantas. Fuente: Sponsel y Hadden 2004.

Biosíntesis

La biosíntesis de giberelinas se divide en tres etapas de acuerdo a los tres organelos donde ocurren las reacciones bioquímicas (Figura 3), la primera ocurre en los plastidios (producción de ent-kaureno a partir de geranilgeranildifosfato), la segunda en el retículo endoplasmático (conversión de ent-kaureno a GA₁₂) y la tercera en el citosol (conversión de GA₁₂ a GAs de 19 y 20 carbonos) (Yamaguchi 2008, López-Lauri 2016, Kalra y Bhatla 2018b), a continuación se describe más a detalle cada una de las etapas:

La primera etapa ocurre en los plastidios, el compuesto geranilgeranildifosfato es transformado a ent-copanol difosfato por la enzima ent-copalildifosfato sintasa, posteriormente es catalizado a ent-kaureno por la enzima ent-kaureno sintasa (Serrani *et al.* 2007).

La segunda etapa ocurre en la membrana del retículo endoplasmático, en donde sucede una oxidación del ent-kaureno con intervención de la enzima ent-kaureno oxidasa y da como producto ent-kaurenol, ent-kaurenal y ácido ent-kaurenóico, a partir de este último compuesto, por consecuencia de otras tres oxidaciones catalizadas por el ácido ent-kaurenóico oxidasa da como resultado la formación de GA₁₂ (Kalra y Bhatla 2018b).

La tercera etapa tiene lugar en el citoplasma, en donde ocurren reacciones causadas por dioxigenasas dependientes de 2-oxoglutarato y Fe⁺² (Sponsel y Hedden 2004). En esta etapa la ruta puede ser distinta según la especie, a partir de GA₁₂ se pueden presentar dos vías:

- **La ruta de la no hidroxilación temprana en el carbono-13.** En GA₁₂ carbono-20 sufre dos oxidaciones y como producto se forma GA₁₅ y GA₂₄, posteriormente sucede una eliminación del carbono-20 de GA₂₄ y se transforma en GA₉, estos pasos están asociados a la enzima GA 20-oxidasa. Finalmente, GA₉ se transforma en GA₄ al unirse un grupo hidroxilo en la posición 3β, en esta reacción interviene la enzima GA 3-oxidasa. GA₄ es biológicamente activa (Gallego 2008).
- **La ruta de la hidroxilación temprana en el carbono-13.** Primeramente, GA₁₂ se convierte a GA₅₃ por una oxidación en el carbono-13 causada por

movimiento de las reservas dirigiéndose al embrión en crecimiento, promoviendo el crecimiento de plúmula y radícula (Gallego 2008).

Crecimiento Longitudinal de Tallo. La elongación de tallos y ramas es el efecto más evidente provocado por GAs, este aumento esta ocasionado a la estimulación de la división, expansión y elasticidad celular (López-Lauri 2016).

Diferenciación de Flores. Para la transición de etapa vegetativa a etapa reproductiva es necesario un balance adecuado de giberelinas, puesto que, están involucradas en la activación de genes de identidad floral induciendo al desarrollo reproductivo con la formación de flores (Kalra y Bhatla 2018b).

Formación de Frutos. Son indispensables para la formación de frutos, interviniendo desde la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico, al igual que en el tallo, ayudan a la división y expansión celular del fruto, así mismo, se involucran la síntesis de sus componentes bioactivos (Sponsel y Hedden 2004).

Citoquininas

Generalidades

Las Citocininas son clasificadas como una hormona promotora del crecimiento vegetal, puesto que, intervienen en diversas funciones encaminadas al crecimiento y desarrollo de las plantas. Actualmente en vegetales se encuentran descritas alrededor de 35 Cyt que pueden presentarse en forma libre o en forma conjugada como nucleosidos, nucleótidos, alanilderivados, glicosidos y metiltioderivados (Kalra y Bhatla 2018a).

Historia

Entre las décadas de 1940 y 1950, Skoog y sus colaboradores aislaron una sustancia a partir del ADN del esperma de arenque, un pez del género *Clupea*. Al aplicar esta sustancia a cultivos de tejido de tabaco, observaron que inducía

la división celular, a este compuesto se le dio el nombre de quinetina. A pesar de ser una sustancia natural, la quinetina es considerada una Cyt sintética, ya que no se produce de manera endógena en las plantas (Feng *et al.* 2017).

Posteriormente, se descubrió que en el endospermo de la semilla de maíz se encontraba una sustancia con actividad biológica semejante a la quinetina, este compuesto se denominó zeatina y fue la primera Cyt natural reportada a partir de un órgano de una planta. Actualmente se ha reportado que la Cyt natural más común es la zeatina (trans y cis), sin embargo, en las plantas también se pueden encontrar dihidrozeatina y isopentenil adenina principalmente (López-Lauri 2016).

Posteriormente, se descubrió que en el endospermo de la semilla de maíz existía una sustancia con actividad biológica similar a la quinetina, la cual se denominó zeatina. Esta fue la primera Cyt natural que se informó que se obtenía de un órgano de una planta. En la actualidad, se ha documentado que la Cyt natural más común es la zeatina (tanto en sus formas trans como cis). Sin embargo, en las plantas también se pueden encontrar dihidrozeatina e isopentenil adenina en cantidades significativas (López-Lauri, 2016).

Además de las Cyt naturales, se han sintetizado diversas sustancias con propiedades similares para su uso en la agricultura (Figura 4), entre estas sustancias sintéticas, se encuentran la 6-Bencilaminopurina, el tidiazurón y la benciladenina, por mencionar algunas de las más utilizadas en la agricultura (Iglesias y Talón 2008).

Biosíntesis

Las Cyt se sintetizan en cualquier órgano vegetal (tallo, raíz, hojas, flores frutos y semillas) que se encuentre en crecimiento activo, no obstante, la raíz es el sitio donde se sintetiza en mayor cantidad. Comprender la vía de biosíntesis de las Cyt ha sido más compleja en comparación de otras hormonas, puesto que, por su gran importancia en el crecimiento y desarrollo de las plantas, es muy complicado obtener un mutante modificado por Cyt (Taiz *et al.* 2017), sin

embargo, se han realizado diversos estudios en los que se han propuesto las siguientes rutas:

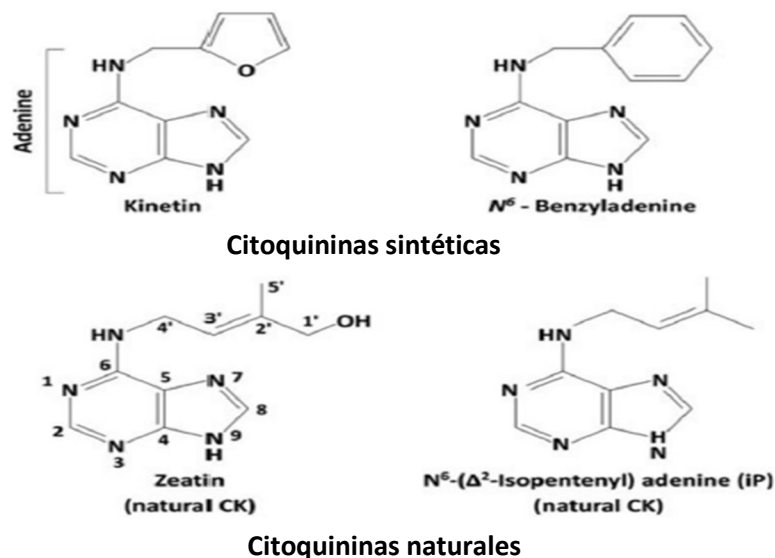


Figura 4. Estructuras químicas de citoquininas sintéticas y naturales.

Fuente: Kalra y Bhatla 2018a.

La primera ruta de biosíntesis de Cyt se le considera como directa, involucra la formación de N6-isopentiladenosina monofosfato a partir de adenocin 5-monofosfato y pirofosfato de dimetilalilo, esta reacción ocurren en los plastidios. Posteriormente, ocurre una hidroxilación de la cadena lateral de la molécula con intervención de la enzima citocromo P450, esta reacción ocurre en el retículo endoplasmático. Finalmente, la molécula N6-isopentiladenosina monofosfato presenta hidroxilaciones para tener como producto la zeatina y otros tipos de Cyt, actualmente aún no se han identificado las hidroxilasas responsables de estas reacciones bioquímicas (Feng *et al.* 2017, Kalra y Bhatla 2018a).

La segunda ruta se considera como indirecta, debido a que provienen del ARN de transferencia que presentan anticodones que comienzan con una uridina y llevan una adenosina ya prenilada adyacente al anticodón, liberan la adenosina como Cyt tras su degradación (Taiz *et al.* 2017).

Funciones Biológicas

Las Cyt estimulan la división y diferenciación celular y básicamente están involucradas en todos los procesos fisiológicos y metabólicos de crecimiento y desarrollo vegetal, algunas de las funciones más importantes son:

Promueve División Celular. La función de las Cyt como una hormona que promueve el crecimiento vegetal se origina del efecto sobre el ciclo de la división celular, debido a que controla en cierta medida la conversión de la fase G1 a S y de la G2 a M. En particular esta función está estrechamente relacionada con el contenido de otra fitohormona (auxinas) (Feng *et al.* 2017).

Promueve Formación y Brotación Lateral. Otra de las funciones de esta fitohormona es regular la brotación de yemas laterales en relación con la dominancia apical. La aplicación directa de Cyt en las yemas, activa la división celular y ocasiona el crecimiento de las mismas, generando plantas más ramificadas (Taiz *et al.* 2017).

Retraso Senescente de Hojas. En diversas investigaciones se ha reportado que las Cyt retarda la senescencia de los diferentes órganos de la planta, esto es ocasionado por interrumpir la degradación de proteínas, así mismo, junto con otros factores como la luz, agua y nutrientes estimula la síntesis de pigmentos y nuevas proteínas fotosintéticas (Smith *et al.* 2017).

Biorreguladores

Descripción

Los biorreguladores o reguladores de crecimiento vegetal forman un grupo amplio de compuestos que incluye hormonas vegetales, análogos sintéticos de estas hormonas, extractos vegetales, microorganismos, minerales y otras sustancias, estos compuestos tienen la capacidad de acelerar, retardar o inhibir procesos fisiológicos en las plantas. Según su efecto en los vegetales, los

bioreguladores se clasifican en promotores, inhibidores y retardantes (Chu *et al.* 2017, Smith *et al.* 2017, Alcántara *et al.* 2019).

Retardantes de Crecimiento

Los retardantes de crecimiento de plantas son productos elaborados de manera sintética que se utilizan para reducir de forma longitudinal el crecimiento de tallos y ramas. Principalmente estos compuestos rompen la cadena de biosíntesis de giberelinas en sus diferentes etapas, esto ocasiona que disminuya el alargamiento y la tasa de división celular, lo que provoca una modificación de la arquitectura de las plantas sin causar una fitotoxicidad. Los primeros productos de este tipo salieron al mercado en 1949, actualmente se han reportado diversos compuestos con el efecto de retardar el crecimiento vegetativo y se han introducido en los sistemas de producción de algunos cultivos (Rademacher y Bucci 2000).

Prohexadiona de Calcio

Generalidades

Con nombre común Prohexadiona de calcio, nombre químico calcio 3-oxido-4-propionil-5-oxo-3-ciclohexeno-carboxilato (Figura 5) y comercial Apogge TM fue patentado por Kumiai Chemical Industry Co. es un bioregulador que se considera como un retardante de crecimiento vegetativo de las plantas, elaborado para el control de crecimiento de arroz en Japón. A partir del año 2000, se distribuyó a varios países como un bioregulador para árboles frutales. Este bioregulador tiene un DL50 oral agudo en ratas de $>2000 \text{ mg kg}^{-1}$, además, no es mutagénico ni carcinogénico, no produce toxicidad en aves, peces, abejas y microorganismos del suelo, por ende, se considera un producto amigable con el medio ambiente (Evans *et al.* 1999).

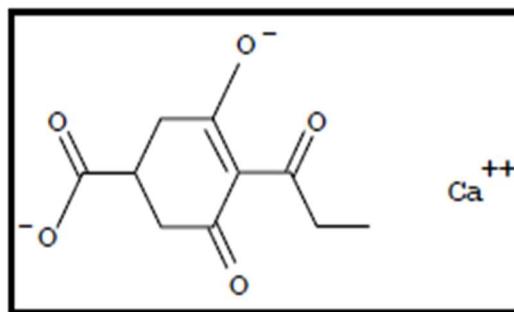


Figura 5. Estructura química de prohexadiona de calcio.

Metabolismo

El efecto más notorio que induce este biorregulador en plantas es la reducción del crecimiento longitudinal en tallos y ramas, este efecto es ocasionado por el bloqueo de síntesis de giberelinas. Se ha reportado que P-Ca es un imitador estructural del ácido 2-oxoglutarico, el cual, es el co-sustrato para la formación de la enzima 3β-hidroxilasa, esta enzima es la responsable de catalizar las hidroxilaciones en la posición 3β de las GAs que no tienen actividad biológica para su conversión a GAs biológicamente activas, es decir este biorregulador bloquea la conversión de GAs inactivas a GAs activas (Rademacher *et al.* 2006). Una vez que este retardante de crecimiento es aplicado de manera foliar a una planta, requiere un periodo de máximo 8 h para su absorción, es translocado de manera acropetala por xilema, por lo que, su efecto como reductor de crecimiento solo será visible en los tallos o ramas asperjados o tratados, tiene una vida media de 10 a 15 días dentro de la planta, además, el efecto es temporal sin causar alteraciones en las siguientes temporadas. En base a lo anterior P-Ca es una herramienta flexible que se puede utilizar para manejar la arquitectura de las plantas de acuerdo a los intereses y necesidades agronómicas de cada cultivo y del agricultor (Rademacher *et al.* 2006, Njiti *et al.* 2013).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área Experimental

El estudio se llevó a cabo en un invernadero tipo túnel equipado con un sistema de enfriamiento mediante pared húmeda y extractores de aire automatizados. Este invernadero está ubicado en el área experimental del departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), situada en Buenavista Saltillo, Coahuila, México. Las coordenadas geográficas son 25° 27' 21.8'' Latitud Norte y 101° 02' 06.5'' de Longitud Oeste, con una altitud de 1742. El experimento se llevó a cabo a lo largo del periodo comprendido entre marzo y octubre de 2022.

Material Vegetal

El material vegetal utilizado fue plántulas de frambuesa cv. UANC-2022, es una variedad vigorosa, presenta tolerancia a diferentes enfermedades de importancia económica, tiene un hábito de crecimiento un poco pendular, por lo cual, se debe de tener muy en cuenta para el tutorado. Produce frutos de buen tamaño, la polidrupa es de forma cónica, el promedio en peso es de 6 g, es de color rojoroso que se oscurece en postcosecha. Es un material considerado como refronante por tener la cualidad de producir en madera del mismo año. Tiene un promedio de 150 días desde la plantación a cosecha.

Para el experimento se utilizó un lote de 52 plántulas de 45 días de edad y aproximadamente 10 cm de altura.

Sistema Producción y Manejo de Cultivo

El experimento se llevó a cabo en un sistema semi-hidropónico, utilizando bolsas de polietileno de 12 L para trasplantar las plántulas. Se preparó un sustrato con una porosidad de aireación del 25 %, utilizando una mezcla de polvillo de coco, fibra de coco y peat moss en proporciones de 1:2:2 (V/V), siguiendo el método descrito por Pire y Pereira (2003). El trasplante se realizó el 12 de marzo de 2022, con una densidad de 6.2 plantas por metro lineal (26 000 plantas ha⁻¹).

La nutrición y el riego se aplicaron diariamente de manera localizada utilizando una solución Steiner (Steiner 1961) modificada al 75 %. Para el manejo de plagas y enfermedades, se emplearon extractos naturales (ajo, chile y naranja) (Corrales *et al.* 2018, Durán *et al.* 2020) y productos químicos (Imidacloprid y captan). Se implementó el tutoreo en sistema “V” o abanico (SERIDA 2014), las plantas se manejaron a un tallo y a los 82 días después del trasplante (DDT) cuando tenían entre 65-70 cm de altura, se realizó una poda (pinch) eliminando el ápice apical y dejando dos brotes laterales para su desarrollo. También se llevó a cabo el deshoje continuo del tallo principal para eliminar hojas senescentes. Se utilizó una colmena de abejorros (*Bombus ephippiatus*) de la empresa Biobest para la polinización. Al finalizar la producción, después de 217 DDT, se realizó una poda dejando solamente los primeros 10 a 15 cm de cada brote.

Tratamientos y Análisis Estadístico

La investigación se llevó a cabo mediante un diseño estadístico de bloques completamente al azar con un arreglo factorial 4x3. En este diseño, el primer factor correspondió a los biorreguladores, mientras que el segundo factor fue el número de aplicaciones (Tabla 2). Esto dio lugar a un total de 13 tratamientos, con cuatro repeticiones por tratamiento, quedando un total de 52 unidades experimentales. Cada unidad experimental consistió en una planta de frambuesa con un tallo bifurcado en dos brotes laterales. Los resultados fueron analizados mediante el método de análisis de varianza (ANVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Para llevar a cabo este análisis, se empleó el software "The SAS System for Windows" en su versión 9.0.

Aplicación de Tratamientos

La primera aplicación de tratamientos tuvo lugar un día después de realizar la poda (DDP), la segunda aplicación se llevó a cabo cuando todas las plantas presentaron las primeras flores (48 DDP) y la tercera aplicación se programó una semana antes de iniciar la cosecha (70 DDP). Todas las aplicaciones fueron realizadas de manera foliar con un atomizador manual, asegurando una

cobertura completa del follaje. Estas aplicaciones se llevaron a cabo en un horario comprendido entre las 8:00 y las 10:00 h.

Tabla 2. Descripción de tratamientos evaluados en frambuesa cv. UANC-2022.

Hormonas	Número de aplicaciones			Simbología
	1	2	3	
Prohexadiona de Calcio	100 ppm	---	---	P-Ca1
Prohexadiona de Calcio	100 ppm	25 ppm	---	P-Ca2
Prohexadiona de Calcio	100 ppm	25 ppm	25 ppm	P-Ca3
Giberelina_{4/7}	100 ppm	---	---	GA1
Giberelina_{4/7}	100 ppm	25 ppm	---	GA2
Giberelina_{4/7}	100 ppm	25 ppm	25 ppm	GA3
6-Bencilaminopurina	100 ppm	---	---	6-BAP1
6-Bencilaminopurina	100 ppm	25 ppm	---	6-BAP2
6-Bencilaminopurina	100 ppm	25 ppm	25 ppm	6-BAP3
Giberelina_{4/7} + 6-Bencilaminopurina	100 ppm	---	---	GA+6-BAP1
Giberelina_{4/7} + 6-Bencilaminopurina	100 ppm	25 ppm	---	GA+6-BAP2
Giberelina_{4/7} + 6-Bencilaminopurina	100 ppm	25 ppm	25 ppm	GA+6-BAP3
Control (agua destilada)	---	---	---	Control

Evaluación del Crecimiento Vegetativo

El número de brotes laterales (NBL) se determinó 15 días después de la primera aplicación (16 DDP). El diámetro de brotes (DB) se obtuvo al final del ciclo (215 DDT), la lectura se tomó de la base del brote utilizando un vernier (Stereon HER-411). La tasa de crecimiento de brotes (TCB) se evaluó desde la base del brote hasta el ápice apical con un flexómetro (Foy 5 m 142124), se obtuvieron 10 mediciones desde los 5 hasta los 91 DDT. El número total de hojas (NH) se determinó al final del ciclo. El peso fresco de los brotes (PFB) se obtuvo utilizando una báscula (Rhino BAR-7); mientras que, el peso seco (PSB) se obtuvo después de mantener esos tejidos por 48 h en una estufa MAPSA (HDT-18) a 65° C.

Evaluación de Crecimiento Reproductivo y Rendimiento

El número de inflorescencias por planta (NIP) se determinó al contar las inflorescencias por brote entre 33 y 75 DDP. El número de flores por planta (NFP) fue registrado cada 5 días entre 40 y 85 DDP obteniendo en total 10 evaluaciones. El número de frutos cosechados (NFC) se registró semanalmente.

El porcentaje de frutos cuajados (PFC) se determinó, multiplicando el total de frutos x 100 % y dividiendo entre el número total de flores planta⁻¹.

La producción semanal (PS) fue evaluada mediante el pesaje de los frutos cosechados cada semana, utilizando una báscula (Rhino BACI-5). Para calcular el rendimiento total por planta, se sumaron las lecturas de PS obtenidas a lo largo del periodo de cosecha.

Calidad de Fruto

El contenido de vitamina C (CVC) se determinó utilizando la metodología descrita por Padayatt *et al.* (2001). Se tomaron tres muestras por cada repetición y para expresar los resultados en mg/100 g, se aplicó la siguiente fórmula:

$$mg\ 100\ g^{-1}\ de\ vit\ C\ \frac{(ml\ utilizados\ de\ reactivo\ Thielmann)(0.088)(volumen\ total)(100)}{ml\ de\ alicuota\ valorada\ (g\ de\ muestra)}$$

El contenido de antocianinas (CA) se determinó mediante el método de pH diferencial, según Giusti y Wrolstad (2001), utilizando un espectrofotómetro JENWAY 6320D. Se realizaron tres mediciones por repetición y se expresaron en mg/100 g. Para el contenido de potasio (CK) y sólidos solubles totales (°Brix), se tomaron diez muestras por repetición. Estas muestras se evaluaron durante las semanas dos, tres, cuatro, cinco y seis de producción, contando desde la primera semana de cosecha para cada tratamiento. En cada muestra, se realizó lo siguiente: después de la cosecha, se seleccionaron dos frutos, se maceraron en un mortero hasta obtener todo el jugo. A continuación, con una jeringa, se extrajo el jugo y se depositó en el sensor del medidor portátil (HORIBA LAQUAtwin K-11) para CK y en la celda del refractómetro (ATAGO ATC-1 Brix 0-32 %) para °Brix.

RESULTADOS

Evaluación Crecimiento Vegetativo

El crecimiento vegetativo mostró cambios con la aplicación de biorreguladores (Figura 6, Tabla 3). En el NBL hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) (Tabla 3). GA3 y GA+6-BAP1 causaron mayor NBL, ambos con 7.25 brotes planta⁻¹, mientras que el control produjo un promedio de 4.5 brotes planta⁻¹. La TCB reveló un impacto significativo ($P \leq 0.05$) (Figura 6). Se observó que a partir de los 12 días DDP, los tratamientos P-Ca1, P-Ca2 y P-Ca3 exhibieron una altura menor en comparación con el control.

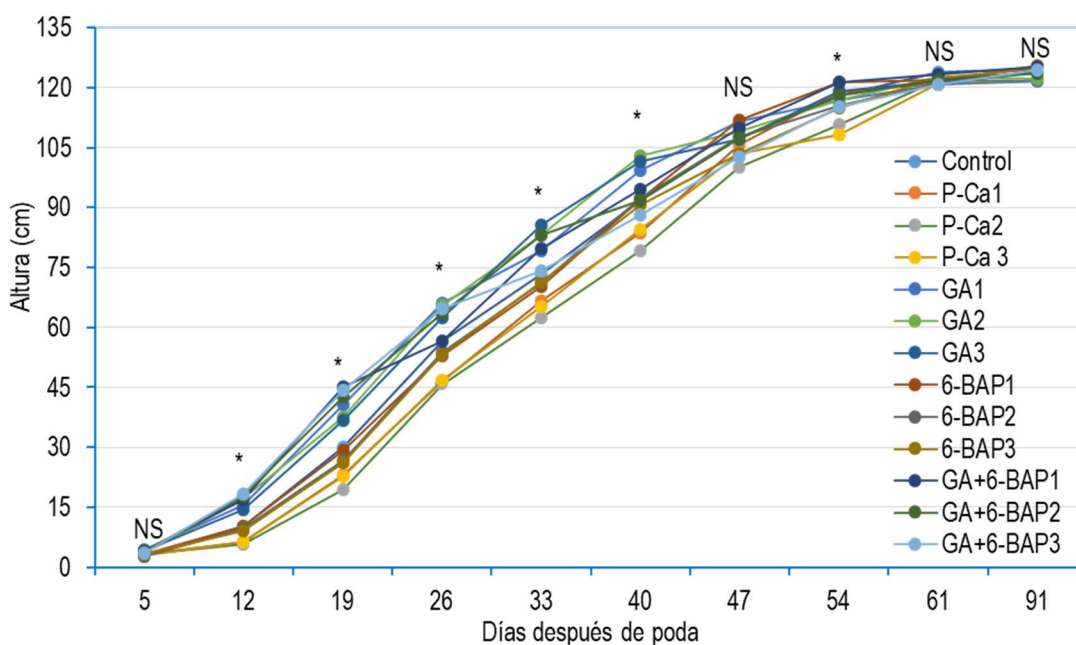


Figura 6. Influencia de biorreguladores sobre la tasa de crecimiento de brotes de frambuesa cv. UANC-2022.

NS: no significativo. *: Diferencia significativa con (Tukey $p \leq 0.05$).

En contraste, los tratamientos con GA_{4/7} (GA1, GA2 y GA3), así como en combinación con 6-BAP (GA+6-BAP1, GA+6-BAP2 y GA+6-BAP3), indujeron una mayor altura en comparación con el control. Las plantas tratadas con P-Ca recuperaron su crecimiento a los 47 DDP, pero volvieron a mostrar el efecto reductor con las aplicaciones posteriores del retardante a los 54 DDP, efecto que desapareció a partir de los 61 DDP ($P \leq 0.05$). En cuanto al DB, la Tabla 3 indica que los tratamientos con P-Ca (P-Ca1, P-Ca2 y P-Ca3) exhibieron los valores

más elevados ($P \leq 0.05$), siendo el tratamiento P-Ca3 el máximo con 11.0 mm, mientras que el control registró un crecimiento de 9.8 mm en diámetro.

El NH experimentó modificaciones significativas ($P \leq 0.05$) con la aplicación de los biorreguladores (Tabla 3). En este aspecto, P-Ca2 generó el mayor número con 56 hojas planta⁻¹, mientras que el grupo de control mostró 51.5 hojas planta⁻¹. Los tratamientos con GA_{4/7} (GA1, GA2 y GA3), así como en combinación con 6-BAP (GA+6-BAP1, GA+6-BAP2 y GA+6-BAP3), presentaron valores menores en cuanto al número de hojas.

En lo que respecta a la variable PFB, no se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) (Tabla 3). Sin embargo, el PSB exhibió variaciones significativas entre los tratamientos ($P \leq 0.05$) (Tabla 3). P-Ca3 demostró el mayor impacto con 156.2 g planta⁻¹, en comparación con el grupo de control que registró un 22.8 % menos que el tratamiento con el retardante (127.2 g planta⁻¹)

Tabla 3. Influencia de la aplicación de biorreguladores sobre parámetros vegetativos de frambuesa cv. UANC-2022.

Tratamientos	NBL (brotes planta ⁻¹)	DB (mm)	NH (hojas planta ⁻¹)	PFB (g planta ⁻¹)	PSB (g planta ⁻¹)
P-Ca1	4.25 ^c	10.5 ^{ab}	55.5 ^{ab}	275.5 ^a	145.6 ^{ab}
P-Ca2	5.25 ^{abc}	10.6 ^{ab}	56.0 ^a	279.5 ^a	144.0 ^{ab}
P-Ca3	4.75 ^{bc}	11.0 ^a	55.2 ^{abc}	279.7 ^a	156.2 ^a
GA1	6.0 ^{abc}	9.06 ^c	48.6 ^{a-d}	258.0 ^a	129.0 ^b
GA2	5.25 ^{abc}	9.07 ^c	46.2 ^d	237.5 ^a	130.2 ^b
GA3	7.25 ^a	9.15 ^c	49.4 ^{a-d}	261.0 ^a	130.6 ^b
6-BAP1	6.0 ^{abc}	9.6 ^{bc}	50.2 ^{a-d}	258.0 ^a	141.6 ^{ab}
6-BAP2	4.5 ^{bc}	9.9 ^{bc}	51.6 ^{a-d}	273.5 ^a	140.4 ^{ab}
6-BAP3	5.75 ^{abc}	9.8 ^{bc}	47.6 ^{bcd}	279.5 ^a	146.4 ^{ab}
GA+6-BAP1	7.25 ^a	9.4 ^{bc}	47.7 ^{bcd}	158.5 ^a	135.4 ^{ab}
GA+6-BAP2	6.75 ^{ab}	9.5 ^{bc}	49.0 ^{a-d}	249.5 ^a	128.4 ^b
GA+6-BAP3	6.0 ^{abc}	9.1 ^c	47.4 ^{cd}	224.5 ^a	127.0 ^b
Control	4.5 ^{bc}	9.8 ^{bc}	51.5 ^{a-d}	196.5 ^a	127.2 ^{ab}
p ≤	<0.0001	<0.0001	0.0008	0.178	<0.0001
CV %	16.21	5.15	6.18	13.48	11.88

NBL: Número de brotes laterales. DB: diámetro de brotes. NH: Número de hojas. PFB: Peso fresco de brotes. PSB: Peso seco de brotes. p ≤: probabilidad del valor de F. CV: Coeficiente de variación. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Evaluación de Crecimiento Reproductivo y Rendimiento

Las hormonas GA_{4/7}, 6-BAP y la combinación de GA_{4/7}+6-BAP en todos los tratamientos anticiparon significativamente ($P \leq 0.05$) la aparición de inflorescencias en 7 días en comparación con el control (Figura 7). Este fenómeno fue notable a los 33 DDP, cuando GA2 presentó el mayor número con 7.75 inflorescencias planta⁻¹, mientras que tanto el control como el tratamiento P-Ca2 mostraron las primeras inflorescencias a los 40 DDP.

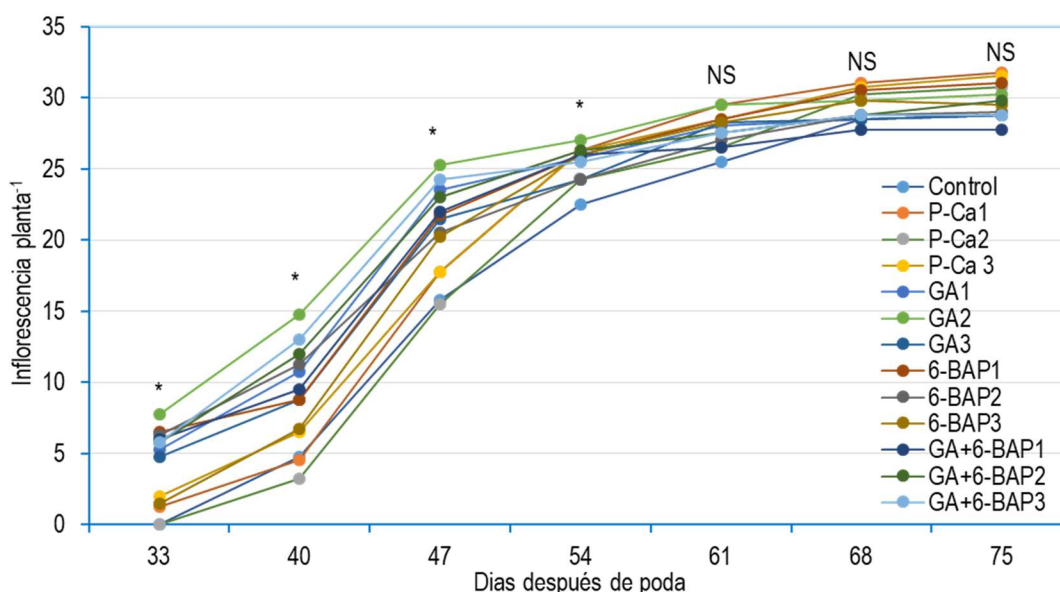


Figura 7. Influencia de biorreguladores sobre el número de inflorescencias en frambuesa cv. UANC-2022.

NS: no significativo. *: Diferencia significativa con (Tukey $p \leq 0.05$).

Los biorreguladores impactaron significativamente ($P \leq 0.05$) tanto en el NFP como en el momento de su diferenciación (Figura 8). Este efecto se manifestó a partir de los 40 DDP, donde el tratamiento GA2 generó el mayor número de flores planta⁻¹ (4.65). En los tratamientos con 6-BAP, las primeras flores se observaron a los 45 DDP, mientras que las plantas tratadas con P-Ca y el grupo de control diferenciaron sus primeras flores hasta los 55 DDP. Al concluir la evaluación de esta variable (85 DDP), el tratamiento GA2 exhibió 154.5 flores planta⁻¹, siendo el tratamiento con el valor más alto, 22.6 % superior al control que presentó solo 126 flores planta⁻¹.

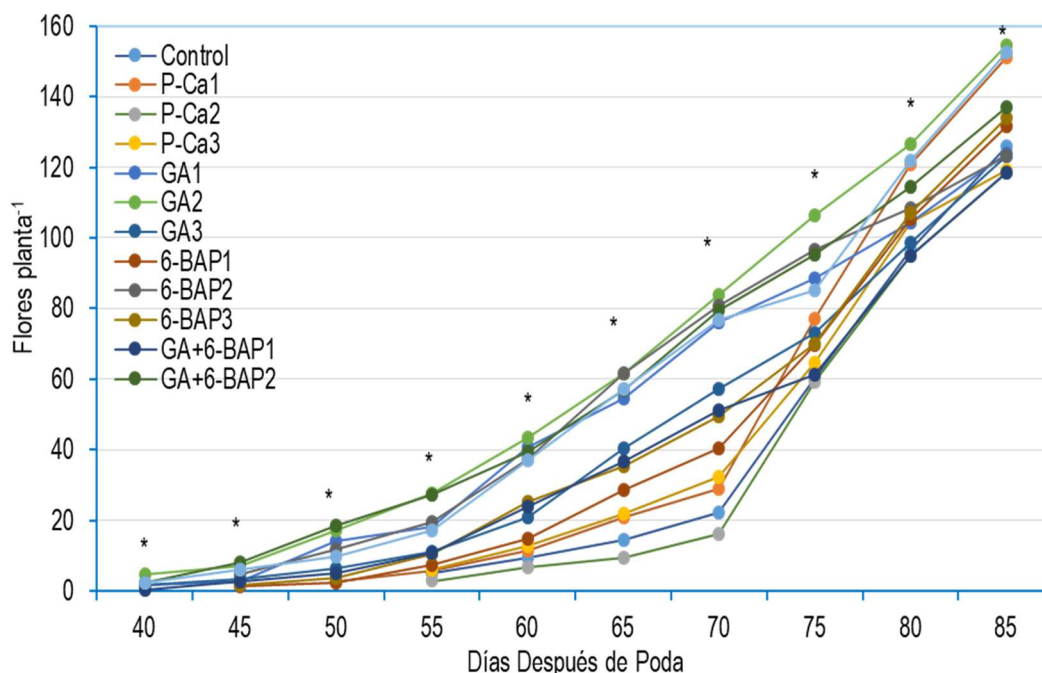


Figura 8. Influencia de biorreguladores sobre el número de flores en frambuesa cv. UANC-2022.

*: Diferencia significativa con (Tukey $p \leq 0.05$).

Los tratamientos tuvieron un impacto significativo ($P \leq 0.05$) tanto en el NFC como en la etapa de cosecha (Figura 9). En la primera semana de cosecha, el tratamiento GA1 se destacó con 12.5 frutos planta⁻¹, mientras que el tratamiento P-Ca1 y el control presentaron los primeros frutos en la semana dos y los tratamientos P-Ca2 y P-Ca3 en la semana tres. A partir de la semana seis, el tratamiento P-Ca1 comenzó a sobresalir con un mayor número de frutos y para la semana nueve fue el mejor al producir un total de 128.4 frutos planta⁻¹, lo que representó un aumento del 16.8 % en comparación con el control que tuvo 109.9 frutos planta⁻¹. El PFC fue mayor en el tratamiento con P-Ca3 ($P \leq 0.05$) (Tabla 4), alcanzando un 96.52 %, mientras que el control mostró solo un 87.24 %.

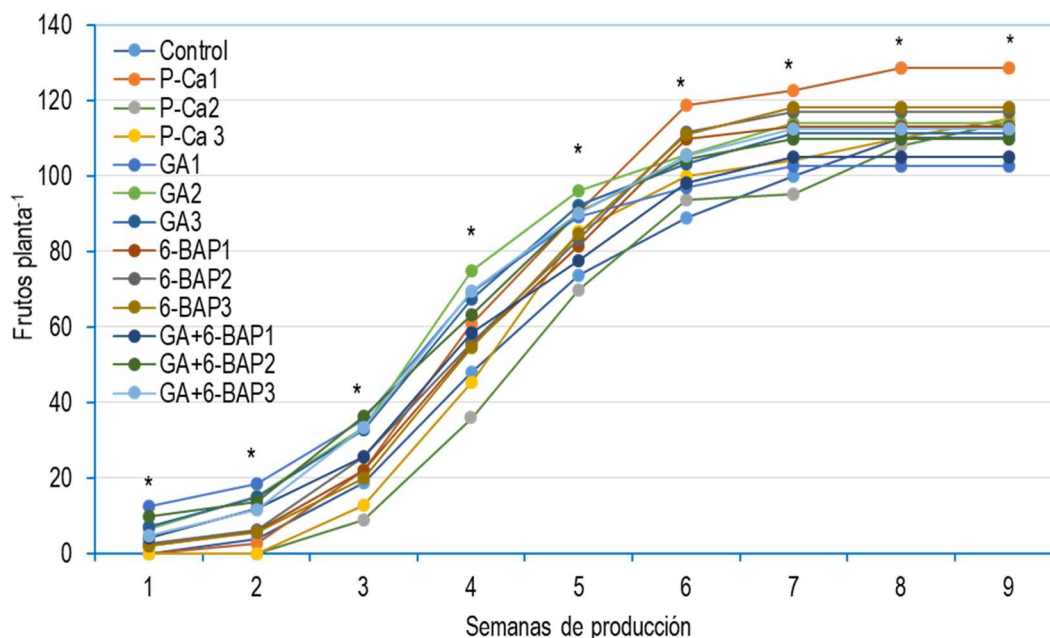


Figura 9. Influencia de biorreguladores sobre el número de frutos cosechados en frambuesa cv. UANC-2022.

*: Diferencia significativa con (Tukey $p \leq 0.05$).

Tabla 4. Influencia de la aplicación de biorreguladores sobre el porcentaje de frutos cuajados y rendimiento de frambuesa cv. UANC-2022.

Tratamientos	PFC (%)	Rendimiento (g planta ⁻¹)
P-Ca1	88.36 ^{a-e}	795.80 ^a
P-Ca2	96.32 ^{ab}	663.46 ^{bc}
P-Ca3	96.52 ^a	705.23 ^{bc}
GA1	82.84 ^{de}	735.42 ^b
GA2	73.94 ^f	731.11 ^b
GA3	90.22 ^{a-d}	752.96 ^{ab}
6-BAP1	85.74 ^{de}	669.87 ^{bc}
6-BAP2	94.84 ^{abc}	687.70 ^{bc}
6-BAP3	88.07 ^{b-e}	731.97 ^b
GA+6-BAP1	88.7 ^{a-d}	685.68 ^{bc}
GA+6-BAP2	80.07 ^f	677.92 ^{bc}
GA+6-BAP3	73.79 ^f	670.16 ^{bc}
Control	87.24 ^{cde}	679.89 ^{bc}
p ≤	0.0001	0.0348
CV %	3.79	7.78

PFC: porcentaje de frutos cuajados. $p \leq$: probabilidad del valor de F. CV: Coeficiente de variación. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

La PS presento diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre los tratamientos. La figura 10 ilustra que GA1 y GA3 iniciaron su producción con 44.23 y 43.87 g planta⁻¹ respectivamente. P-Ca1 y el control mostraron esta fase en la semana dos, mientras que las plantas tratadas con P-Ca2 y P-Ca3 comenzaron la cosecha hasta la semana tres. En la semana siete, se completó la producción para todos los tratamientos que iniciaron la cosecha en la semana uno, mientras que para P-Ca1 y el control, esto ocurrió en la semana ocho. En P-Ca2 y P-Ca3, se completó hasta la semana nueve. El rendimiento total presentó diferencias entre tratamientos ($P \leq 0.05$). P-Ca1 exhibió el mejor rendimiento con 795.8 g planta⁻¹ (Tabla 4) lo que representa un aumento del 17 % en comparación con el control (679.89 g planta⁻¹); mientras que GA3, GA1, 6-BAP, GA2 y P-Ca3 lograron un rendimiento de 10.7, 8.1, 7.6, 7.5 y 3.7 % respectivamente superior al del control (Tabla 4).

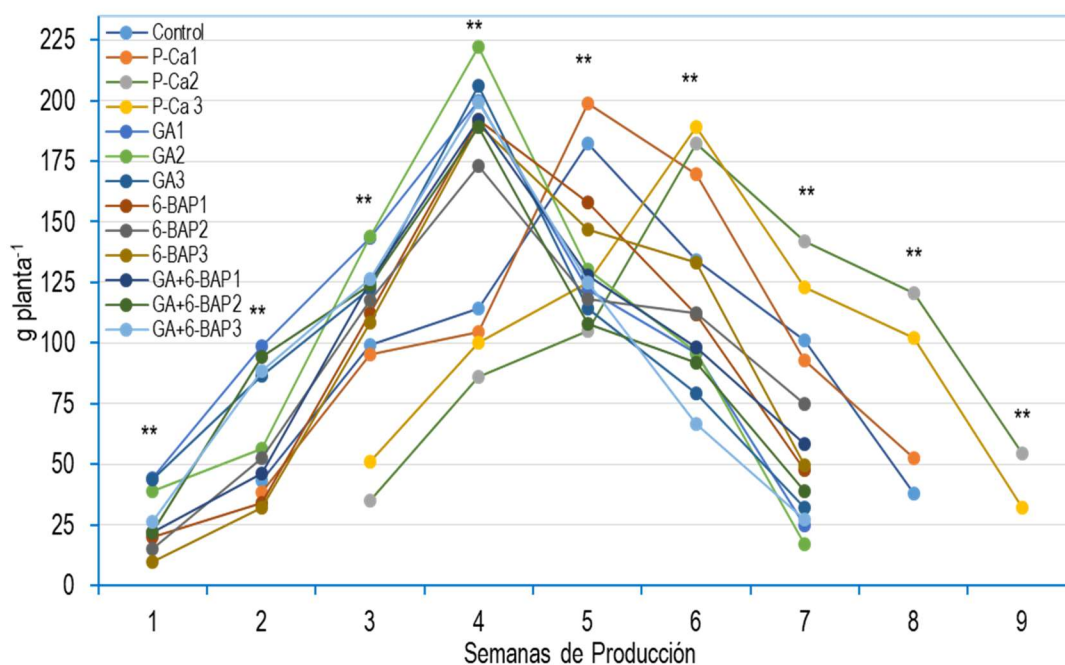


Figura 10. Influencia de biorreguladores sobre producción semanal en frambuesa cv. UANC-2022.

** : Diferencia altamente significativas con (Tukey $p \leq 0.01$).

Calidad de Fruto

El contenido de sólidos solubles totales experimentó cambios bajo la influencia de los biorreguladores (Tabla 5), mostrando diferencias significativas ($P \leq 0.05$). El tratamiento 6-BAP1 destacó con el mayor porcentaje de °Brix, registrando un 11.33 %, seguido por los tratamientos GA2, GA3 y P-Ca3, que presentaron porcentajes de 10.93, 10.75 y 10.64 % respectivamente. En contraste, el control exhibió un valor inferior con 7.45 %. Respecto al CK, también se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P \leq 0.05$) (Tabla 5), siendo 6-BAP1 el tratamiento con el valor más alto, registrando 216.2 mg 100 g⁻¹, superando en un 42.5 % al grupo de control, que presentó un valor de 151.6 mg 100 g⁻¹. Otros tratamientos, como GA+6-BAP3, 6-BAP2 y P-Ca3, también mostraron aumentos significativos del 38.1, 25.8 y 23.8 % respectivamente en comparación con el control.

El CA se vio notablemente afectado por la aplicación de biorreguladores ($P \leq 0.05$) (Tabla 5). Los tratamientos P-Ca3, GA2, GA+6-BAP2 y GA3 exhibieron los valores más altos, superando al control en un 153.5, 124.4, 113.9 y 94.3% respectivamente. El grupo de control presentó un valor de 230.45 mg 100 g⁻¹. En cuanto al CVC, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P \leq 0.05$) (Tabla 5). Los tratamientos GA3 y P-Ca3 mostraron los valores más altos con 54.96 y 54.57 mg 100 g⁻¹ respectivamente. Estos valores representaron un aumento del 21.1 y 20.2 % en comparación con el control, que registró un valor de 45.38 mg 100 g⁻¹.

Tabla 5. influencia de la aplicación de biorreguladores en el comportamiento de calidad de fruto y rendimiento de frambuesa cv UANC-2022.

Tratamientos	°Brix (%)	CVC (mg 100 g ⁻¹)	CA (mg 100 g ⁻¹)	CK (mg 100 g ⁻¹)
P-Ca1	10.07 ^{a-d}	48.9 ^{ab}	251.2 ^d	165.4 ^{bcd}
P-Ca2	7.99 ^{cd}	52.3 ^{ab}	352.6 ^{bcd}	156.9 ^{cd}
P-Ca3	10.64 ^{abc}	54.5 ^a	584.3 ^a	187.7 ^{ab}
GA1	9.28 ^{a-d}	50.9 ^{ab}	398.7 ^{a-d}	143.1 ^{cd}
GA2	10.93 ^{ab}	47.0 ^{ab}	517.2 ^{ab}	180.0 ^{abc}
GA3	10.75 ^{abc}	54.9 ^a	447.8 ^{abc}	182.5 ^{abc}
6-BAP1	11.33 ^a	50.9 ^{ab}	399.0 ^{a-d}	216.2 ^a
6-BAP2	9.80 ^{a-d}	49.0 ^{ab}	388.2 ^{bcd}	190.8 ^{ab}
6-BAP3	9.75 ^{a-d}	48.7 ^{ab}	295.7 ^{cd}	163.3 ^{bcd}
GA+6-BAP1	8.20 ^{abc}	48.5 ^{ab}	337.3 ^{bcd}	140.7 ^d
GA+6-BAP2	9.32 ^{a-d}	49.4 ^{ab}	492.6 ^{a-d}	145.8 ^{cd}
A+6-BAP3	10.19 ^{a-d}	49.1 ^{ab}	409.6 ^{a-d}	209.5 ^{ab}
Control	7.4 ^d	45.3 ^b	230.4 ^d	151.6 ^{cd}
p ≤	<0.0001	0.0091	<0.0001	0.0013
CV %	12.0	7.52	20.19	13.36

CVC: Contenido de vitamina C. CA: Contenido de antocianinas. CK: Contenido de potasio. p ≤: probabilidad del valor de F. CV: Coeficiente de variación. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales con base a prueba de Tukey (P ≤ 0.05).

DISCUSIÓN

Evaluación Crecimiento Vegetativo

La aplicación de biorreguladores generó cambios notables en el crecimiento vegetativo. Los promotores presentaron un mayor NBL (Tabla 3), este resultado se atribuye principalmente a las funciones fisiológicas de GAs y Cyt, que estimulan la brotación lateral y su elongación, propiedades que también contribuyeron a un aumento en la TCB (Figura 6). La explicación a ello radica en la participación activa de los GAs en la división y alargamiento celular, debido a que estas hormonas activan enzimas que intervienen en la interfase celular, acelerando la transición de la fase G1 a la S (Serrani *et al.* 2007, Wu *et al.* 2023). Además, los GAs mejoran la elasticidad de la pared celular, lo que, en consecuencia, promueve el crecimiento longitudinal de las plantas, según lo descrito por Taiz *et al.* (2017).

En diversas investigaciones previas han obtenido resultados similares con el uso de GAs y Cyt, tal es el caso de Juárez *et al.* (2023) quienes reportan una mayor longitud del tallo en plantas de maíz con aplicaciones exógenas de GAs, Iglesias y Talón (2008) en caña de azúcar encontraron que GAs aumenta el crecimiento del tallo y la biomasa, por otro lado, en kiwi Vattiprolu *et al.* (2011) con aplicaciones de GA₃+GA_{4/7} aumentaron el número y la longitud de brotes laterales, con los resultados obtenidos y las citas mencionadas se afirma lo que argumentan Kalra y Bhatla (2018b) que la aplicación exógena de GAs promueve la brotación, el alargamiento longitudinal y por ende la biomasa en diferentes especies de plantas.

Por otra parte, P-Ca redujo temporalmente la TCB (Figura 6), al disminuir el crecimiento primario es posible que los asimilados que estaban destinados para ello, se hayan conducido a la formación de otros órganos y/o al crecimiento secundario, en este caso se reflejó en el incremento del DB, NH y PSB (Tabla 3). Es importante señalar que el crecimiento secundario se caracteriza por el engrosamiento del tallo, promoviendo la formación de tejidos conductores, esto a su vez, favorece la conducción más eficiente de agua y minerales desde la raíz

hacia la parte aérea de la planta (Santos *et al.* 2010, Njiti *et al.* 2013, Patiño-Torres y Jaimez 2016).

La disminución en el crecimiento atribuida a P-Ca (Figura 6), ha sido explicada por Evans *et al.* (1999), según estos autores, este retardante actúa inhibiendo la síntesis de giberelinas endógenas activas al comportarse como un imitador de la estructura química del 2-oxoglutarato. De este modo, bloquea la formación de la dioxigenasa 3 β -hidroxilasa, la cual cataliza hidroxilaciones en la posición 3 β de las Giberelinas (GAs) sin actividad biológica, impidiendo su transformación en GAs biológicamente activas. Esto conduce a una compactación de las plantas, un fenómeno respaldado por investigaciones anteriores. En estudios realizados en tomate saladette y chile pimiento, Ramírez *et al.* (2008) reportaron que las plantas tratadas con P-Ca contenían GAs biológicamente inactivas (GA₂₀ y GA₅₃), mientras que las plantas del control presentaban GAs con actividad biológica (GA₁, GA₄ y GA₇). Un patrón similar se observó en el chile jalapeño (Ramírez *et al.* 2015), donde las aplicaciones de P-Ca inhibieron la síntesis de GAs biológicamente activas en los ápices de las plantas.

La modificación de la arquitectura de frambuesa con el uso de P-Ca (Tabla 3 y Figura 6) concuerda con trabajos similares en hortalizas como okra (Ilias *et al.* 2007), chile mirador (Ramírez *et al.* 2010), tomate (Ramírez *et al.* 2012), camote (Njiti *et al.* 2013), chile habanero (Ramírez *et al.* 2016b), chile jalapeño (Ramírez *et al.* 2015), en donde P-Ca ha reducido el crecimiento longitudinal de tallos y brotes y; ha incrementado el diámetro de tallo, número de hojas, número de brotes y biomasa total. En árboles frutales de igual manera el crecimiento vegetativo se ha visto modificado bajo la influencia de P-Ca, tal es el caso de maracuyá (Áñez y España 2011), peral (Einhorn *et al.* 2014), cerezo (Cline 2016), mango (Pérez *et al.* 2016) y manzano (Szot *et al.* 2016).

La restauración del crecimiento se justifica con lo que mencionan Ramírez *et al.* (2010), el uso de biorreguladores tiene como beneficio causar modificaciones en la fisiología, pero el efecto no es permanente. P-Ca tiene una vida de 10 a 15

días, por lo tanto, el bloqueo de la síntesis de giberelinas es temporal (Evans *et al.* 1999).

Evaluación de Crecimiento Reproductivo y Rendimiento

La frambuesa mostró cambios en su crecimiento reproductivo y rendimiento tras la aplicación de promotores y el retardante de crecimiento (Figuras 7-10 y Tabla 4). GA_{4/7} y 6-BAP, independientemente del número de aplicaciones, adelantaron la diferenciación de inflorescencias (Figura 7) y a su vez también provocaron una floración temprana (Figura 8). Este fenómeno puede atribuirse a que la transición de la fase vegetativa a la reproductiva está genéticamente determinada en cada especie. Sin embargo, la expresión de genes específicos que desencadenan el inicio de la fase reproductiva puede ser influenciada por diversos factores externos e internos, incluyendo las hormonas (Sisodia y Bhatla, 2018). Es relevante destacar que las frambuesas emiten inflorescencias a partir de las yemas axilares. Un aspecto crucial es la capacidad de las Cyt para estimular la brotación axilar. Por lo tanto, estos resultados sugieren un efecto promotor en la formación temprana de inflorescencias y flores en frambuesas con la aplicación exógena de GAs y Cyt (Figura 7 y 8) (Taiz *et al.* 2017, INTA 2023).

GA₄ en conjunto con GA₇ se emplean en la agricultura para inducir la floración temprana en algunos cultivos. Sin embargo, es importante destacar que este efecto no puede generalizarse a todas las especies (Iglesias y Talón, 2008). Un ejemplo es en el cultivo de arándano, donde Lindberg *et al.* (2014) reportaron que la aplicación de GAs durante la etapa juvenil inhibió la formación de yemas florales. Cabe señalar que el impacto de cualquier tipo de biorregulador está condicionado por diversos factores como dosis, etapa fisiológica, absorción, translocación, asimilación, capacidad de respuesta y el perfil genético de cada especie (Rademacher y Bucci, 2000).

Además de adelantar la floración, la aplicación de GA_{4/7} y 6-BAP también se asoció con un notable aumento en el número de flores (Figura 8). Este impacto podría atribuirse a la capacidad de las GAs y las Cyt para estimular la expresión

de genes relacionados con la identidad floral (Eriksson *et al.* 2006). Estas hormonas desempeñan un papel esencial en el desarrollo normal de las flores, al mismo tiempo que impulsan procesos clave como la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico (Boss y Thomas, 2002).

Los promotores permitieron adelantar la cosecha una semana (Figura 10), además, los tratamientos 6-BAP3, GA3, 6-BAP2 y GA2 demostraron un aumento en el rendimiento de frambuesa (Tabla 4). Estos resultados permitieron concentrar toda la producción en los meses de agosto y septiembre. De acuerdo con el SIAP-SADER (2022), la participación de la producción nacional en los meses de julio, agosto y septiembre es del 2.1 %, 2.2 % y 1.8 % respectivamente. Este patrón beneficia tanto al mercado nacional como a las exportaciones, ya que permite alcanzar los mejores precios, beneficiando a los productores.

El empleo de GAs y Cyt ha sido documentado en diversos cultivos, abarcando hortalizas, frutales y ornamentales, con efectos similares a los observados en esta investigación. En el caso de la fresa, Viasus-Quintero *et al.* (2013) reportaron un aumento tanto en el número de flores como en el rendimiento al aplicar GA en combinación con Cyt. En mango, según Pérez-Barraza *et al.* (2008), la aplicación exógena de GAs puede tener efectos diversos, como la inhibición, el retraso o el adelanto de la floración, dependiendo del momento de la aplicación. En chile jalapeño, Pichardo-González *et al.* (2018) observaron un incremento en el rendimiento al aplicar 50 ppm de GAs, mientras que en papa, Lizarazo-Peña *et al.* (2020) encontraron que las GAs favorecieron la brotación lateral. En *Solidago X luteus* según Flórez *et al.* (2008), las GAs estimularon la formación floral, mientras que las Cyt aceleraron la antesis.

Una aplicación del retardante (P-Ca1) favoreció tanto la floración como el rendimiento (Figura 8 y Tabla 4), mientras que, con dos y tres aplicaciones (P-Ca2 y P-Ca3), se estimuló un mayor PFC (Tabla 4) y se observó un retraso de una semana en la cosecha (Figura 10). Rademacher *et al.* (2006) señalan que uno de los efectos secundarios de P-Ca en el metabolismo de las plantas es la reducción de la síntesis de etileno, lo que puede disminuir la caída de flores y

frutos, resultando en un mayor cuajado de frutos. Además, este retardante puede influir en enzimas relacionadas con la síntesis de otras hormonas endógenas como las Cyt lo que podría explicar el aumento en el número de flores (Figura 8) (Rademacher *et al.* 2006, Ramírez *et al.* 2015).

Es importante destacar que el P-Ca tiene una vida corta dentro de la planta (Evans *et al.* 1999), por lo que la etapa fenológica y la dosis de las aplicaciones son cruciales para lograr los resultados agronómicos deseados (Kavalier *et al.* 2011). Además, la parte de la planta tratada es esencial, ya que este retardante se transloca principalmente de manera acropétala y el efecto reductor solo se evidenciará en el sitio tratado (Evans *et al.* 1999).

En chile habanero con dosis de 150 ppm provocó un mayor número de frutos y con dos aplicaciones de 50 ppm se estimuló mayor número de flores (Ramírez *et al.* 2016b), en Chile mirador, incremento el número de flores, hubo un mayor porcentaje de frutos cuajados y un mayor rendimiento (Ramírez *et al.* 2010), algo similar ocurrió en chile jalapeño (Ramírez *et al.* 2015). En maracuyá el retardante aumentó el número de botones florales (Áñez y España, 2011) y en pera incrementó el porcentaje de frutos cuajados y mayor rendimiento (Einhorn *et al.* 2014).

En otros cultivos, como el chile habanero, se ha observado que dosis de 150 ppm provocaron un mayor número de frutos y con dos aplicaciones de 50 ppm se estimuló un mayor número de flores (Ramírez *et al.* 2016b). En el caso del chile mirador (Ramírez *et al.* 2010) se incrementó el número de flores, se observó un mayor porcentaje de frutos cuajados y un mayor rendimiento, fenómenos similares se registraron en el chile jalapeño (Ramírez *et al.* 2015). En maracuyá, el retardante aumentó el número de botones florales (Áñez y España, 2011), y en pera (Einhorn *et al.* 2014) se incrementó el porcentaje de frutos cuajados y el rendimiento.

Calidad de Fruto

El empleo de biorreguladores ha tenido un impacto significativo en la calidad de los frutos, particularmente en el CVC se observó un aumento notable con tres aplicaciones de P-Ca (P-Ca3) y tres aplicaciones de GAs (GA3) (Tabla 5). La vitamina C es muy abundante en las plantas, desempeña diversas funciones fundamentales, actúa como defensa ante radicales libres, radiación ultravioleta y ataques de patógenos, así mismo, contribuye a la optimización de la fotosíntesis y a los procesos de crecimiento y desarrollo (Rosales y Arias 2015). Esta multifuncionalidad destaca la importancia de la vitamina C en las interacciones planta-ambiente, consolidando su papel esencial en diversos procesos fisiológicos y metabólicos de las plantas.

El aumento del contenido de vitamina C en frutos mediante el uso de P-Ca (Tabla 5) se justifica por su capacidad para inhibir la biosíntesis de la enzima ACC-oxidasa. Al bloquear esta enzima, se reduce la producción de etileno, lo que favorece la estabilidad de la vitamina C al disminuir su degradación. La inhibición de la ACC-oxidasa también conduce a la acumulación de vitamina C en los tejidos de las plantas, incluyendo los frutos. Este fenómeno podría explicar el aumento registrado en el CVC con la aplicación del retardante (Tabla 5) (Rademacher y Bucci 2000, Rademacher *et al.* 2006).

La frambuesa roja tiene gran capacidad antioxidante, las antocianinas son de los principales fitoquímicos que tienen esta cualidad, el 75 % de los antioxidantes presentes son antocianinas y elagínicos (Teng *et al.* 2017). La aplicación de biorreguladores provocó un incremento del contenido de antocianinas en los frutos de frambuesa (Tabla 5). Las antocianinas son compuestos fenólicos que se pueden encontrar en diferentes tejidos de las plantas y se les atribuye los colores rojo, azul y violeta, además, ayudan a tolerar el estrés por frío, radiación ultravioleta o ataques de patógenos (Del Valle *et al.* 2005, Peña-Valera *et al.* 2006, Aguilera-Ortíz *et al.* 2011). El contenido de antioxidantes en los frutos de frambuesa es favorable tanto de la parte vegetal como del consumidor, debido a las funciones de protección de estrés biótico y abiótico (Manganarisa *et al.* 2013).

La aplicación de los tres biorreguladores utilizados han demostrado un marcado aumento en el contenido de °Brix en los frutos de frambuesa (Tabla 5). Este incremento se encuentra estrechamente vinculado a la presencia de azúcares, los cuales están asociados a las antocianidinas presentes en las berries (Renai *et al.* 2021). La medición de °Brix se ha revelado como un indicador cuantitativo importante del contenido de azúcares en las frambuesas y otros frutos, siendo incrementado con la aplicación de GAs, 6-BAP y P-Ca (Tabla 5). Este suceso puede atribuirse a la capacidad de estas sustancias para estimular el aumento de azúcares específicos relacionados con las antocianidinas. Esta asociación entre la aplicación de estos biorreguladores y el aumento en °Brix, se traduce directamente en una mejora en la dulzura de las frambuesas, obteniendo una mejor calidad sensorial de la fruta (Montaño y Méndez 2009).

El CK en los frutos también experimentó un incremento notable con la aplicación de 6-BAP1, 6-BAP2 y la combinación GA+6-BAP3 (Tabla 5). Referente a estos resultados, los biorreguladores desempeñan un papel fundamental al facilitar una mayor translocación, asimilación y acumulación de nutrientes en los tejidos de las plantas (Navarro-León *et al.* en 2016), esta interacción es especialmente significativa dada la estrecha relación y sinergia entre las hormonas endógenas y los nutrientes en las plantas. Tanto la síntesis de hormonas como sus efectos están influenciadas por la presencia o ausencia de nutrientes, y a su vez, las hormonas regulan el contenido de nutrientes en la planta mediante la homeostasis. Esto puede justificar el incremento observado en el contenido de potasio en los frutos de frambuesa (Tabla 5) (Ayub *et al.* en 2021).

Factores como el genotipo, las condiciones ambientales y la nutrición también inciden en la calidad fotoquímica de los frutos. En este contexto, Lester *et al.* en 2010 destacan que el potasio (K) emerge como el mineral con mayor influencia, ya que no solo incrementa la composición fenólica y la capacidad antioxidante, sino que también se vincula directamente con la turgencia de la planta. El potasio mantiene el potencial osmótico de las células, estimula la síntesis de enzimas y diversos procesos metabólicos, y está asociado al contenido de azúcares en el

fruto, según lo señala Demiral y Köseoglu en 2005. El aumento del CK en el fruto también podría haber influido en el incremento del CVC, CA y °Brix, como se evidencia en la Tabla 5. Esto sugiere una posible relación entre el mayor contenido de potasio y mejoras sustanciales en la calidad y características nutricionales del fruto, cabe señalar que la importancia del potasio no solo como un nutriente esencial para el crecimiento de la planta, sino también como un factor clave que influye en la calidad nutricional y sensorial de los frutos.

Por otra parte, el incremento observado en el CVC, CA, CK y °Brix con tres aplicaciones de P-Ca (Tabla 5), podría atribuirse como un efecto secundario de su función reductora del crecimiento vegetativo. Este proceso podría estar redirigiendo los fotosintatos hacia la raíz, generando un aumento en la formación del sistema radicular. Un caso similar se ha reportado en camote, donde la aplicación de 810 mg L⁻¹ de P-Ca inhibió el crecimiento vegetativo y como consecuencia, se presentó un incremento del rendimiento de la raíz (Njiti *et al.* 2013).

Un mayor sistema radicular no solo facilita una mayor absorción de agua y nutrientes, sino que también ayuda a la síntesis y translocación de hormonas. Este proceso es esencial ya que el meristemo apical de la raíz es un sitio clave de biosíntesis de Cyt y en su gran mayoría posteriormente son translocadas vía xilema hacia la parte aérea de la planta (Kalra y Bhatla 2018a). Al promover una mayor translocación de agua, minerales y otros compuestos hacia la parte aérea, es probable que exista una mayor acumulación de nutrientes en los diferentes órganos de las plantas, así mismo, puede estimular una mayor formación de moléculas implicadas en los bioactivos de los frutos (Santos *et al.* 2010). El aumento potencial en la acumulación de potasio y en la formación de compuestos fitoquímicos podría contribuir significativamente a mejorar la calidad de los frutos, como se evidenció en este estudio a través del incremento de CVC, CA, CK y °Brix en frutos de frambuesa (Tabla 5).

En investigaciones previas, se ha demostrado que P-Ca, GAs y Cyt provocan incrementos significativos en el contenido de fitoquímicos en diversos cultivos

hortofrutícolas. Por ejemplo, en chile habanero, la aplicación de 150 mg L⁻¹ de P-Ca incrementó el contenido de capsaicina, carotenoides totales y vitamina C (Ramírez *et al.* 2016b). En chile Jalapeño, se observó un aumento en el contenido de luteína, capsaicina, carotenos totales y vitamina C con la aplicación de P-Ca (Ramírez *et al.* 2015). En vid, la aplicación de P-Ca favoreció la producción de monoterpenos, polifenoles y antocianinas (Kok *et al.* 2013, Kok y Bal 2014). La influencia de P-Ca en el contenido de potasio en frutos no se ha reportado previamente en ningún cultivo, un estudio en tomate señaló el aumento de potasio en las hojas y nitrógeno y calcio en los frutos con aplicaciones de 50 mg L⁻¹ de P-Ca y 6-BAP (Ramírez *et al.* 2018).

En cuanto a las GAs, en investigaciones previas se ha presentado un aumento en el porcentaje de acidez en maracuyá (Paya *et al.* 2021). La combinación de 100 mg L⁻¹ de GA_{4/7} con 50 mg L⁻¹ de 6-BAP incrementó el contenido de vitamina C y licopeno en frutos de tomate (Ramírez *et al.* 2018). En *Campsicum annum*, la aplicación de BAP aumentó el contenido de capsaicina y vitamina C (Shams *et al.* 2018). Además, en chile habanero negro, la aplicación foliar de un complejo hormonal a base de citocininas incrementó el contenido de alcaloides en los frutos (Tapia-Vargas *et al.* 2016).

Los biorreguladores desempeñan un papel importante al facilitar la translocación, asimilación y acumulación de nutrientes en las plantas, contribuyendo significativamente a mejorar aspectos fisiológicos y metabólicos de la planta. La aplicación de biorreguladores como las GAs, Cyt y P-Ca han presentado una asociación en diversos procesos fisiológicos, desde la etapa vegetativa hasta la calidad del fruto. Por ello, con los trabajos anteriormente citados y los resultados de esta investigación, se demuestra que la aplicación de biorreguladores puede ser una estrategia efectiva para mejorar el crecimiento vegetativo, reproductivo y el contenido de bioactivos en los frutos de frambuesa roja.

CONCLUSIONES

En base a los biorreguladores y dosis utilizadas y bajo las condiciones en que se realizó esta investigación en frambuesa cv. UANC-2022 se concluye lo siguiente:

- Prohexadiona de calcio reduce la tasa de crecimiento temporalmente, estimula diámetro de brotes, número de hojas, peso seco; incrementa número de flores, número de frutos cosechados y rendimiento. P-Ca con dos o tres aplicaciones retrasa una semana la cosecha. En calidad de fruto P-Ca con tres aplicaciones incrementa contenido de vitamina C, antocianinas, potasio y °Brix.
- GA_{4/7} aumenta el número de brotes laterales y la tasa de crecimiento. Con dos aplicaciones incrementa el número de flores, reducen el porcentaje de frutos cuajados, mejora rendimiento y adelanta cosecha. Referente a la calidad de fruto GA_{4/7} aumenta contenido de Vitamina C, antocianinas y °Brix.
- 6-BAP provoca un mayor número de brotes laterales. Con tres aplicaciones incrementa el número de flores, anticipa formación de inflorescencias y cosecha. Además 6-BAP favorece contenido de potasio y °Brix en fruto.
- La combinación de GA_{4/7}+6-BAP aumenta la tasa de crecimiento en las primeras semanas y favorece la brotación lateral. Con tres aplicaciones aumenta el número de flores y reduce el porcentaje de frutos cuajados, además, adelantan una semana la floración y cosecha. En cuanto a calidad de fruto GA_{4/7}+6-BAP incrementa contenido de potasio y °Brix.

REFERENCIAS

- Aguilera-Ortíz M, Reza-Vargas MC, Chew-Madinaveita RG, Meza-Velázquez JA (2011) Propiedades funcionales de las antocianinas. *Biotecnia* 13: 16–22. DOI: 10.18633/bt.v13i2.81.
- Alcántara CJ, Acero GJ, Alcántara CJ, Sánchez MR (2019) Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *Nova* 32: 109-129. DOI: 10.25058/24629448.3639.
- Áñez QM, España MR (2011) Efecto de prohexadiona de calcio y boro sobre variables vegetativas y reproductivas en parchita (*Passiflora edulis f. flavicarpa* Degener). *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología* 29: 54-58.
- Ayub MA, Ahmad Z, Umar W, Farooqi ZR, Waris AA, Fatima H, *et al.* (2021) Accumulation, partitioning, and bioavailability of micronutrients in plants and their crosstalk with phytohormones. In: *Plant Growth Regulators* (ed) Springer, Cham. pp: 39-73. DOI: 10.1007/978-3-030-61153-8_2.
- Bañados OM (2015) Cultivo de frambuesas y frutillas en Chile. Facultad de Agronomía de la Pontificia Universidad Católica de Chile para el Instituto de Desarrollo Agropecuario. Ministerio de Agricultura. Chile. pp: 204.
- Bhatla SC (2018a) Plant growth regulators: An overview. In: *Plant Physiology, Development and Metabolism*, (ed) Springer, Singapore. pp: 559-568. DOI: 10.1007/978-981-13-2023-1_14.
- Bhatla SC (2018b) Ethylene. In: *Plant Physiology, Development and Metabolism*, (ed) Springer, Singapore. pp: 443-461. DOI: 10.1007/978-981-13-2023-1_19.
- Boss PK, Thomas MR (2002) Association of dwarfism and floral induction with a grape 'green revolution' mutation. *Nature* 416: 847–850. DOI: 10.1038/416847a.
- Cabeza RA, Claassen N (2017) Sistemas radicales de cultivos: extensión, distribución y crecimiento. *Agro Sur* 45: 31-45. DOI: 10.4206/agrosur.2017.v45n2-04.
- Cheng ZJ, Shang B, Zhang XS, Hu Y (2017) Plant hormones and stem cells. In: *Hormone Metabolism and Signaling in Plants*, (ed) Academic Press, London. pp: 405-429. DOI: 10.1016/B978-0-12-811562-6.00012-8.
- Chu J, Fang S, Xin P, Guo Z, Chen Y (2017) Quantitative analysis of plant hormones based on LC-MS/MS. In: *Hormone Metabolism and Signaling in Plants*, (ed) Academic Press, London. pp. 471-537 DOI: 10.1016/B978-0-12-811562-6.00014-1.

- Cline JA (2017) Prohexadione-Ca and ethephon suppress shoot growth of sweet cherry [*Prunus avium* (L.) L.]. Canadian Journal of Plant Science. 97: 601-609. DOI: 10.1139/cjps-2016-0271.
- Coelho LL, Fkiara A, Mackenzie KK, Müller R, Lütken H (2018) Exogenous Application of Gibberellic Acid Improves Flowering in *Kalanchoë*. HortScience 53: 342-346. DOI: 10.21273/HORTSCI12720-17.
- Corrales CJ, Rodríguez AA Villalobos MK, Hernández VS, Alvarado RO (2018) Evaluación de tres extractos naturales contra Bemisia tabaci en el cultivo del melón, Puntarenas, Costa Rica. Agronomía Costarricense 42: 93-106. DOI: 10.15517/rac.v42i2.33781.
- Del Valle L, Graciela GL, Alberto BSR (2005) Antocianinas en uva (*Vitis vinifera* L.) y su relación con el color. Revista Fitotecnia Mexicana 28: 359-368.
- Demiral MA, Köseoglu AT (2005) Effect of Potassium on Yield, Fruit Quality, and Chemical Composition of Greenhouse-Grown Galia Melon. Journal of Plant Nutrition 28: 93-100 DOI: 10.1081/PLN-200042179.
- Di Benedetto A, Tognetti J (2016) Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. Revista de Investigaciones Agropecuarias 42: 258-282.
- Durán ACE, Pratissoli D, Carvalho JR, Pacheco DAI, Araujo JLM, Bolsoni ZH (2020) Actividad insecticida de aceites esenciales sobre *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). Idesia (Arica) 38: 59-64. DOI: 10.4067/S0718-34292020000400059.
- Einhorn TC, Pasa MS, Turner J (2014) 'D'Anjou' Pear Shoot Growth and Return Bloom, but Not Fruit Size, Are Reduced by Prohexadione-Calcium. HortScience 49: 180-187. DOI: 10.21273/HORTSCI.49.2.180.
- Eriksson S, Bohlenius H, Moritz T, Nilsson O (2006) GA₄ is the active gibberellin in the regulation of leafy transcription on Arabidopsis floral initiation. Plant Cell 18: 2172–2181. DOI: 10.1105/tpc.106.042317.
- Eriksson S, Bohlenius H, Moritz T, Nilsson O (2006) GA₄ is the active gibberellin in the regulation of LEAFY transcription and Arabidopsis floral initiation. Plant Cell 18: 2172–2181. DOI: 10.1105/tpc.106.042317.
- Evans JR, Evans RR, Regusci CL, Rademacher W (1999) Mode of Action, Metabolism, and Uptake of BAS 125W, Prohexadione-calcium. HortScience 34: 1200-1201. DOI: 10.21273/HORTSCI.34.7.1200.

- FAO (2021) FAOSTAT. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/>. Fecha de consulta 10 de julio de 2023.
- Feng J, Shi Y, Yang S, Zuo J (2017) Cytokinins. In: Hormone Metabolism and Signaling in Plants, (ed) Academic Press, London. pp: 77-106 DOI: 10.1016/B978-0-12-811562-6.00003-7.
- Flórez VJ y Aleixo PMF (2008) Las citoquininas están asociadas al desarrollo floral de plantas de *Solidago x luteus* en días cortos. Agronomía Colombiana 26: 226–236.
- Gallego GLM (2008) Efecto de la sobreexpresión y del silenciamiento de genes del metabolismo de giberelinas sobre el desarrollo de Tabaco. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia. pp: 114.
- Gao X, Zhang Y, He Z, Fu X (2017) Gibberellins. In: Li J, Li C, Smith SM (eds) Hormone metabolism and signaling in plants. Academic Press, San Diego, pp 39–76.
- Giusti MM, Wrolstad RE (2001) Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. Current Protocols Food Analytical Chemistry 1: F1.2.1-F.2.13. DOI: 10.1002/0471142913.faf0102s00.
- González AD, Álvarez HU, Lima OR (2018) Acumulación de biomasa fresca y materia seca por planta en el cultivo intercalado caupí - sorgo. Centro Agrícola 45: 77-82.
- Hedden P, Phillips AL, Rojas MC, Carrera E, Tudzynski B (2002) Gibberellin biosynthesis in plants and fungi: A case of convergent evolution? Jurnal Plant Growth Regulators 20: 319-331. DOI: 10.1007/s003440010037.
- Hummer KE (2010) Rubus Pharmacology: Antiquity to the Present. HortScience 45: 1587-1591. DOI: 10.21273/HORTSCI.45.11.1587.
- Iglesias DJ, Talón M (2008) Giberelinas. En: Fundamentos de Fisiología Vegetal. 2a. ed. Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España pp: 399-420.
- Ilias I, Ouzounidou G, Giannakoula A (2007) Effects of gibberellic acid and prohexadione-calcium on growth, chlorophyll fluorescence and quality of okra plant. Biologia Plantarum 51: 575–578. DOI: 10.1007/s10535-007-0126-5.
- INIA (2009) Aspectos relevantes en la producción de frambuesa (*Rubus idaeus* L.). Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Villa Alegre, Chile. 116 p.

- INTA (2023) El cultivo de frambuesa: aspectos agroambientales y económicos para el Alto Valle de Río Negro y Neuquén. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina. 127 p.
- Juárez SLF, López GSA, Benito HE (2023) Uso de peróxido de hidrógeno en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria 7:9452-9461. DOI: 10.37811/cl_rcm.v7i1.5151.
- Kalra G, Bhatla SC (2018a) Cytokinins. In: Plant Physiology, Development and Metabolism. (ed) Springer, Singapore. pp: 617-628. DOI: 10.1007/978-981-13-2023-1_16.
- Kalra G, Bhatla SC (2018b) Gibberellins. In: Plant Physiology, Development and Metabolism. (ed) Springer, Singapore. pp: 559-568. DOI: 10.1007/978-981-13-2023-1_14.
- Kavalier AR, Pitra NJ, Koelling JM, Coles MC, Kennelly EJ, Matthews PD (2011) Increase in cone biomass and terpenophenolics in hops (*Humulus lupulus* L.) by treatment with prohexadione-calcium. Journal of Agricultural and Food Chemistry 12: 6720-6729. DOI: 10.1021/jf200677y.
- Kok D, Bal E (2014) The response of monoterpene compounds of cv. gewürztraminer grape (*Vitis vinifera* L.) to various doses of prohexadione-calcium applied at different periods. Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences Special Issue 6: 1231-1235.
- Kok D, Bal E, Celik S (2013) Influences of various canopy management techniques on wine grape quality of *V. vinifera* cv. Kalecik Karasi. Bulgarian Journal of Agricultural Science 19: 1247-1252.
- Lester GE, Jifon JL, Makus DJ (2010) Impact of potassium nutrition on postharvest fruit quality: Melon (*Cucumis melo* L.) case study. Plant Soil 335: 117-131. DOI: 10.1007/s11104-009-0227-3.
- Lindberg W, Hanson E, Lobos GA (2014) Partial inhibition of flowering in young highbush blueberries with gibberellins. Ciencia e Investigación Agraria 41: 349-356. DOI:10.4067/S0718-16202014000300007.
- Lizarazo-Peña PA, Fornaguera EF, Núñez LCE, Cruz GNA, Moreno FLP (2020) Effect of gibberellic acid-3 and 6-benzylaminopurine on dormancy and sprouting of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers cv. Diacol Capiro. Agronomía Colombiana 38: 178-189. DOI: 10.15446/agron.colomb.v38n2.82231.
- López-Corona AV, Valencia-Espinosa I, González-Sánchez FA, Sánchez-López AL, García-Amezquita LE, García-Varela R (2022) Antioxidant, Anti-Inflammatory and Cytotoxic Activity of Phenolic Compound Family

Extracted from Raspberries (*Rubus idaeus*): A General Review. Antioxidants 11: 1192. DOI: 10.3390/antiox11061192.

López-Lauri F (2016) Plant growth regulators. In: Postharvest Management Approaches for Maintaining Quality of Fresh Produce. (ed) Springer, Cham. pp: 125-139. DOI: 10.1007/978-3-319-23582-0_8.

Manganarisa GA, Goulas V, Vicente AR, Terry LA (2013) Berry antioxidants: small fruits providing large benefits. Journal of the Science of Food and Agriculture 94: 825–833. DOI: 10.1002/jsfa.6432.

Mohammadipour N, Souri MK (2019) Beneficial effects of glycine on growth and leaf nutrient concentrations of coriander (*Coriandrum sativum*) plants. Journal Plant Nutrition 42: 1637-1644. DOI: 10.1080/01904167.2019.1628985.

Monasterio-Huelin E (1992) Revisión taxonómica del genero Rubus L. (rosaceae) en la península Iberica e Islas Baleares. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid. pp: 162.

Montaño MNJ, Méndez NJR (2009) Efecto de reguladores de crecimiento sobre el epicarpo, mesocarpo y sólidos solubles totales del fruto de melón (*Cucumis melo* L.) cv. Edisto 47. Revista Científica UDO Agrícola. 9: 295-303.

NASS-USDA (2022) National Agricultural Statistics Service. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. <https://www.nass.usda.gov/index.php>. Fecha de consulta 15 de Julio de 2023.

Navarro-León E, Albacete A, Torre-González AL, Ruiz JM, Blasco B (2016) Phytohormone profile in Lactuca sativa and Brassica oleracea plants grown under Zn deficiency. Phytochemistry 130: 85-89. DOI: 10.1016/j.phytochem.2016.08.003.

Njiti VN, Xia Q, Tyler LS, Stewart LD, Tenner AT, *et al.* (2013) Influence of prohexadione calcium on sweetpotato growth and storage root yield. HortScience 48: 73-76. DOI: 10.21273/HORTSCI.48.1.73.

Padayatt JS, Daruwala R, Wang Y, Eck PK, Song J, Koh WS (2001) Vitamin C: from molecular actions to optimum intake. In: handbook of antioxidants. Cadenzas E, Packer I. (Eds). Second edition. CRC press. Washington DC, USA. pp: 117-145.

Patiño-Torres A, Jaimez ARE (2016) Relación fuente-fuerza de la demanda en el aborto de estructuras reproductivas, tasa fotosintética y rendimiento en *Capsicum annum*. Agrociencia 50: 649-664.

- Paya HLD, Perdomo M, Quinchoya PDK (2021) Efecto de la aplicación de la hormona Giberelina en el crecimiento y desarrollo del cultivo de Maracuyá (*Passiflora edulis*) establecido en la vereda Fátima del municipio de La Plata, Huila. Ingeniería Y Región 25: 75–81. DOI: 10.25054/22161325.2776.
- Peña-Varela G, Salinas-Moreno Y, Ríos-Sánchez R (2006) Contenido de antocianinas totales y actividad antioxidante en frutos de frambuesa (*Rubus idaeus* L.) con diferente grado de maduración. Revista Chapingo serie Horticultura 12: 159-163. DOI: 10.5154/r.rchsh.2006.02.017.
- Pérez BMH, Osuna ET, Avitia GE, Gutiérrez EMA, Santiago CMJ, Ramírez H, *et al.* (2017) Prohexadiona de calcio reduce crecimiento vegetativo e incrementa brotación floral en mango 'Ataulfo'. Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas 7: 263–276. DOI: 10.29312/remexca.v7i2.342.
- Pérez-Barraza MH, Vázquez-Valdivia V, Osuna-García JA (2008) Uso de giberelinas para modificar crecimiento vegetativo y floración en mango 'Tommy Atkins' y 'Ataulfo'. Revista Chapingo Serie Horticultura 14: 169-175. DOI: 10.5154/r.rchsh.2006.04.019.
- Pichardo-González JM, Guevara-Olvera L, Couoh-Uicab YL, González-Cruz L, Bernardino-Nicanor A, Medina HR, *et al.* (2018) Efecto de las giberelinas en el rendimiento de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 9: 925-934. DOI: 10.29312/remexca.v9i5.1502.
- Pire R, Pereira A (2003) Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela. propuesta metodológica. Bioagro 15: 55-64.
- Porta H, Jiménez-Nopala G (2019) Papel de las hormonas vegetales en la regulación de la autofagia en plantas. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas 22: e160. DOI:10.22201/fesz.23958723e.2018.0.160.
- Rademacher W, Bucci T (2000) 688 New PGRs: High Risk Investment? HortScience 35: 517D-517. DOI: 10.21273/HORTSCI.35.3.517D.
- Rademacher W, Spinelli F, Costa G (2006) Prohexadione-ca: Modes of action of a multifunctional plant bioregulator for fruit trees. Acta Horticulturae 727: 97-106 DOI: 10.17660/ActaHortic.2006.727.10.
- Ramírez H, Alvarez MVM, Noe AC, Wong PJE, Zermeño GA, Vázquez BME *et al.* (2016a) La prohexadiona-ca aumenta rendimiento y contenido de antioxidantes en vid cultivar shiraz. Ecosistemas Y Recursos Agropecuarios 4: 13-20. DOI: 10.19136/era.a4n10.829.

- Ramírez H, Amado-Ramírez C, Benavides-Mendoza A, Robledo-Torres V, Martínez-Osorio A (2010) Prohexadiona-Ca, AG₃, ANOXA y BA modifican indicadores fisiológicos y bioquímicos en chile Mirador. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16: 83-89. DOI: 10.5154/r.rchsh.2010.16.010.
- Ramírez H, Camacho CVM, Ramírez PLJ, Rancaño AJH, Sepúlveda TL, Robledo TV (2015) La prohexadiona-ca provoca cambios en el crecimiento vegetativo, giberelinas, rendimiento y luteolina en chile jalapeño. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 2: 13–22. DOI: 10.19136/era.a2n4.711.
- Ramírez H, Herrera GB, Méndez QYH, Benavides MA, Cruz BJA, Álvarez MV (2008) Prohexadiona de calcio disminuye el contenido de giberelinas endógenas en ápices de tomate saladette y chile pimiento. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14: 193-198. DOI: 10.5154/r.rchsh.2007.12.058.
- Ramírez H, Leza PC, Rivera CE, Amado C, Benavides A, Herrera B, Martínez A, Méndez O (2012) Prohexadione-ca reduces plant height, improves yield and fruit quality on solanaceous crops. *Acta Hort* 936: 457-461. DOI: 10.17660/ActaHortic.2012.936.61.
- Ramírez H, López-Fabian A, Peña-Cervantes E, Zavala-Ramírez MG, Zermeño-González A (2018) P-Ca, AG_{4/7} y 6-BAP en la fisiología y nutrición de tomate en invernadero. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas* 9: 747-759. DOI: 10.29312/remexca.v9i4.1392.
- Ramírez H, Melendres-Alvarez AI, Jasso-Cantú D, Villarreal-Quintanilla JA, Zermeño-González A (2023) Presence of gibberellins in habanero pepper seeds. *Acta Horticulturae* 1365: 33-38 DOI: 10.17660/ActaHortic.2023.1365.4.
- Ramírez H, Mendoza-Castellanos J, Vazquez-Badillo ME, Zermeño-González A (2016b) La prohexadiona de calcio (P-CA): una alternativa hormonal viable en chile habanero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7: 631-641. DOI: 10.29312/remexca.v7i3.323.
- Renai L, Scordo CVA, Chiuminatto U, Ulaszewska M, Giordani E, Petrucci WA *et al.* Liquid Chromatographic Quadrupole Time-of-Flight Mass Spectrometric Untargeted Profiling of (Poly)phenolic Compounds in *Rubus idaeus* L. and *Rubus occidentalis* L. Fruits and Their Comparative Evaluation. *Antioxidants* 10: 704. DOI: 10.3390/antiox10050704.
- Rosales LDD, Arias AG. Vitamina C y parámetros fisicoquímicos durante la maduración de *Berberis lobbiana* "Untusha". *Revista de la Sociedad Química. Lima Perú* 81: 63-75. DOI: 10.37761/rsqp.v81i1.15.

- Santos CM, Segura AM, Núñez LCE (2010) Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín 63: 5253-5266.
- SERIDA (2014) El cultivo de frambueso. Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario. España. pp. 38-51.
- Serrani JC, Sanjuán R, Riuz-Rivero O, Fos M, García-Martínez (2007). Gibberellin Regulation of Fruit Set and Growth in Tomato, Plant Physiology 145: 246–257. DOI: 10.1104/pp.107.098335.
- Shams M, Yildirim E, Ekinci M, Açar G, Turan M, Kul R (2018) Exogenous cytokinin application increased the capsaicin and ascorbic acid content in pepper fruit. Scientific Papers Series B Horticulture 62: 507-511.
- SIAP-SADER (2022) Panorama agroalimentario 2022. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, edición 2022, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Ciudad de México. pp: 72-73. <https://online.pubhtml5.com/aheiy/gryd/#p=8>. Fecha de consulta 10 de julio de 2023.
- Sisodia R, Bhatla SC (2018) Embryogenesis, Vegetative Growth, and Organogenesis. In: Plant Physiology, Development and Metabolism. (ed) Springer, Singapore. pp: 767-796. DOI: 10.1007/978-981-13-2023-1_24.
- Smith SM, Li C, Li J (2017) Hormone function in plants. In: Hormone Metabolism and Signaling in Plants, (ed) Academic Press, London. pp. 1-38. DOI: 10.1016/B978-0-12-811562-6.00001-3.
- Sponsel VM, Hedden P (2004) Gibberellin biosynthesis and inactivation. In: Plant Hormones: biosynthesis, signal transduction, action. (ed) Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. pp: 63-94.
- Steiner AA (1961) A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Plant Soil 15: 134–154. DOI: 10.1007/BF01347224.
- Szot I, Basak A, Lipa T, Krawiec P (2016) The use of combined application of prohexadione-Ca and GA₄₊₇ on the yield and growth of 'Braeburn Mariri Red' apple trees. Acta Horticulturae 1138: 35-44. DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1138.5.
- Taiz L, Zeiger E, Moller IM, Murphy A (2017) Plant Physiology and Development. 6th Edition, Artmed, Porto Alegre. pp. 858.
- Tapia-Vargas M, Larios-Guzmán A, Díaz-Sánchez DD, Ramírez-Ojeda G, Hernández-Pérez A, et al. 2016) Producción hidropónica de chile

- habanero negro (*Capsicum chinense* Jacq.). Revista Fitotecnia Mexicana 39: 241-245.
- Teng H, Fang T, Lin Q, Song H, Liu B, Chen L (2017) Red raspberry and its anthocyanins: Bioactivity beyond antioxidant capacity. Trends Food Sci. Technol. 66: 153–165. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.015>.
- Vattiprolu NMR, Woolley DJ, van Hooijdonk BM (2011) Effect of gibberellins and anti-gibberellins on the vegetative growth of 'hayward' kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). Acta Horticulturae 913: 433-439. DOI: 10.17660/ActaHortic.2011.913.58.
- Viasus-Quintero G, Álvarez-Herrera J, Alvarado-Sanabria O (2013) Efecto de la aplicación de giberelinas y 6-bencilaminopurina en la producción y calidad de fresa. Bioagro 25: 195–200.
- Will F, Krüger E, Kumar K, Patz C, Sønsteby A (2020) Effect of genotype and environment on the chemical composition of raspberry fruits. Acta Horticulturae 1277: 321-328 DOI: 10.17660/ActaHortic.2020.1277.46.
- Wu W, Zhu L, Wang P, Liao Y, Duan L, Lin K (2023) Transcriptome-based construction of the gibberellin metabolism and signaling pathways in *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*, and functional characterization of GA_{20ox} and GA_{2ox}. International Journal of Molecular Science 24: 7051. DOI: 10.3390/ijms24087051.
- Yamaguchi S (2008) Gibberellin metabolism and its regulation. Annual review of plant biology. 59: 225-251. DOI: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092804.