

P-Ca, GA4/7 y 6-BAP MODIFICAN POSITIVAMENTE LA FISIOLOGÍA DE FRAMBUESA (*Rubus idaeus*)

Juan Carlos González-Escobar^{1*}; Homero Ramírez²

¹Maestría en Ciencias en Ingeniería de Sistemas de Producción, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, CP 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

juan150297@gmail.com – 844-279-6128 (*Autor de correspondencia)

²Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, CP 25315. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Resumen

Actualmente México ocupa el segundo lugar a nivel mundial en producción de frambuesa roja. En los últimos años esta frutilla ha adquirido una gran importancia que se atribuye principalmente a su contenido de bioactivos que aportan beneficios a la salud. Las exigencias de los mercados de exportación y el valor económico de este cultivo, exige investigar mejoras en los sistemas de producción. Una alternativa para ello es implementar un programa hormonal a base de biorreguladores. En este estudio se evaluaron tres biorreguladores sobre el crecimiento, desarrollo y calidad de fruto de frambuesa roja cv. UANC-2022. Se estableció bajo un diseño de bloques completamente al azar con un arreglo factorial 4X3, el primer factor fueron los biorreguladores: prohexadiona de calcio (P-Ca), giberelinas (GAs), 6-bencilaminopurina (6-BAP) y una combinación de GAs más 6-BAP (GA+6-BAP, el segundo factor fue el número de aplicaciones: una aplicación (100 ppm = P-Ca1, GA1, 6-BAP1 y GA+6-BAP1), dos aplicaciones (100 + 25 ppm = P-Ca2, GA2, 6-BAP2 y GA+6-BAP2) y tres aplicaciones (100 + 25 + 25 ppm = P-Ca3, GA3, 6-BAP3 y GA+6-BAP3). P-Ca redujo la altura de brotes (AB) temporalmente, aumentó el número de flores por planta (NFP), número de frutos cosechados (NFC), rendimiento y el contenido de vitamina C (CVC) antocianinas (CA), potasio (CK) y sólidos solubles totales (°Brix) en fruto. Las GAs favorecieron AB, NFP, rendimiento, CVC, CA, CK y °Brix, además, adelantó la producción una semana. 6-BAP aumentó NFP, rendimiento y adelantó la producción una semana.

Palabras clave: Giberelinas, citocininas, retardante de crecimiento, bioestimulación, frutillas, calidad de fruto.

Introducción

La frambuesa roja (*Rubus idaeus*) pertenece al grupo de las berries, estas frutas se distinguen por sus colores brillantes, sabores, consistencias y tamaños pequeños. Su origen es Europa y pertenece a la familia de las rosaceae. El género *Rubus* integra alrededor de 740 especies que se clasifican en 15 subgéneros (López-Corona *et al.* 2022). La frambuesa posee altos contenidos de proteínas, minerales, vitaminas, así como también, compuesto polifenólicos que contienen una gran capacidad antioxidante, lo cual, hace que contribuyan substancialmente a una nutrición saludable y fortalecer el sistema inmunológico del consumidor (Manganaris *et al.* 2013, Will *et al.* 2020).

La producción de frambuesa en México muestra un constante crecimiento en los últimos años. En 2021 se obtuvo una producción de 165 677 t teniendo un crecimiento del 13.2 % respecto al 2020, con esta cifra logró posicionarse en el segundo lugar en producción a nivel mundial teniendo una participación del 16.3 % del volumen global, solo por debajo de Rusia que aportó el 20.3 %, así mismo, se ha introducido en 33 mercados internacionales siendo Estados Unidos el principal cliente. La frambuesa es la segunda fruta más importante de las berries con mayor derrama económica, sus ventas en el 2021 alcanzaron 1 217 millones de dólares. A nivel nacional los principales productores de esta fruta son Jalisco, Michoacán y Baja California teniendo una participación en la producción nacional del 70.2, 18 y 9.7 % respectivamente. En México el consumo per cápita es de 315 g esto representa solamente un 0.7 % de la producción (FAO-FAOSTAT 2022, SADER-SIAP 2022).

Las hormonas vegetales son un grupo de moléculas orgánicas sintetizadas internamente por un vegetal que en muy bajas concentraciones produce efectos a nivel celular, influyendo en múltiples procesos fisiológicos y metabólicos para la regulación de patrones de crecimiento y desarrollo (López-Lauri 2016, Bhatla 2018a). Los biorreguladores o reguladores de crecimiento vegetal son un grupo más amplio de compuestos, en el que se incluyen las hormonas vegetales, sus análogos sintéticos, extractos vegetales, microorganismos, minerales o cualquier sustancia que presenten un efecto de acelerar, retardar o inhibir un proceso fisiológico en las plantas. De acuerdo a su efecto en los vegetales los biorreguladores pueden ser clasificados como promotores, inhibidores o retardantes (Chu *et al.* 2017, Smith *et al.* 2017, Alcántara *et al.* 2019).

El incremento de la demanda, los mercados exigentes en cuestiones de calidad y el gran impacto social y económico del cultivo de frambuesa, así como también, las fluctuaciones del cambio climático y la estacionalidad, impulsa a los investigadores a realizar estudios para llevar al máximo el potencial del cultivo. El uso de biorreguladores en la agricultura es una alternativa para mejorar el rendimiento y calidad de diferentes cultivos, como: hortalizas (Montaño y Méndez 2009, Ramírez *et al.* 2018), frutales (Perez-Barraza *et al.* 2008, Kavalier *et al.* 2011, Kok *et al.* 2014) y ornamentales (Flórez 2008, Coelho *et al.* 2018), estos compuestos se caracterizan por modificar temporalmente la expresión de genes (Serrani 2007), lo cual, causa efectos en la fisiología y metabolismo de los cultivos favoreciendo la producción, calidad y/o influyendo en los periodos de cosecha, esto podría satisfacer las necesidades del mercado.

Materiales y métodos

Establecimiento y manejo del experimento. El estudio se llevó a cabo en un invernadero tipo túnel que cuenta con un área de 250 m², posee un sistema de enfriamiento mediante pared húmeda y extractores de aire automatizados, el invernadero se encuentra en el área experimental del departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), ubicada en Buenavista Saltillo, Coahuila México, con localización geográfica a 25° 27' 21.8" Latitud Norte y 101° 02' 06.5" Longitud Oeste y una altitud de 1742. El experimento se realizó entre los meses de marzo a octubre de 2022.

El material vegetal utilizado fue frambuesa cv. UANC-2022, se utilizaron plántulas de aproximadamente 10 cm de altura, las cuales se establecieron en bolsas de polietileno de 12 L, para seleccionar el sustrato se utilizó el método reportado por Pire y Pereira (2003) para tener una porosidad de aireación del alrededor del 25 %, la cual, se logró obtener con una mezcla de polvillo de coco, fibra de coco y peat moss en una relación 1:2:2 (V/V) respectivamente. El transplante se realizó el 12 de marzo de 2022, se trabajó con una densidad de 6.2 plantas m⁻², la nutrición y riego se aplicaron con un recipiente aplicando un litro diariamente con solución Steiner (Steiner, 1961) modificada al 75 % el manejo de plagas y enfermedades se realizó con extractos naturales (ajo, chile y naranja) (Corrales *et al.* 2018, Duran *et al.* 2020) y productos químicos (Imidacloprid y captan). El tutorio fue en sistema "V" o abanico (SERIDA 2014), las plantas se manejaron a un tallo y a los 82 días después del transplante (DDT) cuando tenían 60 cm de altura se realizó una poda o pinch que consistió en la eliminación del ápice apical, posteriormente se dejaron dos brotes laterales, los cuales se llevaron hasta producción, también, se implementó el deshoje continuo del tallo principal, eliminando hojas viejas. Para polinización se utilizó una colmena de abejorros (*bombus ephippiatus*) de la empresa Biobest. La producción se finalizó a los 217 DDT, posteriormente se eliminaron los brotes, dejando solamente los primeros 10 a 15 cm.

Tratamientos y análisis estadístico. Este trabajo de investigación se estableció bajo un diseño estadístico de bloques completamente al azar con un arreglo factorial 4X3, donde el primer factor fueron los biorreguladores y el segundo factor fueron el número de aplicaciones (Cuadro 1), obteniendo un total de 13 tratamientos con cuatro repeticiones, dando un total de 52 unidades experimentales, cada unidad experimental consistió en una planta de frambuesa con un tallo bifurcado a dos brotes laterales. Los resultados se analizaron mediante el método de varianza (ANVA) y prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), para ello, se utilizó el software "The SAS System for Windows" versión 9.0.

Cuadro 1. Descripción de tratamientos evaluados

Hormonas	Numero 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 más 6-Bencilaminopurina	100 ppm	---	---	GA+6-BAP1
Giberelina 4/7 más 6-Bencilaminopurina	100 ppm	25 ppm	---	GA+6-BAP2
Giberelina 4/7 más 6-Bencilaminopurina	100 ppm	25 ppm	25 ppm	GA+6-BAP3
Control (agua destilada)	---	---	---	Control

Aplicación de tratamientos. La primera aplicación de tratamientos se realizó un día después de la poda (DDP), la segunda aplicación se hizo cuando todas las plantas presentaron las primeras flores (48 DDP) y la tercera aplicación fue una semana antes de iniciar la cosecha (70 DDP). Las tres aplicaciones se realizaron de manera foliar con un atomizador manual cubriendo totalmente el follaje y se efectuaron en un horario entre 8:00 a 10:00 h.

Evaluación de parámetros evaluados. Altura de brotes. La Altura de brotes (AB) se realizó con un flexómetro (Foy 5 m 142124) midiendo los dos brotes desde la base hasta el ápice apical, la primera medición se realizó a los 5 DDP, posteriormente se tomaron mediciones cada 8 días en 9 ocasiones y posteriormente una última medición a los 91 DDP.

Número de flores por planta, producción semanal y rendimiento. El número de flores por planta (NFP) fue evaluado realizando un conteo de todas las flores de ambos brotes, la primera toma de datos de esta variable fue a los 40 DDP, posteriormente se tomaron datos cada cinco días hasta los 85 DDP obteniendo en total 10 evaluaciones. La producción semanal (PS) se evaluó pesando los frutos cosechados por semana de cosecha, para ello, se utilizó una báscula (Rhino BACI-5). Finalmente, para obtener el rendimiento total por planta, se realizó la suma de la producción de las semanas de cosecha.

Calidad de fruto. El contenido de vitamina C (CVC) se determinó siguiendo la metodología reportada por Padayatt *et al.* (2001), se tomaron 3 muestras por cada repetición y para reportar en mg 100 g⁻¹, se utilizó la siguiente fórmula (1):

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

El contenido de antocianinas (CA) se determinó siguiendo el método de pH diferencial (Giusti y Wrolstad 2001), utilizando un espectrofotómetro JENWAY 6320D, se realizaron 3 mediciones por repetición y se reportó en mg 100 g⁻¹. Para el contenido de potasio (CK) y sólidos solubles totales (°Brix) se tomaron 10 muestras por repetición, las cuales, fueron evaluadas 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: En seguida de la cosecha se seleccionaban 2 frutos, se maceraban en un mortero hasta sacar todo el jugo, posteriormente, con una jeringa se extraía el jugo y se depositaba 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

Altura de brotes. AB mostró un efecto significativo ($P \leq 0.05$) (Figura 1), esto se puede observar apartir de los 12 DDP en donde los tratamientos P-Ca1, P-Ca2 y P-Ca3 presentaron una menor altura comparados con el control, mientras que los tratamientos con GAs (GA1, GA2 y GA3) y en combinación con 6-BAP (GA+6-BAP1, GA+6-BAP2 y GA+6-BAP3) mostraron una AB más alta respecto al control, cabe mencionar que a los 47 DDP las plantas tratadas con P-Ca retomaron su crecimiento, sin embargo, a los 48 DDP se realizó la segunda aplicación de los biorreguladores y a los 54 DDP los tratamientos P-Ca2 y P-Ca3 volvieron a reducir la altura, no obstante, a partir de los 61 DDP restauraron su crecimiento donde ya no se observaron diferencias ($P \leq 0.05$).

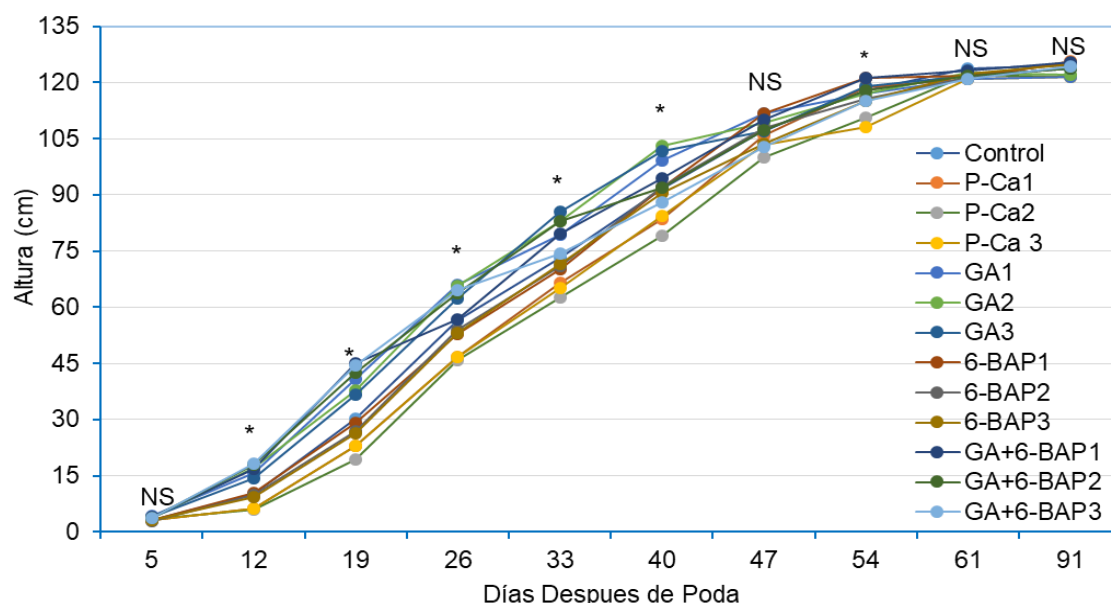


Figura 1. Influencia de biorreguladores en la altura de brotes de frambuesa cv UANC-2022. NS: no significativo. *Diferencias significativas con base a prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Número de flores por planta, producción semanal y rendimiento. El efecto de los biorreguladores también se reflejó en el NFP, así como también el momento en el que se fueron diferenciando (Figura 2), obteniendo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) a partir de los 40 DDP en donde el tratamiento GA2 mostró el mayor número (4.65 flores planta⁻¹), cabe mencionar que los tratamientos con 6-BAP mostraron las primeras flores a los 45 DDP, mientras que las plantas tratadas con el retardante y el control diferenciaron sus primeras flores hasta los 55 DDP. Al final de la evaluación de esta variable (85 DDP) el tratamiento GA2 presentó 154.5 flores planta⁻¹, siendo el tratamiento con el valor más alto con un 22.6 % mayor que el control que obtuvo 126 flores planta⁻¹.

La PS claramente se observa modificada, en la figura 5 se puede apreciar diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$). Los tratamientos con los promotores comenzaron la producción en la semana uno, destacando los tratamientos GA1 y GA3 con 44.23 y 43.87 g planta⁻¹, los tratamientos P-Ca1 y el control comenzaron la producción en la semana dos, mientras que, las plantas tratadas con P-Ca2 y P-Ca3 hasta la semana tres.

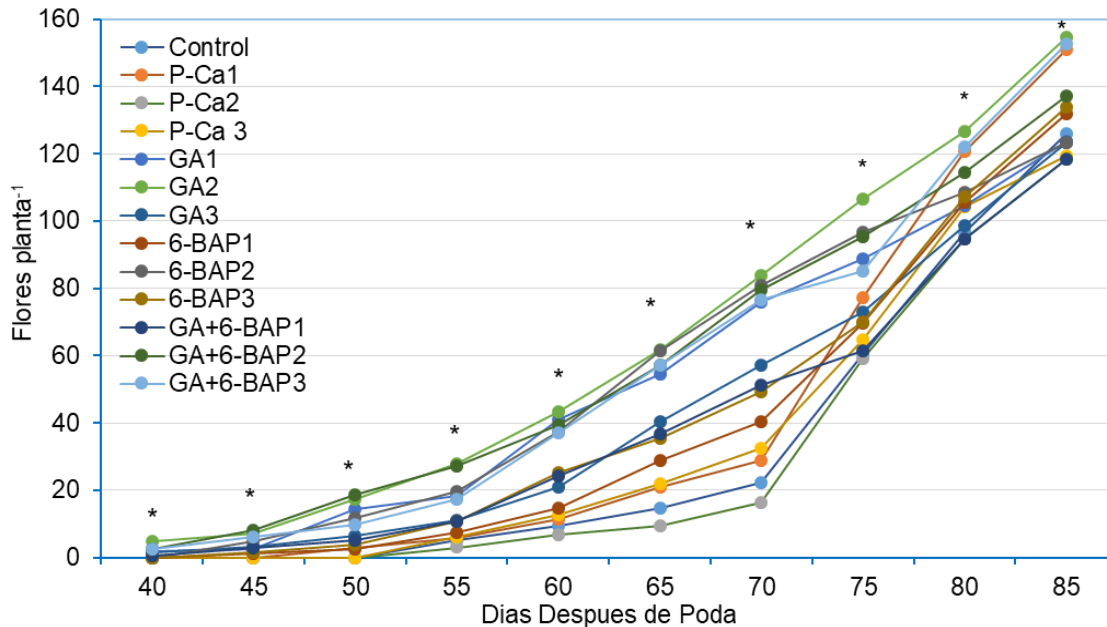


Figura 2. Influencia de la aplicación de biorreguladores en el número de flores de frambuesa cv UANC-2022 en diferentes días posteriores a la poda. *: Diferencias significativas con base a prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

La semana cuatro fue el pico donde se concentró la mayor producción para todos los tratamientos que comenzaron a producir en la semana uno, mientras que, para P-Ca y el control el pico de producción fue en la semana cinco y para los tratamientos P-Ca2 y P-Ca3 la semana seis fue la de mayor producción, asimismo, el término de la producción fue escalonada, con la duración de siete semanas a partir de la semana que comenzaron la producción cada uno de los tratamientos. Finalmente, en el rendimiento total por planta hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) (Cuadro 2), en donde el tratamiento P-Ca1 mostró el rendimiento más alto con 795.8 g planta⁻¹, que representa un 17 % mayor que el control (679.89 g planta⁻¹), asimismo, los tratamientos GA3, GA1, 6-BAP, GA2 Y P-Ca3 obtuvieron un mayor rendimiento con un 10.7, 8.1, 7.6, 7.5 y 3.7 % respectivamente por arriba del control.

Calidad de fruto. El contenido de sólidos solubles totales mostró una alteración con la influencia de los biorreguladores, presentándose diferencias significativas ($P \leq 0.05$) (Cuadro 2), 6-BAP1 fue el tratamiento con el mayor porcentaje de °Brix con 11.33 %, en seguida los tratamientos GA2, GA3 y P-Ca3 mostraron un 10.93, 10.75 y 10.64 % respectivamente, mientras que el control presentó 7.45 %. Para el CK se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) (Cuadro 2), el tratamiento 6-BAP1 mostró el valor más

alto con 216.2 mg 100 g⁻¹, obteniendo un 42.5 % por arriba del control (151.6 mg 100 g⁻¹), así mismo los tratamientos GA+6-BAP3 (209.5 mg 100 g⁻¹), 6-BAP2 (190.8 mg 100 g⁻¹) y P-Ca3 (187.7 mg 100 g⁻¹) presentaron un 38.1, 25.8 y 23.8 % respectivamente superior al control. El CA fue alterado con la aplicación de biorreguladores ($P \leq 0.05$) (Cuadro 2), los tratamientos P-Ca3 (584.34 mg 100 g⁻¹), GA2 (517.29 mg 100 g⁻¹), GA+6-BAP2 (492.97 mg 100 g⁻¹) y GA3 (447.8 mg 100 g⁻¹) presentaron los valores más altos con un 153.5, 124.4, 113.9 y 94.3 % por arriba del control que mostró un valor de 230.45 mg 100 g⁻¹. En cuanto al CVC hubo diferencias significativas entre los tratamientos ($P \leq 0.05$) (Cuadro 2), GA3 y P-Ca3 presentaron los valores más altos con 54.96 y 54.57 mg 100 g⁻¹, estos valores representan el 21.1 y 20.2 % superior al control (45.38 mg 100 g⁻¹).

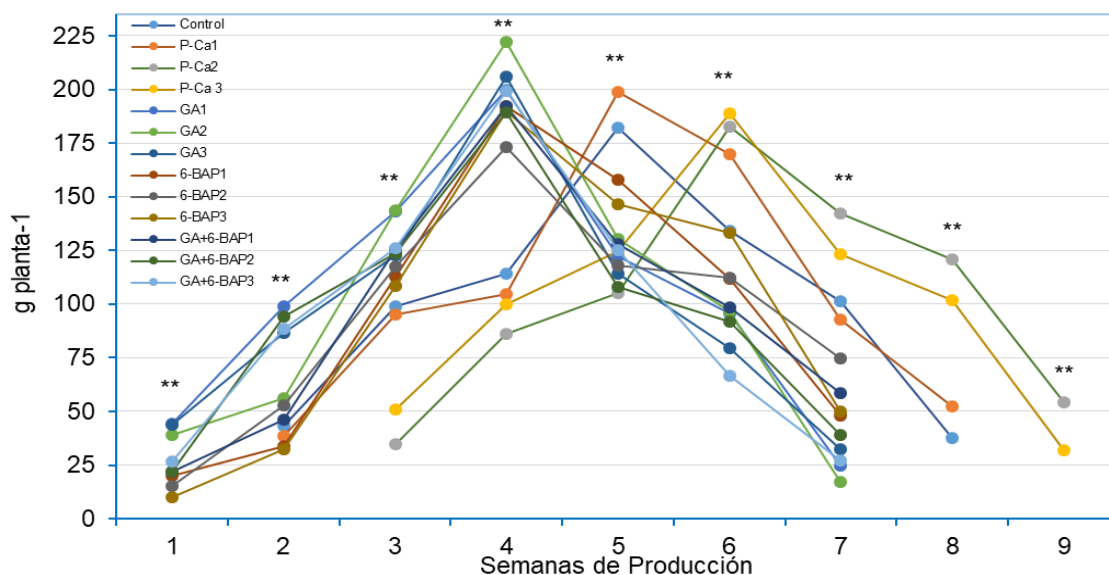


Figura 3. Influencia de la aplicación de biorreguladores en el comportamiento de la producción semanal de frambuesa cv UANC-2022. **: Diferencias altamente significativas con base a prueba de Tukey ($p \leq 0.01$).

Cuadro 2. influencia de la aplicación de biorreguladores en el comportamiento de calidad de fruto y rendimiento de frambuesa cv UANC-2023.

Tratamientos	^o Brix (%)	CVC (mg 100 g ⁻¹)	CA (mg 100 g ⁻¹)	CK (mg 100 g ⁻¹)	Rendimiento (g planta ⁻¹)
P-Ca1	10.07 ^{a-d}	48.9 ^{ab}	251.2 ^d	165.4 ^{bcd}	795.80 ^a
P-Ca2	7.99 ^{cd}	52.3 ^{ab}	352.6 ^{bcd}	156.9 ^{cd}	663.46 ^{bc}
P-Ca3	10.64 ^{abc}	54.5 ^a	584.3 ^a	187.7 ^{ab}	705.23 ^{bc}
GA1	9.28 ^{a-d}	50.9 ^{ab}	398.7 ^{a-d}	143.1 ^{cd}	735.42 ^b
GA2	10.93 ^{ab}	47.0 ^{ab}	517.2 ^{ab}	180.0 ^{abc}	731.11 ^b
GA3	10.75 ^{abc}	54.9 ^a	447.8 ^{abc}	182.5 ^{abc}	752.96 ^{ab}
6-BAP1	11.33 ^a	50.9 ^{ab}	399.0 ^{a-d}	216.2 ^a	669.87 ^{bc}
6-BAP2	9.80 ^{a-d}	49.0 ^{ab}	388.2 ^{bcd}	190.8 ^{ab}	687.70 ^{bc}
6-BAP3	9.75 ^{a-d}	48.7 ^{ab}	295.7 ^{cd}	163.3 ^{bcd}	731.97 ^b
GA+6-BAP1	8.20 ^{abc}	48.5 ^{ab}	337.3 ^{bcd}	140.7 ^d	685.68 ^{bc}
GA+6-BAP2	9.32 ^{a-d}	49.4 ^{ab}	492.6 ^{a-d}	145.8 ^{cd}	677.92 ^{bc}
GA+6-BAP3	10.19 ^{a-d}	49.1 ^{ab}	409.6 ^{a-d}	209.5 ^{ab}	670.16 ^{bc}
Control	7.4 ^b	45.3 ^b	230.4 ^d	151.6 ^{cd}	679.89 ^{bc}
p ≤	<0.0001	0.0091	<0.0001	0.0013	0.0348
CV %	12.0	7.52	20.19	13.36	7.78

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

Altura de brotes. La aplicación de los biorreguladores provocó cambios considerables en la AB, principalmente esto es ocasionado porque una de las funciones de las GAs es estimular la división y alargamiento celular (Kalra y Bhatla 2018) por la activación de enzimas involucradas en la interfase celular (Serrani 2007), esto provoca una aceleración en el proceso de la fase G1 a S (Wu *et al.* 2023), asimismo, mejora la elasticidad de la pared celular lo que promueve el crecimiento longitudinal de las plantas (Kalra y Bhatla 2018).

Por otra parte, la disminución del crecimiento causado por el retardante lo explican Evans *et al.* (1999), quienes mencionan que P-Ca actúa inhibiendo la síntesis de GAs endógenas activas, lo que provoca una compactación de las plantas. Esto ha sido comprobado en previas investigaciones, en tomate saladette y chile pimiento por Ramírez *et al.* (2008) quienes reportaron que en plantas tratadas con P-Ca se encontraron GAs biológicamente inactivas (GA20 y GA53) mientras que las plantas del control contenían GAs con actividad biológica (GA1, GA4 y GA7), caso similar se reportó en chile jalapeño (Ramírez *et al.* 2015) en donde las aplicaciones de P-Ca inhibieron la síntesis de las GAs biológicamente activas de los ápices de las plantas. 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 media de pocas semanas y su efecto es temporal (Evans *et al.* 1999).

Número de flores por planta, producción semanal y rendimiento. Los resultados obtenidos pueden atribuirse a que las GAs influyen en el proceso de la fase reproductiva y en algunas especies inducen este proceso en etapas tempranas (Iglesias y Talón 2008),

dado que promueven la expresión de genes con identidad floral (Eriksson *et al.* 2006). Las GAs y citocininas (CYT) son indispensables para un desarrollo normal de flores, además, impulsan la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico (Boss y Thomas 2002). La aplicación exógena de GAs puede acelerar la formación de flores en condiciones tempranas, incluso cuando las plantas aun no hayan completado su etapa juvenil, es por ello que, GA₄ junto con GA₇ son usadas en la agricultura para inducir la floración temprana en algunos cultivos, ya que este efecto no puede ser generalizado en todas las especies (Iglesias y Talón 2008), tal es el caso en arándano, donde Lindberg *et al.* (2014), reportaron que la aplicación de GAs en la etapa juvenil inhibió la formación de yemas florales, el efecto de cualquier tipo de biorregulador, depende de la absorción, translocación, asimilación, capacidad de respuesta y programa de desarrollo genético de cada especie (Rademacher y Bucci 2000).

El uso de GAs y CYT previamente se ha reportado en diversos cultivos, en los cuales se han publicado resultados similares a los de esta investigación, tal es el caso en fresa (Viasus-Quintero *et al.* 2013), con la aplicación de GA en combinación con CYT se aumentó el número de flores planta⁻¹ y la producción final, en mango (Pérez-Barraza *et al.* 2008) la aplicación exógena de GAs puede inhibir, retrasar o adelantar la floración esto depende del momento de la aplicación, en chile jalapeño (Pichardo-González *et al.* 2018) la aplicación de 50 ppm de GA en combinación con fertilizante aumenta el rendimiento, en ornamentales del género *Kalanchoe* (Coelho *et al.* 2018) con GAs se mejoró la floración, aumentando la formación de inflorescencias, en *Solidago X luteus* (Flórez *et al.* 2008) la aplicación de CYT aceleró la antesis floral.

Respecto a los resultados obtenidos por el retardante de crecimiento, Rademacher *et al.* (2006) mencionan que un efecto secundario que produce P-Ca en el metabolismo de las plantas es disminuir la síntesis de etileno, por esta razón puede disminuir la caída de flores y frutos, lo que ocasiona un mayor cuajado de frutos, además, este retardante, puede promover efectos enzimáticos implicados en la síntesis de otras hormona endógenas (Kavalier *et al.* 2011), caso particular como CYT (Ramírez *et al.* 2015, Rademacher *et al.* 2006), esto puede haber sido la causa del incremento del número de flores. P-Ca dentro de la planta tiene pocas semanas de vida (Evans *et al.*, 1999), por lo tanto, el sitio, el momento y la dosis de las aplicaciones son de gran importancia para obtener los resultados agronómicos esperados (Kavalier *et al.*, 2011), cabe mencionar que la parte de la planta asperjada es muy importante ya que este retardante se transloca principalmente de manera acrópetal y el efecto por lo regular solo se podrá observar en el sitio tratado (Evans *et al.*, 1999).

Como antecedentes se tienen varios trabajos donde P-Ca ha provocado resultados similares en diferentes cultivos hortofrutícolas, en tomate las aplicaciones de 125, 175 y 200 ppm de P-Ca incrementaron el rendimiento (Ramírez *et al.* 2012), en chile habanero con dos aplicaciones de 50 ppm se obtuvo un mayor número de flores, las aplicación se realizaron cuando se presentaron los primeros primordios florales y la segunda 15 días después (Ramírez *et al.* 2016), en Chile mirador un mayor rendimiento (Ramírez *et al.* 2010), en chile jalapeño se incrementó el rendimiento con la aplicación P-Ca cuando la

planta tenía 10 hojas verdaderas (Ramírez *et al.* 2015), en maracuyá el retardante aumentó el número de botones florales (Añez y España, 2011).

Calidad de fruto. 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 (Manganaris *et al.* 2013).

En cuanto a los resultados obtenidos por P-Ca, se tiene la hipótesis que este retardante se involucra en la biosíntesis de antocianinas y otros flavonoides como la flavona 3-hidroxilasa, así mismo, P-Ca presenta una similitud a la estructura molecular de 2-oxoglutarato, es por ello que probablemente haya una acumulación de este compuesto, el cual, está involucrado en la síntesis de aminoácidos (Evans *et al.* 1999, Rademacher *et al.* 2006). Los aminoácidos son moléculas que intervienen en la biosíntesis de aminos, alcaloides, vitaminas, enzimas y terpenoides, además, intervienen en funciones metabólicas y fisiológicas de las plantas (Mohammadipour y Sourí 2019). El ácido aminociclopropanocarboxílico (ACC) es transformado a etileno por la enzima ACC-oxidasa (Bhatla 2018b). La vitamina C está involucrada en la formación de ACC-oxidasa, mientras que, P-Ca inhibe la biosíntesis de la misma molécula, al ocurrir esto se cree que la vitamina C tiende a acumularse en los tejidos de las plantas, entre ellos los frutos (Rademacher *et al.* 2000, Rademacher *et al.* 2006). Al inhibir el crecimiento los fotosintatos podrían dirigirse hacia la raíz, lo que causa una mayor formación del sistema radicular, esto ha sido reportado en camote al aplicar 810 mg L⁻¹ de P-Ca, se inhibió el crecimiento vegetativo y aumento el rendimiento de raíz (Njiti *et al.* 2013). Con un mayor sistema radicular es posible una mayor absorción y translocación de agua, nutrientes e incluso de hormonas (Cabeza y Claassen 2017), dado que, el meristemo apical de la raíz es un sitio importante de biosíntesis de CYT, que posteriormente gran parte de ellas son translocadas vía xilema hacia la parte aérea (Kalra y Bhatla 2018). Al promover una mayor translocación de minerales y otros compuestos hacia la parte aérea, es probable exista una mayor acumulación de nutrientes en los diferentes órganos de las plantas, además, se puede promover una mayor formación de moléculas implicadas en los fotoquímicos de los frutos (Santos *et al.* 2010).

En estudios previos se ha demostrado que P-Ca, GAs y CYT provocan incrementos en el contenido de fitoquímicos en diferentes cultivos hortofrutícolas. En chile habanero la aplicación de 150 mg L⁻¹ de P-Ca incremento el contenido de capsaicina, catotenoides totales y vitamina C (Ramírez *et al.* 2016), en chile Jalapeño aumento contenido de luteína (Ramírez *et al.* 2015), capsaicina, carotenos totales y vitamina C (Ramírez *et al.* 2016) en vid favoreció los monoterpenos (Kok y Bal 2014), polifenoles, antocianinas (Kok *et al.* 2013). La influencia de P-Ca en el contenido de potasio en fruto no se ha reportado anteriormente, sin embargo, Ramírez *et al.* (2018) reportaron en tomate el incremento de potasio en hojas y de nitrógeno y calcio en frutos con aplicaciones de 50 mg L⁻¹ de P-Ca y 6-BAP. Por otra parte, GAs aumentan porcentaje de acidez en maracuyá (Paya *et al.* 2021), 100 mg L⁻¹ de GA_{4/7} en combinación con 50 mg L⁻¹ de 6-BAP incrementan el contenido de vitamina C y licopeno en frutos de tomate (Ramírez *et al.* 2018), en *Campsicum annum* la aplicación de BAP aumento el contenido de capsaicina y vitamina

C (Shams *et al.* 2018) y en chile habanero negro un complejo hormonal a base de citoquininas aplicado de manera foliar incrementa el contenido de alcaloides en frutos (Tapia-Vargas *et al.* 2016).

Conclusiones

Con los resultados obtenidos bajo estas condiciones, se concluye que los biorreguladores P-Ca, GA 4/7 y 6-BAP provocan beneficios dirigidos al crecimiento desarrollo y calidad de frutos, por lo tanto, es una herramienta alterna que se puede implementar para desarrollar estrategias de manejo que permitan obtener mayor producción y calidad, así como también, manipular los periodos de cosecha de frambuesa roja.

Referencias Bibliográficas

- Aguilera-Otíz M, Reza-Vargas MC, Chew-Madinaveita RG, Meza-Velázquez JA (2011) Propiedades funcionales de las antocianinas. *Biocencia*. 13: 16–22. <https://doi.org/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.
- Bhatla SC (2018a) Plant Growth Regulators: An Overview. In: *Plant Physiology, Development and Metabolism*. (ed) Springer, Singapore. pp: 559-568. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1_14.
- Bhatla SC (2018b) Ethylene. In: *Plant Physiology, Development and Metabolism*. (ed) Springer, Singapore. pp: 559-568. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1_14.
- Boss PK, Thomas MR (2002) Association of dwarfism and floral induction with a grape 'green revolution' mutation. *Nature*, 416: 847–850. <https://doi.org/10.1038/416847a>.
- Cabeza RA, Claassen N (2017) Sistemas radicales de cultivos: extensión, distribución y crecimiento. *Agro Sur*. 45: 31-45. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2017.v45n2-04>.
- 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 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811562-6.00012-8>.
- Coelho LL, Fkiara A, Mackenzie KK, Müller R, Lütken H (2018) Exogenous Application of Gibberellic Acid Improves Flowering in *Kalanchoë*. *HortScience horts*. 53: 342-346. <https://doi.org/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
- Durán ACE, Pratisoli D, Carvalho JR, Pacheco DAI, Araujo JLM, Bolsoni ZH (2020). Actividad insecticida de aceites esenciales sobre *Helicoverpa armígera* (Hübner) (Lepidoptera: *Noctuidae*). *Idesia Arica*. 38: 59-64. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292020000400059>.

- 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. <https://doi.org/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 HortSci*. 34: 1200-1201. <https://doi.org/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. p 77-106 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811562-6.00003-7>.
- Flórez VJ (2008) Las citoquininas están asociadas al desarrollo floral de plantas de *Solidago x luteus* en días cortos. *Agronomía Colombiana* 26: 226–236.
- Giusti MM, Wrolstad RE (2001) Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. *Curr Protoc Food Anal Chem*, 1: F1.2.1-F.2.13. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>.
- Iglesias DJ, Talón M (2008) Giberelinas. In: *Fundamentos de fisiología vegetal*. 2a. ed. Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España pp: 399-420.
- Juárez SLF, López GSA, Benito HE (2023) Uso de peróxido de hidrógeno en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Cien. Lat. Rev. Cien. Mult*. 7: 9452-9461. DOI: 10.37811/cl_rcm.v7i1.5151.
- Kalra G, Bhatla SC (2018) Gibberellins. In: *Plant Physiology, Development and Metabolism*. (ed) Springer, Singapore. pp: 559-568. https://doi.org/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* 2011 59. 12: 6720-6729. <https://doi.org/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*. 1: 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.
- Lindberg W, Hanson E, Lobos GA (2014) Partial inhibition of flowering in young highbush blueberries with gibberellins. *Cien. inves. agrar*. 41: 349-356. DOI:10.4067/S0718-16202014000300007.
- Lopez-Corona AV, Valencia-Espinosa I, González-Sánchez FA, Sánchez-López AL, Garcia-Amezquita LE, Garcia-Varela R (2022) Antioxidant, Anti-Inflammatory and Cytotoxic Activity of Phenolic Compound Family Extracted from Raspberries (*Rubus idaeus*): A General Review. *Antioxidants*. 11: 1192. <https://doi.org/10.3390/antiox11061192>.

- Lopez-Lauri F (2016) Plant Growth Regulators. In: Postharvest Management Approaches for Maintaining Quality of Fresh Produce. (ed) Springer, Cham. pp: 125-139. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23582-0_8.
- Manganaris GA, Goulas V, Vicente AR, Terry LA (2013) Berry Antioxidants: Small Fruits Providing Large Benefits. J. Sci. Food Agric. 94: 825–833. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6432>.
- Mohammadipour N, Souri MK (2019) Beneficial effects of glycine on growth and leaf nutrient concentrations of coriander (*Coriandrum sativum*) plants. J. Plant Nutr. 42: 1637-1644. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1628985>.
- 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.
- Padayatt SJ, Daruwala R, Wang Y, Eck PK, Song J, Koh WS Levine M (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. 117-145 pp.
- 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. <https://doi.org/10.25054/22161325.2776>.
- 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.
- 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.
- Rademacher W, Bucci T (2000) 688 New PGRs: High Risk Investment?. HortScience HortSci. 35: 517D-517. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.35.3.517D>.
- Ramírez H, Alvarez MVM, Noe AC, Wong PJE, Zermeño GA, Vázquez BME et al. (2016) 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. Rev. Chapingo. Serie hort. 16: 83-89. DOI: 10.5154/r.rchsh.2010.16.010.
- Ramírez H, Camacho-Chávez VM, Ramírez-Pérez L J, Rancaño-Arrijo JH, Sepúlveda-Torre L, Robledo-Torres V (2015) La prohexadiona-ca provoca cambios en el crecimiento vegetativo, giberelinas, rendimiento y luteolina en chile jalapeño. Ecosistemas Y Recursos Agropecuarios. 2: 13–22. <https://doi.org/10.19136/era.a2n4.711>.
- Ramírez H, Herrera-Gómez B, Méndez-Quiroa YH, Benavides-Mendoza A, Cruz-Breton JA, Álvarez-Mares V, et al. (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. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2007.12.058>.

- Ramírez H, López-Fabian A, Edmundo Peña-Cervantes, María Guadalupe Zavala-Ramírez, y Alejandro Zermeño-González. 2018. P-Ca, AG4/7 Y 6-BAP En La fisiología Y nutrición De Tomate En Invernadero. Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas 9 (4). México, ME:747-59. <https://doi.org/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 Hort. 1365: 33-38 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2023.1365.4>.
- Ramírez H, Mendoza-Castellanos J, Vázquez-Badillo ME, Zermeño-González A (2016) 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.
- 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 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. Secretaria 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.
- 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 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811562-6.00001-3>.
- Steiner AA (1961) A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Plant Soil. 15: 134–154. <https://doi.org/10.1007/BF01347224>.
- 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.
- 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.
- Wu W, Zhu L, Wang P, Liao Y, Duan L, Lin, K, et al. (2023) Transcriptome-Based Construction of the Gibberellin Metabolism and Signaling Pathways in *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*, and Functional Characterization of GA20ox and GA2ox in Regulating Plant Development and Abiotic Stress Adaptations. Int. J. Mol. Sci. 24: 7051. DOI: 10.3390/ijms24087051.