

IMPACTO DE BRASINOESTEROIDES EN EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DE LA FRUTA EN PLANTAS DE FRUTILLA CULTIVADAS EN SISTEMA SEMI-HIDROPÓNICO

Fernández, Ana Cecilia^{1,2*}; Furio, Ramiro Nicolás^{1,2}; Mariotti Martínez, Jorge Alberto²; Coll García, Yamilet³; Díaz Ricci, Juan Carlos⁴; Salazar, Sergio Miguel^{2,5}

1 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), CCT NOA SUR, Tucumán, Argentina.

2 Estación Experimental Agropecuaria Famaillá, INTA, Tucumán, Argentina.

3 Centro de Estudios de Productos Naturales, Facultad de Química, Universidad de La Habana, Cuba.

4 Instituto Superior de Investigaciones Biológicas (INSIBIO CONICET UNT), Tucumán, Argentina.

5 Facultad de Agronomía, Zootecnia y Veterinaria, Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina.

anaceciliafernandez@yahoo.com.ar

RESUMEN: En los últimos años, surgió como innovación técnica el cultivo de frutilla sin suelo, sin embargo, debido a que la inversión inicial es alta, se deben encontrar alternativas que mejoren aún más la productividad. Los brasinoesteroides (BRs) son hormonas vegetales esteroidales que promueven el crecimiento vegetal, y mejoran el rendimiento y la calidad de los frutos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de dos BRs, el análogo sintético DI 31 (BB16) y la 24-epibrasinólida (EP24), en la producción y calidad de frutos en frutillas cultivadas en semi-hidroponía. En cuanto al rendimiento, el peso total de frutas cosechadas por planta en la campaña fue mayor en BB16 (74,34 %) y en EP24 (34,93 %), respecto al control. El número de frutas comerciales cosechadas por planta fue mayor en BB16 y EP24, en un 51,92 % y 21,45 %, respectivamente. Por otro lado, se observó una notable mejora en la calidad de la fruta con la aplicación de ambos BRs. De esta manera, los BRs constituyen una alternativa agronómica sostenible que puede implementarse con facilidad en diferentes sistemas de cultivo, con potencial efecto beneficioso en el rendimiento y la calidad de la fruta.

PALABRAS CLAVE: hormonas vegetales, *Fragaria ananassa*, brasinoesteroide, cultivo semi-hidropónico.

IMPACT OF BRASSINOSTEROIDS ON FRUIT'S YIELD AND QUALITY IN STRAWBERRY PLANTS GROWN IN SEMI-HYDROPONIC SYSTEM

ABSTRACT: In recent years, strawberry cultivation in a semi-hydroponic system emerged as a technical innovation, however, because the initial investment is high, alternatives must be found to improve productivity further. (BRs) are steroidal plant hormones that promote plant growth, and enhance fruit yield and quality. The objective of this study was to evaluate the effect of two BRs, the synthetic analogue DI 31 (BB16) and the 24-epibrassinolide (EP24), on production and quality of fruits in strawberries grown in semi-hydroponics system. Regarding yield, the total weight of harvested fruits per plant in the season was higher in BB16 (74.34%) and in EP24 (34.93%), compared to the control. The number of commercial fruits harvested per plant was higher in BB16 and EP24, by 51.92% and 21.45% respectively. On the other hand, a remarkable improvement in fruit quality was observed with the application of both BRs. In this way, BRs represent a sustainable agronomic alternative that can be easily implemented in different cultivation systems, with a potential beneficial effect on fruit yield and quality.

KEYWORDS: plant hormones, *Fragaria ananassa*, brassinosteroid, semi-hydroponic cultivation.

INTRODUCCIÓN

Los brasinoesteroides (BRs), considerados el sexto grupo de hormonas vegetales, son compuestos de estructura esteroidea, que desempeñan diversas funciones en el crecimiento y desarrollo de las plantas [1]. Se encuentran ampliamente distribuidos en el reino vegetal, y se pueden localizar principalmente en yemas, flores, hojas, polen y semillas, en diferentes proporciones y formas [2]. En la década del '70, en el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), Mitchell y otros investigadores estudiaban extractos orgánicos de polen de

Recibido: 17/11/2023; Aceptado: 4/12/2023

numerosas especies, y descubrieron que los extractos del polen de *Brassica napus* eran los de mayor actividad como promotores del crecimiento vegetal [3]. A estos extractos los denominaron "brasinos", y en experimentos posteriores se observó un efecto causado por estos compuestos sobre el alargamiento y la división celular en el bioensayo del segundo entrenudo del poroto [4]. Además, se encontró que aumentaban los rendimientos de rábanos, hortalizas de hoja y papas al ser pulverizados en plántulas jóvenes. En base a estos datos preliminares,

Mitchell et al. [5] atribuyeron a los “brasinós” carácter hormonal, aunque predijeron incorrectamente que su componente activo era un éster de ácido graso. Posteriormente, la verdadera naturaleza química del componente activo de los extractos se identificó mediante análisis de rayos X de monocristal, como una lactona esteroide que se denominó “brasinolida” [6], y junto a los demás compuestos estructuralmente relacionados que se fueron descubriendo se denominaron conjuntamente “brasinosteroides” [7].

Debido a sus múltiples implicancias, los BRs se consideran hormonas vegetales con efectos pleiotrópicos [8]. Entre otras funciones, los BRs regulan la expresión de numerosos genes, afectan la actividad de vías metabólicas complejas, y modulan diversos procesos fisiológicos y de desarrollo en las plantas, como ser la expansión y división celular, el mantenimiento de las células madre, el desarrollo vascular, el alargamiento de diferentes tipos de células, la transición floral, la germinación de las semillas, el desarrollo del polen, la rizogénesis, la senescencia y la abscisión [9, 10, 11, 12]. Además, se demostró que los BRs confieren tolerancia a las plantas frente a diversos factores causantes de estrés tanto abióticos como bióticos [13, 14, 15].

Para lograr avanzar en la investigación y aplicación de los BRs en diferentes sistemas, surgió la necesidad de sintetizar análogos químicos de estos compuestos, que permitieron obtenerlos en grandes cantidades para su empleo y evaluación. De esta manera, la aplicación exógena de BRs en la agricultura tomó gran relevancia debido a sus comprobados efectos en la mejora del rendimiento de diversos cultivos [16]. Algunos antecedentes de cultivos en los cuales la aplicación de estos reguladores de crecimiento ha dado óptimos resultados son: arroz, trigo, cebada, soja, algodón, tabaco, tomate, papa, mostaza, betabel, melón, maní y arándano [17]. Sin embargo, el potencial de los BRs se extiende no sólo para incrementar la producción, sino también la calidad de las cosechas: en plantas de papa, la aplicación de BRs incrementó la productividad en un 20%, y además mejoró la calidad de los tubérculos aumentando el contenido de almidón y vitamina C [18].

En nuestro grupo de trabajo se comprobó el efecto de dos BRs, la 24-epibrasinólida EP24 y el análogo sintético BB16, en condiciones de campo en frutilla. Como resultado prometedor, se observó un incremento en el rendimiento total de frutos y, en particular, el rendimiento de frutos comerciales [19].

En Argentina, la producción de frutilla es de gran importancia económica y social, y obedece a la creciente demanda mundial agroalimentaria y agroindustrial. Sin embargo, la gran mayoría del cultivo de frutilla se realiza en suelo por métodos tradicionales, de manera intensiva. Además, la difícil mecanización de la cosecha, que se realiza de forma manual, hace imprescindible gran cantidad de mano de obra suplementaria, debido al esfuerzo físico que demanda el cultivo por su baja altura, lo que puede ocasionar resultados económicos adversos, ya sea por incrementos en los costos o por disminución en el rendimiento.

Por estas razones, en los últimos años, surgió como innovación técnica el cultivo de frutilla en sistema sin suelo o semi-hidropónico, donde las plantas se desarrollan en un sustrato alternativo al suelo y reciben fertilización por riego. Las soluciones nutritivas empleadas están formuladas de manera que contienen todos los nutrientes esenciales para el normal crecimiento y desarrollo de las plantas, utilizando el agua como vehículo [20]. Este sistema genera una gran optimización de recursos y tiene numerosas ventajas, entre ellas permite un mejor control

nutricional del cultivo (debido a la fertirrigación localizada automatizada) [21], reduce la utilización de agroquímicos y optimiza el espacio físico [22, 23]. Además, eleva la altura del cultivo, lo que mejora las condiciones laborales al momento de la cosecha y disminuye los costos de recolección. Asimismo, permite producir fruta durante todo el año y aumenta los rendimientos por unidad de superficie. Por otro lado, es posible realizar el cultivo en cualquier lugar, lo que posibilita cultivar cerca de los puntos de distribución y consumo, con el consiguiente ahorro en costes logísticos y de contaminación ambiental.

Al mencionar las ventajas del cultivo de frutilla en sistema semi-hidropónico, es posible afirmar que permite a los productores ser más eficientes tanto a nivel de calidad como de cantidad producida. Sin embargo, debido a que la inversión inicial para su implementación es muy elevada [23], se deben encontrar alternativas que mejoren aún más la productividad. En base a esto, surge como objetivo de este trabajo evaluar el efecto de los BRs EP24 y BB16 en la producción y calidad de frutos en frutilla cultivados en semi-hidroponía.

METODOLOGÍA

Material vegetal

Para el ensayo se utilizaron plantas de frutilla (*Fragaria x ananassa*) cv. ‘Camino Real’, suministradas por el Banco Activo de Germoplasma de Fresa BGA de la Universidad Nacional de Tucumán. Las plántulas saneadas se obtuvieron de cultivos *in vitro* en medio MS [24], enraizadas en macetas con sustrato esterilizado (humus y perlita, 2:1), y mantenidas a 28 °C, 70% de humedad relativa (HR), con un ciclo de luz de 16 h (fluorescente blanco, 350 µmol fotones m⁻² s⁻¹).

Las plantas se trasladaron a la Estación Experimental Agropecuaria Famaillá del INTA en Tucumán, donde se llevó a cabo el cultivo de frutilla en semi-hidroponía en condiciones de invernadero (Figura 1). Para el cultivo semi-hidropónico se utilizaron sacos de cultivo de 0,9 m de largo y 25 L, en las que se colocaron 10 plantas por saco (11,11 plantas/metro lineal). Estos sacos estuvieron compuestos por sustrato inerte Growmix TerraFertil®, cuyos componentes son turba de musgo Sphagnum, compost de corteza de pino y perlita. La fertilización consistió en una solución nutritiva compuesta por 80 cc/m³ de ácido fosfórico, 130 g/m³ de nitrato de potasio, 140 cc/m³ de ácido nítrico y 30 g/m³ de Petrilom Combi 2®. El riego se realizó por goteo mediante una cinta microperforada instalada en el interior de los sacos, 5 veces al día, con riegos de 3 minutos cada uno.



Figura 1 - Cultivo de plantas de frutilla cv. ‘Camino Real’ en sistema semi-hidropónico, en invernadero, en la EEA INTA Famaillá.

Aplicación de los brasinoesteroides

Se trabajó con dos parcelas de 10 plantas de frutilla cultivadas por tratamiento en semi-hidroponía, que fueron tratadas en precosecha con la 24-epibrasinólida EP24 y el análogo sintético BB16, utilizando agua

destilada como control. Las aplicaciones se realizaron por aspersión foliar a una concentración de 0,1 mg.L⁻¹, cada 30 días durante toda la campaña.

Evaluación de rendimiento

El rendimiento del cultivo se evaluó a partir de la cosecha realizada periódicamente desde el mes de junio a noviembre de 2022. Las frutas cosechadas se clasificaron en comerciales (> 10 g por fruto) y no comerciales (< 10 g, deformes, podridas, picadas y/o quemadas). El valor umbral para la fruta comercial fue de 10 g, ya que las frutas que superan este peso se venden, ya sea para consumo en fresco o procesadas. De esta manera, se registró el número y peso de frutas comerciales y no comerciales. El número de frutos por planta se obtuvo contando los frutos cosechados en cada saco y dividiéndolo en el número de plantas. El rendimiento total (g/planta) se calculó dividiendo el peso de todos los frutos cosechados de cada saco, en el número de plantas. El número de frutos comerciales por planta y el rendimiento comercial, se obtuvieron de la misma manera, pero refiriéndose a los datos de fruta comercial [25].

Mediciones de calidad de fruta

Se evaluó la calidad de fruta fresca cosechada de cada tratamiento, una vez a la semana durante toda la campaña. Se registró el peso utilizando una balanza granataria con precisión de 0,01 g y la firmeza con un penetrómetro (Effegi, Italia) de 2 mm de diámetro. La acidez, sólidos solubles totales (SST) (grados brix) y ratio se determinaron empleando un refractómetro (ATAGO, PAL-BX ACID2). Para ello, se utilizó una alícuota de 5 mL del jugo de 10 frutillas, procesadas utilizando una juguera (Ultracomb JG 2703), diluido en 250 mL de agua destilada (1:5). Las lecturas se registraron por triplicado cada día de análisis.

Análisis estadístico

Los resultados de rendimiento se analizaron estadísticamente con el software InfoStat, utilizando análisis no paramétricos de Kruskal Wallis ($p < 0,05$). En cuanto a los datos de calidad, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p < 0,05$), utilizando InfoStat, y además se empleó el software estadístico R para realizar un análisis estadístico multivariado de componentes principales.

RESULTADOS Y DISCUSION

Rendimiento

En el presente estudio se observó que el peso total de frutos cosechados por planta fue mayor en EP24 (34,93 %) y en BB16 (74,34 %), respecto al control (Figura 2). Asghari & Zahedipour [26], reportaron aumentos en el rendimiento, la calidad y la vida útil en frutilla en ensayos a campo, mediante la aplicación exógena de EP24. Se deduce que esto se produjo a raíz de un aumento de la tolerancia al estrés de las plantas durante la etapa de crecimiento y a una mejora de la actividad fotosintética. De la misma manera, se informó en múltiples estudios que el tratamiento del cultivo de frutilla con BRs conduce a una mejor formación de frutos y a una mayor productividad [27, 28], lo que podría estar relacionado con un efecto positivo en la maduración de la fruta, y a una mejor eficiencia de asimilación del carbono fotosintético y biosíntesis de proteínas [29, 30]. Copetti y col. [31], al evaluar distintos cultivares de frutilla en hidroponía, informaron un valor de rendimiento de 175 g/planta para Camino Real, el cual resulta mayor que el obtenido en el control en nuestro estudio, pero que, con el efecto de la aplicación de los BRs, se supera ampliamente (Fig.

2). Sin embargo, no se obtuvieron los rendimientos máximos obtenidos para este cultivar en cultivo convencional. No obstante, la hidroponía tiene ciertas ventajas comparativas, entre ellas el uso más eficiente del agua y los recursos [32], menores problemas fitosanitarios derivados del suelo, y por ende la disminución en el uso de agroquímicos [33, 34]. Asimismo, el cultivo semi-hidropónico de frutillas presenta ventajas técnicas y económicas como ser una mayor homogeneidad del cultivo y simplicidad de las cosechas, lo cual lo hace atractivo para los productores [35].

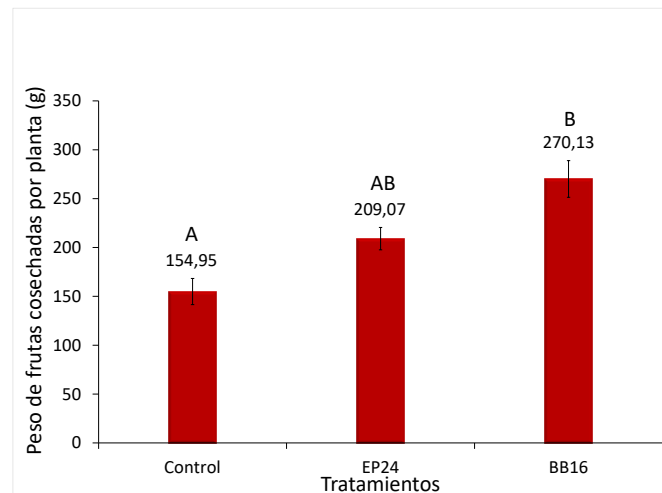


Figura 2 - Rendimiento total de frutas de plantas de frutilla cultivadas en sistema semi-hidropónico, tratadas con diferentes BRs. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Al clasificar las frutas cosechadas como comerciales y no comerciales, y analizar los resultados obtenidos, se observó que el número de frutas comerciales cosechadas por planta fue mayor en EP24 y BB16 que en el control, en un 21,45 % y 51,92 %, respectivamente (Figura 3). Además, el rendimiento, expresado como peso de frutas comerciales cosechadas por planta fue mayor en EP24 (29,45 %) y en BB16 (65,35 %), respecto al control (Figura 4). Esto concuerda con lo observado anteriormente en nuestro grupo de trabajo en ensayos en cultivo convencional, donde los tratamientos con EP24 y BB16 aumentaron los rendimientos de frutos de frutilla entre un 9% y un 34%, principalmente de frutos comerciales (g/planta y número de frutos/planta) [19]. Por otro lado, el tratamiento que tuvo significativamente mejor productividad en el cultivo de frutilla sin suelo, respecto al control, fue la aplicación de BB16 (Fig. 2, 3 y 4). Estos resultados concuerdan con lo observado en cultivo convencional [19] y en semihidropónico [36] y, considerando que en ambos casos en cada tratamiento se utilizaron idénticas condiciones de cultivo, podemos inferir que el análogo brasinoesteroide BB16 confiere ventajas diferenciales a las plantas en relación con EP24. Es por esto que consideramos a BB16 como el compuesto más promisorio.

Calidad

Dado su perfil nutricional, la frutilla representa una opción de alimentación muy saludable y, la alta calidad de la fruta se caracteriza por la obtención de un producto firme, de coloración y forma homogénea, con un equilibrio entre el contenido de SST y la acidez, sin defectos externos y un aroma atractivo. Para lograr una máxima rentabilidad del cultivo, resulta fundamental la investigación e implementación de nuevas tecnologías que logren además de aumentar el rendimiento, mejorar la calidad de la fruta, como es el caso del uso de los BRs.

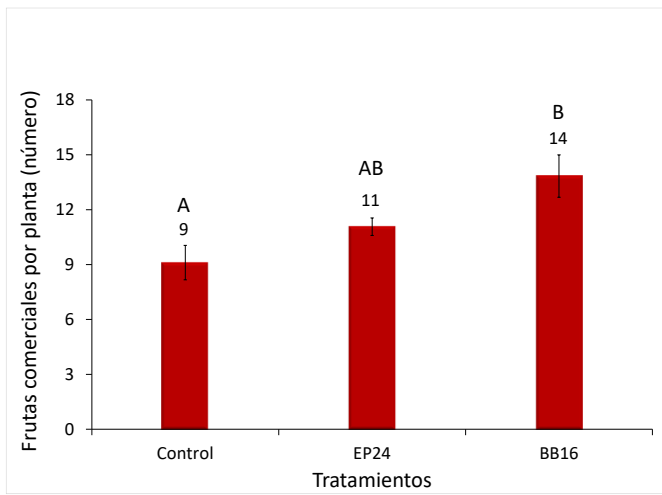


Figura 3 - Número de frutillas comerciales por planta, cultivadas en sistema semi-hidropónico, tratadas con diferentes BRs. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

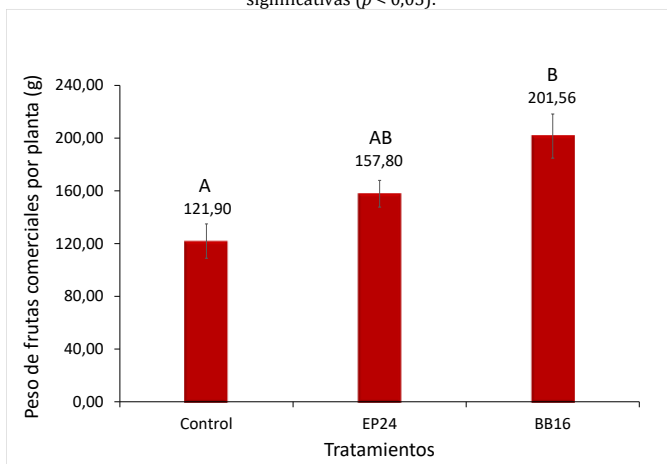


Figura 4 - Rendimiento de frutillas comerciales por planta, cultivadas en sistema semi-hidropónico, tratadas con diferentes BRs. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

La frutilla está compuesta por aproximadamente un 90% de agua y un 10% de sólidos totales [37]. Los principales componentes solubles en la frutilla son carbohidratos, de los cuales la glucosa y la fructosa (90% del total) proveen la energía necesaria para la mayor parte de las reacciones metabólicas y, además, resultan un factor importante del sabor [38, 39]. Los ácidos orgánicos, al igual que los azúcares, tienen un papel fundamental en el sabor del fruto, siendo el ácido cítrico el principal en frutilla [40]. La relación entre los sólidos solubles totales y la acidez de la fruta se denomina ratio, y es un parámetro indicador del sabor, que busca el equilibrio entre ambos. En nuestro estudio, EP24 produjo un leve aumento en los SST respecto al control, y al mantener los niveles de acidez, incrementó el ratio (Tabla 1), de manera que mejoró las características organolépticas de los frutos, y por ende su calidad. En otros estudios en cerezas [41], uva [42], tomate [43] y frutilla [44, 45], se reportó de igual manera que la aplicación exógena de BRs incrementó la cantidad de SST y el ratio.

Otro de los principales factores determinantes de la calidad y vida poscosecha de la frutilla es su firmeza, la cual está condicionada por varios factores, siendo uno de los principales la rigidez mecánica impuesta por la pared celular [46]. La aplicación exógena de los BRs EP24 y BB16 produjeron un incremento de la firmeza de los frutos (Tabla 1), lo cual resulta una cualidad altamente deseada en frutilla, ya que ayuda a disminuir el deterioro asociado a la manipulación como la susceptibilidad a patógenos [47].

Por último, se observó que los BRs condujeron al aumento del tamaño de las frutas cosechadas en sus respectivos tratamientos, en comparación con el control (Tabla 1), lo que puede atribuirse al aumento de la división y el alargamiento celular causados por las fitohormonas [48].

Tabla 1 - Parámetros de calidad evaluados en frutillas de plantas cultivadas en sistema semi-hidropónico, tratadas con diferentes BRs. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

	Control	BB16	EP24
Peso (g)	12,20 ± 0,66 a	13,60 ± 0,66 a	13,57 ± 0,66 a
Firmeza (g.mm⁻²)	169,92 ± 5,41 a	186,90 ± 5,41 a	177,22 ± 5,41 a
SST (grados grix)	5,53 ± 0,21 a	5,56 ± 0,21 a	5,78 ± 0,21 a
Acidez (% ac. cítrico)	0,62 ± 0,02 a	0,62 ± 0,02 a	0,62 ± 0,02 a
Ratio	9,21 ± 0,67 a	9,15 ± 0,67 a	9,53 ± 0,67 a

Continuando con el análisis, al evaluar las variables de calidad en conjunto, se observó una notable mejora en la calidad de la fruta con la aplicación de BB16 y EP24, en relación con el control (Figura 5).

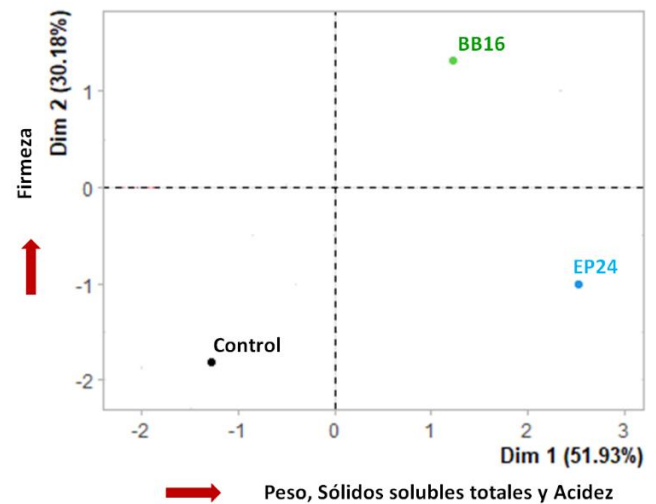


Figura 5 - Análisis de componentes principales de los parámetros de calidad de fruta de plantas de frutilla cultivadas en sistema semi-hidropónico, tratadas con diferentes BRs.

Teniendo en cuenta el continuo aumento de la población mundial y, en consecuencia, la creciente demanda de productos hortícolas, el énfasis de la investigación agrícola se centra actualmente en el desarrollo de nuevas tecnologías para lograr mejorar la calidad y el rendimiento de frutos.

Una alternativa para la producción eficiente de diversos cultivos es la utilización de sistemas hidropónicos, los cuales permiten tener control sobre la disponibilidad de los nutrientes y el oxígeno, ayudando a optimizar los recursos sin la necesidad de suelo [49]. A pesar de poseer numerosas ventajas, el costo de la implementación de estos sistemas es muy elevado, por lo que se precisan tecnologías complementarias para mejorar los rendimientos y de esta manera amortizar los costos.

Como alternativa ecológica, se ha investigado ampliamente la aplicación exógena de fitohormonas con efectos promotores del crecimiento vegetal, para maximizar la productividad de los cultivos, mejorar los atributos de calidad y, además, reducir la utilización de químicos peligrosos [50]. Tal es el caso de los BRs, donde se observó que la aplicación exógena de análogos sintéticos de dichas hormonas esteroidales impacta positivamente en el rendimiento y la calidad en pepino, uva, manzana, cereza, trigo y maíz [41, 51, 52, 53, 54].

Sin embargo, la información disponible respecto a la respuesta de las plantas de frutilla a la aplicación de BRs aún es escasa, debido a que este grupo de hormonas esteroides resulta comparativamente nuevo en el

campo de la agricultura. Por lo tanto, resulta necesaria la evaluación del desempeño de estos reguladores del crecimiento vegetal en plantas de frutilla, en diferentes condiciones de cultivo [27].

CONCLUSIÓN

Los BRs constituyen una prometedora alternativa agronómica sostenible, que puede implementarse con facilidad en diferentes sistemas de cultivo en frutilla, generando efectos beneficiosos en el rendimiento y la calidad de la fruta.

REFERENCIAS

- [1] H. Manghwar, A. Hussain, Q. Ali, F. Liu. "Brassinosteroids (BRs) Role in Plant Development and Coping with Different Stresses". *Int. J. Mol. Sci.* 23, **2022**, 1022.
- [2] S. Seeta, B. Vidya, E. Sujatha, S. Anuradha. "Brassinosteroids—A new class of phytohormones". *Curr.Sci.* 82, **2002**, 1239-1245.
- [3] S. D. Clouse. "Brassinosteroids". *The arabidopsis book*. 9, **2011**, e0151.
- [4] N. B. Mandava. "Plant growth-promoting brassinosteroids". *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 39, **1988**, 23–52.
- [5] J. W. Mitchell, N. B. Mandava, J. F. Worley, J. R. Plimmer, M. V. Smith. "Brassins: a new family of plant hormones from rape pollen." *Nature*. 225, **1970**, 1065–1066.
- [6] M. D. Grove, G. F. Spencer, W. K. Rohwedder, N. B. Mandava, J. F. Worley, J. D. Warthen, G. L. Steffens, J. L. Flippen-Anderson, J. C. Cook. "Brassinolide, a plant growth-promoting steroid isolated from *Brassica napus* pollen". *Nature*. 281, **1979**, 216–217.
- [7] A. Bajguz, A. Tretyn. "The chemical characteristic and distribution of brassinosteroids in plants." *Phytochemistry*. 62, **2003**, 1027–1046.
- [8] J. M. Sasse (1997). "Recent progress in brassinosteroid research." *Physiol. Plant.* 100, **1997**, 696-701.
- [9] A. P. Singh, S. Savaldi-Goldstein. "Growth control: Brassinosteroid activity gets context." *J. Exp. Bot.* 66, **2015**, 1123–1132.
- [10] N. Fàbregas, A. I. Caño-Delgado. "Turning on the microscope turret: A new view for the study of brassinosteroid signaling in plant development." *Physiol. Plant.* 151, **2014**, 172–183.
- [11] B. Lv, H. Tian, F. Zhang, J. Liu, S. Lu, M. Bai, C. Li, Z. Ding. "Brassinosteroids regulate root growth by controlling reactive oxygen species homeostasis and dual effect on ethylene synthesis in *Arabidopsis*." *PLoS Genet.* 14, **2018**, e1007144.
- [12] Q. Wang, F. Yu, Q. Xie. "Balancing growth and adaptation to stress: Crosstalk between brassinosteroid and abscisic acid signaling." *Plant Cell Environ.* 43, **2020**, 2325–2335.
- [13] S.D. Clouse, J. M. Sasse. "Brassinosteroids: Essential Regulators of Plant Growth and Development." *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49, **1998**, 427–451.
- [14] P. Krishna. "Brassinosteroid-Mediated Stress Responses." *J. Plant Growth Regul.* 22, **2003**, 289–297.
- [15] J.M. Sasse. "Physiological Actions of Brassinosteroids: An Update." *J. Plant Growth Regul.* 22, **2003**, 276–288.
- [16] C. Vriet, E. Russinova, C. Reuzeau. "Boosting crop yields with plant steroids." *The Plant Cell.* 24, **2012**, 842-857.
- [17] V. A. Khripach, V.N. Zhabinskii, A. de Groot, A. "Twenty years of brassinosteroids: Steroidal plant hormones warrant better crops for the XXI Century." *Ann. Bot.* 86, **2000**, 441-447.
- [18] V. A. Khripach. (1997). "Recent advances in brassinosteroids study and application." *Proc. Plant growth Regul. Soc. Am.* 24, **1997**, 101-106.
- [19] S.M. Salazar, Y. Coll, J. Viejobueno, F. Coll. "Response of strawberry plants to the application of brassinosteroid under field conditions". *Rev. Agron. Noroeste Argent.* 36, **2016**, 37-41.
- [20] J.A. Birgi, V. Gargaglione. "Producción y calidad de dos variedades de frutilla (*Fragaria x ananassa* Duch) en hidroponía en Santa Cruz." *Informes Científicos Técnicos-UNPA.* 13, **2021**, 95-106.
- [21] J.L. Andriolo. "Preparo e manejo da solução nutritiva na produção de mudas e de frutas do morangueiro." In: Seminário sobre o cultivo hidropônico de morangueiro. Santa María. Departamento de Fitotecnia. **2007**. 41-50.
- [22] M.I. Diel, M.V.M. Pinheiro, C. Cocco, D.C. Fontana, B.O. Caron, G.M. de Paula, D. Schmidt "Phyllochron and phenology of strawberry cultivars from different origins cultivated in organic substrates." *Sci. Hortic.* 220, **2017**, 226-232.
- [23] M.H. Jensen. "Hydroponics worldwide". *Acta Hortic.* 481, **1999**, 719–730.
- [24] T. Murashige, F. Skoog. "A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures." *Physiol. Plant.* 15, **1962**, 473–497.
- [25] D.S. Kirschbaum, A.M. Heredia, C.F. Funes, R.J. Quiroga. "Efectos de aplicaciones de bioestimulantes en el rendimiento y la calidad del cultivo de frutilla o fresa." *Horticultura Argentina*, 38, **2019**, 25-40.
- [26] M. Asghari, P. Zahedipour. "24-Epibrassinolide Acts as a Growth-Promoting and Resistance-Mediating Factor in Strawberry Plants." *J. Plant Growth Regul.* 35, **2016**, 722–729.
- [27] F. Khatoon, M. Kundu, H. Mir, S. Nahakpam. "Efficacy of foliar feeding of brassinosteroid to improve growth, yield and fruit quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) grown under subtropical plain." *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 52, **2021**, 803-814.
- [28] B. Ali. "Brassinosteroids: the promising plant growth regulators in horticulture." In: Hayat S, Yusuf M, Bhardwaj R, Bajguz A (eds) *Brassinosteroids: plant growth and development*. Springer Singapore, Singapore.
- [29] B.V. Vardhini, S.S.R. Rao. "Effect of brassinosteroids on growth, metabolite content and yield of *Arachis hypogaea*." *Phytochemistry*. 48, **1998**, 927–30.
- [30] S. Hayat, A. Ahmad, M. Mobin, A. Hussain, Q. Fariduddin. "Photosynthetic rate, growth, and yield of mustard plants sprayed with 28-homobrassinolide." *Photosynthetica*. 38, **2000**, 469.
- [31] C. Copetti, G.S. Borges, J.L. Barcelos-Oliveira, L.V. Gonzaga, R. Fett, F.C. Bertoldi. "Antioxidant activity and productivity of different strawberry cultivars (*Fragaria x ananassa* Duch.) produced in a hydroponic system." In *II International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics*. 947, **2011**, 367-374.
- [32] M. Albaho, B. Thomas, A. Christopher. "Evaluation of hydroponic techniques on growth and productivity of greenhouse-grown bell pepper and strawberry." *Int. J. Veg. Sci.* 14, **2008**, 23-40.
- [33] C. Treftz, S.T. Omaye. "Comparison between Hydroponic and Soil-Grown Strawberries: Sensory Attributes and Correlations with Nutrient Content." *Food Sci. Nutr.* 6, **2015**, 1371.
- [34] N. Gruda. "Do soilless culture systems have an influence on product quality of vegetables?." *J. Appl. Bot. Food Qual.* 82, **2009**, 141–147.
- [35] G. Caruso, G. Villari, G. Melchiona, S. Conti. "Effects of cultural cycles and nutrient solutions on plant growth, yield and fruit quality of alpine

- strawberry (*Fragaria vesca* L.) grown in hydroponics." *Sci. Hortic.* 129, **2011**, 479-485.
- [36] R. N. Furio, S. M. Salazar, J. A. Mariotti-Martínez, G. M. Martínez-Zamora, Y. Coll, J. C. Díaz-Ricci. "Brassinosteroid applications enhance the tolerance to abiotic stresses, production and quality of strawberry fruits." *Horticulturae*. 8, **2022**, 572
- [37] R. Hemphill, L. W. Martin. "Microwave oven-drying method for determining total solids of strawberries." *HortScience*. 27, **1992**, 1326-1326.
- [38] S. Cote Daza. "Efecto de la intensidad de la radiación UV-C sobre la calidad sensorial, microbiológica y nutricional de frutos." **2011**. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata.
- [39] A. C. Solórzano, A. Martín, S.M Salazar, J.S. Sandoval, D.S. Kirschbaum, D. "Correlación entre la medida del color del fruto y la concentración de sólidos solubles totales en frutilla o fresa (*Fragaria ananassa* Duch.)." *Rev. Agron. Noroeste Argent.* 35, **2015**, 55-60.
- [40] E.U. Contigiani. "Desarrollo de estrategias alternativas para la conservación post-cosecha de frutillas." **2019**. Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires.
- [41] A. Ahmadipour roghaba, Z. Pakkish. "Role of Brassinosteroid on Yield, Fruit Quality and Postharvest Storage of 'Tak Danehe Mashhad' Sweet Cherry (*Prunus avium* L.)." *Agricultural Communication*, 2, **2014**, 49-56.
- [42] M. Asghari, R. Rezaei-Rad. "24-Epibrassinolide enhanced the quality parameters and phytochemical contents of table grape." *J. Appl. Bot. Food Qual.* 91, **2018**, 226-231.
- [43] T. Zhu, W.R. Tan, X.G. Deng. "Effects of brassinosteroids on quality attributes and ethylene synthesis in postharvest tomato fruit." *Postharvest Biol. Technol.* 100, **2015**, 196-204.
- [44] S. Mohammadrezakhani, Z. Pakkish, S. Rafeii. "Role of Brassinosteroid on Qualitative Characteristics Improvement of Strawberry Fruit cv. Paros." *J. Hort. Sci.* 30, **2016**, 316-326.
- [45] P. Zahedipour-Sheshglani, M. Asghari. "Impact of foliar spray with 24-epibrassinolide on yield, quality, ripening physiology and productivity of the strawberry." *Sci. Hortic.* 268, **2020**, 109376.
- [46] F. Harker, R. Redwell, I. Hallet, S. Murray, G. Carter. "Texture of Fresh Fruit". *Horticultural Reviews*, John Wiley & Sons, Inc. **2010**, 121-224.
- [47] I. Sin, M. Perini, H. Rosli, C. Nardi, K. Folta, G. Martínez, M. Civello. "Efecto de la sobreexpresión de CBM-FaEXP2 en frutilla". *Libro de Trabajos Completos I Congreso Argentino de Biología y Tecnología Poscosecha. IX Jornadas Argentinas de Biología y Tecnología Poscosecha*. Paraná: Universidad Nacional de Entre Ríos. UNER, **2018**.
- [48] A. Kauschmann, A. Jessop, C. Koncz, M. Szekeres, L. Willmitzer, T. Altmann. "Genetic evidence for an essential role of brassinosteroids in plant development." *The Plant Journal*. 9, **1996**, 701-13.
- [49] A.F. Recamales, J.L. Medina, D. Hernanz. "Physicochemical characteristics and mineral content of strawberries grown in soil and soilless system." *J. Food. Qual.* 30, **2007**, 837-853.
- [50] M.M Ali, R. Anwar, A.U. Malik, A.S. Khan, S. Ahmad, Z. Hussain, Z, F. Chen. "Plant growth and fruit quality response of strawberry is improved after exogenous application of 24-epibrassinolide." *J. Plant Growth Regul.* 41, **2022**, 1786-1799.
- [51] A. Pereira-Netto, C. Cruz-Silva, S. Schaefer, J. Ramirez, L. Galagovsky. "Brassinosteroid-stimulated branch elongation in the Marubakaido apple rootstock." *Trees*. 20, **2006**, 286-291.
- [52] M. Eleiwa, S. Bafeel, S.A Ibrahim. "Influence of brassinosteroids on wheat plant (*Triticum aestivum* L) production under salinity stress condition." *Aust. J. Basic Appl. Sci.* 5, **2011**, 58- 65.
- [53] D. Holá, O. Rothová, M. Kočová, L. Kohout, M. Kvasnica. "The effect of brassinosteroids on the morphology, development and yield of field-grown maize." *Plant Growth Regul.* 61, **2010**, 29-43.
- [54] Z. Babalik, T. Demirci, O. Aras, N. Baydar. "Brassinosteroids modify yield, quality, and antioxidant components in grapes (*Vitis vinifera* cv. Alphonse Lavallée)." *J. Plant Growth Regul.* 39, **2020**, 147-156.