

## Identificación de auxinas, giberelinas y citocininas en frutos de frambuesa (*Rubus idaeus*)

### Identification of auxins, gibberellins and cytokinins in raspberry fruits (*Rubus idaeus*)

Homero Ramírez<sup>1\*</sup> , Manuel Espinosa-Vázquez<sup>1</sup> , Juan Carlos González Escobar<sup>1</sup> ,  
Aaron Isain Melendres-Alvarez<sup>1</sup> , Alejandro Zermeño-González<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Ingeniería en Sistemas de Producción. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro, 1923, Col. Buenavista, CP. 25315. Saltillo, Coahuila, México.

\*Autor de correspondencia: hrr\_homero@hotmail.com

#### Nota científica

Recibida: 10 de junio 2023

Aceptada: 08 de enero 2024

**RESUMEN.** La frambuesa es una frutilla de gran demanda en el mercado internacional. Su principal atractivo radica en el alto contenido en vitaminas A y C, fibra, nutrientes como Ca y Fe, flavonoides y antioxidantes. Estos compuestos, además de ser integrantes en su aroma y sabor, contribuyen a fortalecer el sistema inmunológico del ser humano contra enfermedades como el cáncer, diabetes y cardiovasculares. Las hormonas endógenas influyen en el rol de esas moléculas durante el crecimiento en varias especies hortícolas. En frambuesa es desconocido la presencia de hormonas naturales en el fruto. Por ello, se investigó su presencia en frutos de frambuesa cv UANC-2022, utilizando la técnica de cromatografía de gases y espectrometría de masas con un diseño completamente al azar. Se identificaron las giberelinas A<sub>4</sub>, A<sub>7</sub>, A<sub>44</sub> y A<sub>53</sub>; auxina ácido indol acético y la citocinina zeatina.

**Palabras clave:** Bioreguladores, crecimiento, cromatografía, endógenos, frutillas.

**ABSTRACT.** Raspberry is a crop of great demand in recent years in the international market. This distinction is focused on its high content in vitamins A and C, fiber, nutrients such as Ca and Fe, flavonoids and antioxidants. These compounds besides to be as part of aromatic and taste characteristics of the fruit, contribute to the immunology human system strengthening, in particular against diseases such as cancer, diabetes and cardiovascular. Endogenous hormones direct the role of these molecules during growth and development in several horticultural species. In raspberry it is unknown. For this reason, it was investigated their presence in fruits of raspberry cv UANC-2022, using the gas chromatography mass spectrometry technology under a complete randomized design. The following hormones were identified: gibberellins A<sub>4</sub>, A<sub>7</sub>, A<sub>44</sub> and A<sub>53</sub>; auxin indole acetic acid and the cytokinin zeatin.

**Keywords:** Bioregulators, berries, chromatography, endogenous, growth.

**Como citar:** Ramírez H, Espinosa-Vázquez M, González Escobar JC, Melendres-Alvarez AI, Zermeño-González A (2024) Identificación de auxinas, giberelinas y citocininas en frutos de frambuesa (*Rubus idaeus*). Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 11(1): e3821. DOI: 10.19136/era.a11n1.3821.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de frambuesa continúa en expansión constante. Esta frutilla en años recientes ha adquirido relevancia hortícola mundial por su alto valor económico y por la riqueza alimenticia que proporciona al consumidor; particularmente, por su alto contenido de antioxidantes, minerales y vitaminas. En la actualidad, para satisfacer la alta demanda en el mercado internacional se requiere implementar nuevas tecnologías que mejoren su rendimiento y calidad. En 2021, México fue el segundo productor mundial de esta frutilla con 128 848 t y destacó como uno de los de mayor rendimiento con 18.8 t ha<sup>-1</sup> en promedio y el valor de exportación en 2022 superó los \$1000 millones de dólares (SADER 2021).

En frutos de manzano, tomate y chile habanero se ha demostrado la presencia de hormonas endógenas como auxinas, giberelinas y citocininas (Ramírez *et al.* 2021), las cuales se relacionan con el crecimiento y desarrollo. Las auxinas controlan la división y expansión celular en frutos jóvenes a través de regular la acción de genes en el ARN, condición que también contribuye a su cuajado. Las citocininas estimulan la división celular, diferenciación de semillas y crecimiento del fruto (Bu *et al.* 2020, Costa y Botton 2022); mientras que, las giberelinas participan en la elongación celular y desarrollo, además del crecimiento final del fruto (Sansavini *et al.* 2019). La interacción de las tres hormonas es clave para armonizar la fisiología en frutales y es base para una buena producción de fruta de alta calidad (Costa y Botton 2022). Este concepto, en frambuesa es desconocido. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue conocer la posible presencia de hormonas endógenas en frutos jóvenes de frambuesa (UANC – 2022).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material vegetal, sitio y diseño

La investigación se realizó en 2023 en el laboratorio de fisiología vegetal del departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila, México; ubicado en las coordenadas 101° 01' longitud oeste y 25° 21' latitud norte. Se utilizaron grupos separados de 50 frutos de 5 semanas de edad de plantas de frambuesa de la variedad UANC – 2022.

### Extracción, purificación e identificación

La extracción de los tres grupos hormonales se efectuó con la técnica de Ramírez *et al.* (2021). Las muestras de frutos fueron colectadas de plantas experimentales y congeladas en nitrógeno líquido, molidas en mortero y secadas en un liofilizador FSF -18N (Huanghua F. Inst. Co. Ltd. China) a – 40°C. Las auxinas, giberelinas y citocininas fueron extraídas con metanol al 80%, filtradas y el residuo reextraído en tres ocasiones con metanol al 80%. Los filtrados se integraron y luego se dividieron en tres grupos. La purificación de muestras para auxinas y giberelinas fueron ajustadas a un pH de 3.0 con HCl y se les realizó una partición con acetato de etilo en cuatro ocasiones. Se ajustó el pH a 8.0 con solución Buffer de fosfato (0.1 M), se agregó 5 g de PVP, se filtró y ajustó el pH a 3.0 con HCl. Se realizó partición con acetato de etilo, luego se secó la muestra.

Para el análisis de giberelinas se utilizó la técnica reportada por Ramírez *et al.* (2018), cada muestra fue pasada por una columna de ácido silícico (15 x 25 cm) y la columna eluida secuencialmente con 100 mL de acetato de etilo 10, 20 y 30% en n-hexano saturado con ácido fórmico (0.5 M). Las muestras purificadas fueron disueltas en gotas de metanol y metiladas con diazometano. Una porción del extracto metilado se disolvió en piridina y se trató con trimetilclorosilano y hexiametildisilazano. Se examinaron alícuotas utilizando una cromatografía líquida de gases (GLC) Pye 104 acoplada a través de un separador de membrana de silicona a un espectrómetro de masas de doble haz AEI MS30. Las columnas de vidrio silanizado (213 x 0.2 cm) se empaquetaron con 2% de SE-33 en 80-100 Gas Chrom Q. El caudal de He fue de 25 mL/min y la temperatura de la columna se programó de 180 a 280 a 2 °C/min. La EM se determinó a 24eV a una temperatura de la fuente de 210 °C y temperatura del separador de 190°C con velocidad de barrido de 6.5 s por década de masa. Los espectros fueron reordenados por un ordenador DEC Linc 8. La identificación y cuantificación de las giberelinas se hizo comparando los espectros KRI y MS de sus derivados de ésteres metílicos de trimetilsililo con los de las muestras auténticas.

Las auxinas endógenas fueron analizadas con la técnica modificada parcialmente de cromatografía de gases y espectrometría de masas reportada por Müller *et al.* (2002), utilizando el isótopo [<sup>13</sup>C<sub>6</sub>] AIA (CLM-1896-o; Cambridge Isotope Laboratories, Inc., Andover, MA, United States) como un estándar interno. El extracto de cada muestra fue evaporado hasta obtener la fracción seca y suspendido por 5 minutos en metanol al 80% (v/v), luego secado en un concentrador centrífuga. La auxina en el extracto fue trimetilsililado con N-metil-N-trimetilsilil-trifluoroacetamida (MSTFA) a 80 °C durante 30 minutos. Las muestras fueron liofilizadas por 24 horas y luego disueltas en hexano. Cada alícuota fue inyectada a una cromatografía de gases y espectrometría de masas GC-QqQ MS (7890a-5975b; Agilent, Santa Clara, CA, United States) integrada con una columna de vidrio salinizada DB-5 (30 m x 0.25 mm x 0.10 µm; Agilent, Santa Clara, CA, United States). La temperatura de inyección e interfase se mantuvo a 260 y 280 °C, respectivamente. El gradiente de temperatura en la columna se mantuvo a 80 °C por 2 minutos, luego se incrementó a 6 °C por min<sup>-1</sup> hasta alcanzar 250 °C, seguido de 20 °C por min<sup>-1</sup> hasta alcanzar 300 °C. La molécula endógena de AIA fue identificada con el diagnóstico comparativo de muestra del tejido y el ión de isótopo [<sup>13</sup>C<sub>6</sub>] AIA referido anteriormente (Müller *et al.* 2002).

Los extractos de muestras para el análisis de citoquininas fueron purificados con la técnica de Nandí *et al.* (1990). La fracción extraída fue diluida en etanol (50%) y pasada por una columna Dowex 50 WX8 (2.5 x 13 cm), lavada con 250 mL de etanol + 150 mL de agua purificada. Esta combinación fue descartada a temperatura de 6 °C y las citoquininas presentes fueron eluidas con 50 mL 1N y 250 mL 3N de solución de amoníaco. Estas fracciones se integraron y fueron secadas en evaporador rotativo. Luego, la muestra fue recogida en metanol (20%) y alícuotas fueron pasadas a través de una columna HPLC OSD-2 (10 mm de diámetro interno x 150 mm). Las citoquininas fueron eluidas con metanol (80%) y ácido acético (5%). Estas fracciones de citoquininas permetiladas se identificaron y compararon con el estándar zeatina, utilizando un cromatógrafo de gases-espectrómetro de masas (GC-MS, QP-5000; Shimadzu Inc., Kyoto, Japón) para el análisis de monitorización de iones selectivos (SIM) con una columna capilar de sílice fundida (CBP1, 0,22 mm i d x 25 m; Shimadzu Inc., Kyoto, Japón) según Watanabe *et al.* (2008).

## Análisis estadístico

Los análisis de auxinas, giberelinas y citocininas se realizaron por triplicado bajo un diseño completamente al azar, los datos obtenidos, cuando aplicó se sometieron a una comparación de medias con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Giberelinas

El análisis de la espectrometría de masas se centró en la fragmentación de iones prominentes en el pico correspondiente al tiempo de retención de las giberelinas auténticas (Ramírez *et al.* 2018). La Tabla 1 muestra el índice de retención en kovats (KRI) y su patrón de fragmentación e intensidad relativa para las giberelinas biológicamente activas e inactivas encontradas en el tejido del fruto de frambuesa. Se observó la presencia de las giberelinas biológicamente inactivas A<sub>44</sub> y A<sub>53</sub> en la fracción del 10% de acetato de etilo/n-hexano; con un KRI de 2417 y 2512 kovats respectivamente. Las giberelinas biológicamente activas A<sub>4</sub> y A<sub>7</sub> se identificaron en la fracción del 20%. Estas hormonas endógenas mostraron un KRI de 2488 y 2416 kovats, respectivamente.

**Tabla 1.** Índice de retención (Kovats) de giberelinas en frutos de frambuesa UANC-22.

Giberelina	KRI <sup>a</sup>	Patrón de fragmentación e intensidad relativa (%)
GA <sub>4</sub>	2488	[418 (21), 403 (2), 400 (12), 386 (25), 284 (100)]
GA <sub>7</sub>	2416	[416 (10), 193 (12), 179 (5), 155 (13)]
GA <sub>44</sub>	2417	[492 (26), 293(81), 251(26), 238(5), 209 (100), 207 (90), 193 (11)]
GA <sub>53</sub>	2512	[432 (52), 251 (7), 238 (42), 207 (100), 193 (10), 180 (12)]

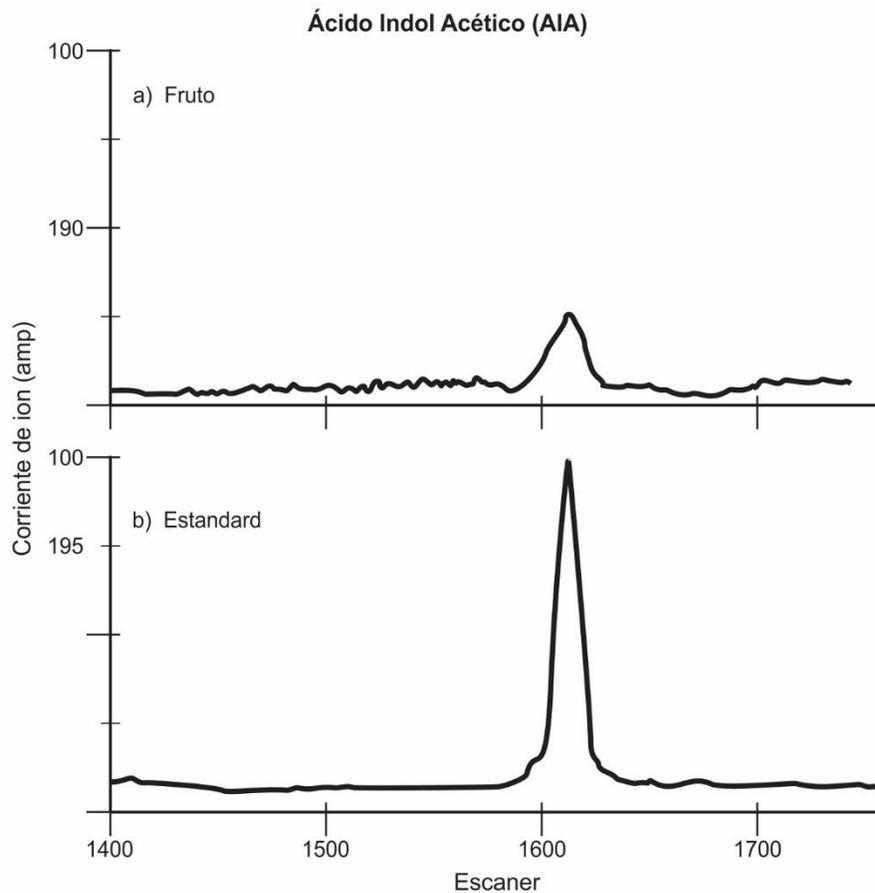
<sup>a</sup>Kovats, media de tres réplicas.

### Auxinas

La presencia de la auxina ácido indol acético (AIA) fue detectada en el tejido del fruto de frambuesa en desarrollo. Esta hormona fue primeramente identificada a través del escaneo al ser comparada con la referencia del isótopo [<sup>13</sup>C<sub>6</sub>] AIA (Figura 1) y posteriormente en la cromatografía de gases y espectrometría de masas refiriendo su espectro de masas con el estándar de la auxina señalada (Figura 2). La molécula del ácido indol acético mostró un máximo de 197 de rango de masa y una intensidad relativa del 100%.

### Citocininas

Se identificó la citocinina endógena zeatina (Z), en espectro de masas de la Figura 3. La presencia de esta hormona fue evidente al comparar su espectro de masas con el estándar correspondiente durante el proceso de análisis con la cromatografía de gases y espectrometría de masas. La molécula de zeatina mostró un máximo de 342 de rango de masa y una intensidad relativa del 24%.

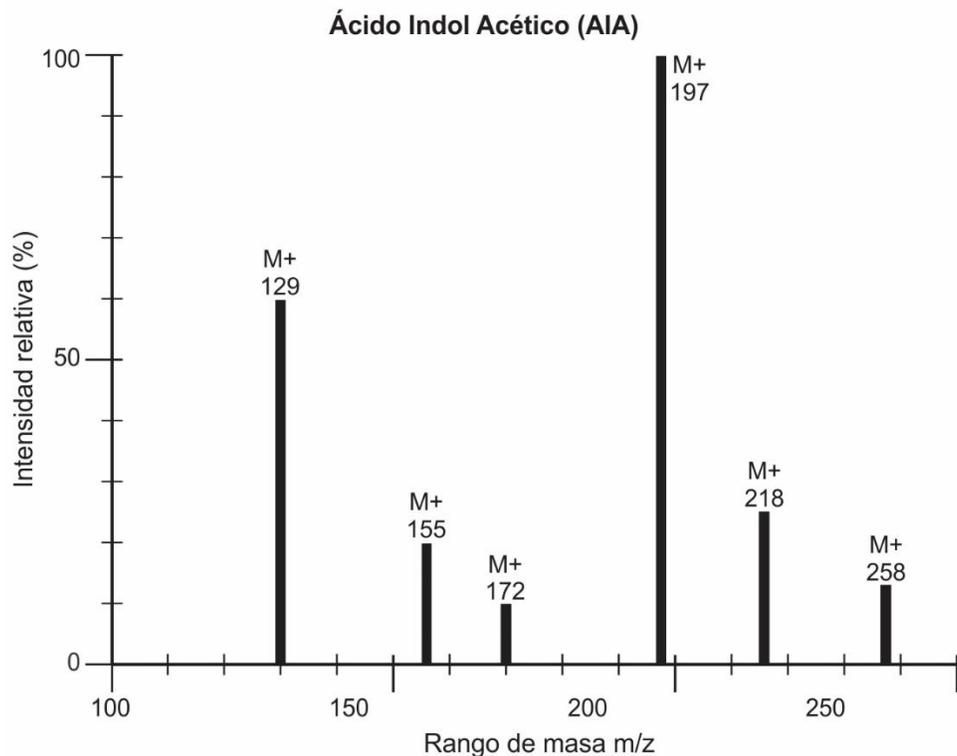


**Figura 1.** Cromatograma del ión escáner de ácido indol acético en fruto de frambuesa cv UANC-2022 (a) y su comparativo con el isótopo [<sup>13</sup>C<sub>6</sub>] AIA estándar (b). Cada pico representa la media de tres replicas.

La identificación de las giberelinas A<sub>4</sub>, A<sub>7</sub>, A<sub>44</sub> y A<sub>53</sub> en los frutos de frambuesa (Tabla 1) puede contribuir a enriquecer el conocimiento de estas hormonas en su crecimiento y desarrollo. La presencia de giberelinas A<sub>4</sub> y A<sub>7</sub> en el fruto podría reflejar la importancia de estas hormonas en el proceso de crecimiento como lo señalan varios autores (Alhonmeen *et al.* 2020, Tombegavani *et al.* 2020). Está bien establecido que cuando se aplican GA<sub>4</sub> y GA<sub>7</sub> exógenas ambas hormonas estimulan el crecimiento del fruto en tomate, pimiento y otros cultivos (Bakrim *et al.* 2007 y Ramírez *et al.* 2016). Las giberelinas A<sub>4</sub> y A<sub>7</sub> son hormonas endógenas que se desplazan por diferentes órganos de la planta; mientras que las giberelinas A<sub>44</sub> y A<sub>53</sub> se clasifican como hormonas biológicamente inactivas (Ramírez *et al.* 2018, Alhonmeen *et al.* 2020, Tombegavani *et al.* 2020).

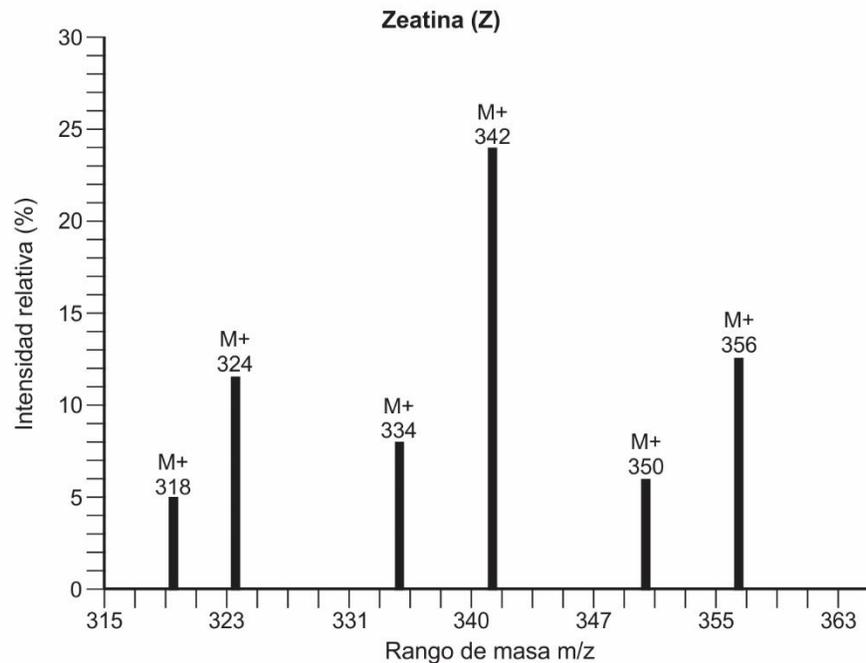
La identificación de las giberelinas A<sub>4</sub>, A<sub>7</sub>, A<sub>44</sub> y A<sub>53</sub> en esta investigación y reportes previos (Pichardo-González *et al.* 2018, Tombegavani *et al.* 2020), permiten hipotetizar sobre el grado en que las giberelinas pudieran estar involucradas en la fase de crecimiento del fruto de la frambuesa. La tasa de hidroxilación se ha relacionado con el movimiento de las giberelinas dentro de la planta (Ramírez *et al.* 2018). La inyección de giberelinas marcadas a tejido de frutos intactos ha demostrado que cierto grado de hidroxilación es necesario para su movimiento. La GA<sub>53</sub> es una hormona inmóvil (Ramírez *et al.* 2018); mientras que, la GA<sub>3</sub> (Ramírez *et al.* 2016, Pichardo-

González *et al.* 2018) y la GA<sub>4</sub> (Tabla 1) se desplazan del fruto al tejido del dardo en manzano (Ramírez *et al.* 2016). Por lo tanto, las giberelinas A<sub>44</sub> y A<sub>53</sub> pueden estar inmovilizadas por su falta de hidroxilación. Se sabe que la [<sup>3</sup>H]-GA<sub>4</sub> se desplaza fuera de los frutos hacia el brote del dardo sin ser hidroxilada (Ramírez *et al.* 2018). Por lo tanto, con estos resultados, las giberelinas más altamente hidroxiladas GA<sub>4</sub> y GA<sub>7</sub> (Pichardo-González *et al.* 2018, Singkaew *et al.* 2018, Ramírez *et al.* 2021) pudieran tener un rol en el proceso de crecimiento de la frambuesa; mientras que las giberelinas A<sub>44</sub> y A<sub>53</sub> al carecer de hidroxilación, parecen no participar en el proceso referido al compararlas con las GA<sub>4</sub> y GA<sub>7</sub> que poseen más grupos hidroxilo (Tabla 1). La presencia de estas giberelinas en el fruto abre nuevas posibilidades para explicar la forma en que pueden ejercer su efecto durante su crecimiento y desarrollo.



**Figura 2.** Espectro de masas para ácido indol acético (AIA) presente en frutos de frambuesa cv UANC-2022. Datos representan la media de tres replicas.

La presencia de auxinas en frutos en desarrollo ha sido reportada en drupas como ciruelo, chabacano y durazno (DeJong 2022, Ghareshkeikbayat y Pirkhezri 2022) y en pomáceas como manzano (Busatto *et al.* 2022, Griffith *et al.* 2022). Las auxinas contribuyen a mejorar la calidad de fruta cosechada y conservar su calidad comestible en postcosecha (Morales-Payan 2022). El ácido indol acético es la molécula que con mayor frecuencia es identificada en esas especies y se relaciona como un estimulante del crecimiento del fruto en su primera fase (Bu *et al.* 2020, Costa y Botton 2022). Lo anterior refleja la importancia de esta hormona endógena que también podría ejercer un rol fisiológico durante el crecimiento y desarrollo inicial del fruto de frambuesa (Miransari y Smith 2014).



**Figura 3.** Espectro de masas para zeatina (Z) presente en frutos de frambuesa cv UANC-2022. Datos representan la media de tres replicas.

La posible participación de las citocininas endógenas en el proceso de crecimiento del fruto en frambuesa no es concluyente. El uso de citocininas exógenas estimula el crecimiento del fruto en chile jalapeño y chile habanero (Ramírez *et al.* 2016, Honda *et al.* 2017). Al respecto, Aremu *et al.* (2020) reportaron incrementos en el rendimiento y la calidad de frutos cuando se aplican citocininas exógenas a varias especies frutales. Existe evidencia que las citocininas estimulan el crecimiento de la fruta cuando se presenta una deficiencia en la función fisiológica de la semilla (Ding *et al.* 2013). Mientras que Matsuo *et al.* (2012) establecieron el papel de la regulación de las citocininas en el desarrollo del fruto. La identificación de Z en este estudio es respaldada por los informes de Emery *et al.* (2000) quienes encontraron cis-zeatina y trans-zeatina durante el desarrollo del fruto en el altramuz blanco y por Rijavec y Dermastia (2010), quienes señalaron la importancia de esta citocinina en el desarrollo del fruto.

Se concluye que las hormonas endógenas giberelinas A<sub>4</sub>, A<sub>7</sub>, A<sub>44</sub> y A<sub>53</sub>; auxina ácido indol acético y la citocinina zeatina están presentes en frutos de frambuesa cv UANC-2022.

### CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

## LITERATURA CITADA

- Alghonmeen O, Al-sharafa K, Allimoun M, Khleifat K, Al-Dein E, Al-ramamneh EA (2020) Assesment of exogenous application of plant growth regulators on Crees seed germination and  $\beta$ -Galactosidase activity. *Plant Science Today* 7: 257-263. <https://doi.org/10.14719/pst.2020.7.2.743>
- Aremu AO, Fawole OA, Makunga NP, Masondo NA, Moyo NA, Buthelezi NMD, Amoo SO, Spíchal L, Doležal L (2020) Applications of cytokinins in horticultural fruit crops: Trends and future prospects. *Biomolecules* 10: 2-68. <https://doi.org/10.3390/biom10091222>
- Bakrim A, Lamhamdi M, Sayah F, Chibi F (2007) Effects of plant hormones and 20-hydroxyecdysone on tomato (*Lycopersicon esculentum*) seed germination and seedlings growth. *African Journal of Biotechnology* 6: 2792-2802.
- Bu H, Yu W, Yuan H, Yue P, Wei Y, Wang Y (2020) Endogenous auxins content contributes to larger size of apple fruit. *Frontier Plant Science* 11: 1-11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.592540>
- Busatto N, Moretto M, Farnetti B, Populin F, Vrhovsek U, Commisso M, Sonego P, Biasioli F, Guzzo F, Fontana P, Costa F (2022) Auxin is part of the regulatory circuit that sustains the ripening initiation in apple fruit. *Acta Horticulture* 1344: 203-210. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1344.30>
- Costa G, Botton A (2022) Plant bioregulators: do we still need them? *Acta Horticulturae* 1344: 193-202. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1344.29>
- DeJong TM (2022) Understanding factors influencing peach fruit development and growth. *Acta Horticulture* 1352: 55-62. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1352.7>
- Ding J, Chen B, Xia X, Mao W, Shi K, Zhou Y, Yu J (2013) Cytokinin-induced parthenocarpic fruit development in tomato is partly dependent on enhanced gibberellins and auxin biosynthesis. *PLOS One* 8(7): 1-11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070080>
- Emery RN, Qifu M, Atkins CA (2000) The forms and sources of cytokinins in developing white Lupine seeds and fruits. *Plant Physiology* 123: 1593-1604. <https://doi.org/10.1104/pp.123.4.1593>
- Ghahreshikhbayat R, Pirkhezri M (2022) Evaluation of side effects of growth regulators as anti-frost in apricots and plums on fertility characteristics. *Acta Horticulture* 1344: 17-22. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1344.4>
- Griffith C, Beaudry R, Einhorn T (2022) Auxins promote vascular function and reduce bitter pit of Honey crisp apples. *Acta Horticulture* 1344: 65-71. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1344.10>
- Honda I, Matsunaga H, Kikuchi K, Matuo S, Fukuda M, Imanishi S (2017) Involvement of cytokinins, 3-indoleacetic acid and gibberellins in early fruit growth pepper (*Capsicum annuum* L.). *The Horticulture Journal* 86: 52-60. <https://doi.org/10.2503/hortj.MI-120>
- Matsuo S, Kikuchi K, Fukuda M, Honda I, Imanishi S (2012) Roles and regulation of cytokinins in tomato fruit development. *Journal of Experimental Botany* 63: 5569-5579. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers207>
- Miransari M, Smith DL (2014) Plant hormones and seed germination. *Environmental and experimental Botany* 99: 110-121. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.11.005>
- Morales - Payan JP (2022) Effects of bioregulators and storage temperature on the postharvest preservation of the tropical fruit (*melococcus bijugatus*). *Acta Horticulture* 1344: 249-252. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1344.37>
- Müller A, DÜchting P, Weiler EW (2002) A multiplex GC-MS/MS technique for the sensitive and quantitative single-run analysis of acidic phytohormones and related compounds, and its application to *Arabidopsis thaliana*. *Planta* 216: 44-56. <https://doi.org/10.1007/s00425-002-0866-6>
- Nandi SK, Palni LMS, Parker CAW (1990) Dynamics of endogenous cytokinins during the growth cycle of a hormone-autotrophic genetic tumor line of tobacco. *Plant Physiology* 94: 1084-1089.
- Pichardo-González JM, Guevara-Olvera L, Covoh-Uicab Y, González-Cruz L, Bernardino-Nicanor A, Medina, HR, González-Chavira MM, Acosta-García G (2018) Effects of gibberellins on the yield of jalapeño pepper (*Capsicum annuum* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9: 925-934.
- Ramírez H, Zavala-Ramírez MG, Sánchez-López A, Aguilar-Zarate P, Cristóbal-Aguilar N, Rodríguez-García R, Jasso-Cantú D, Zermeño-González A, Villarreal-Quintanilla JA, López-Fabian A (2016) Tomato responses to biorregulators grown under greenhouse conditions. *International Journal of Plant & Soil Science* 10(6): 1-13. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2016/25682>

- Ramírez H, Alvizo-Medrano BY, Melendres-Álvarez AI, Jasso-Cantú D, Villarreal-Quintanilla JA, Rodríguez-García R (2018) Pomological characteristics and gibberellins identification on Golden Delicious Apple mutants. *Acta Horticulture* 1206: 43-50. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1206.6>
- Ramírez H, Macías-Castillo UA, Melendres-Álvarez AI, Castillo-Robles MC, Zermeño-González A, Jasso-Cantú D, Villarreal-Quintanilla JA (2021) Endogenous hormones in habanero pepper seeds. *International Journal of Plant & Soil Science* 33: 9-18. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2021/v33i1230482>
- Rijavec T, Dermastia M (2010) Cytokinins and their function in developing seeds. *Acta Chime Slovenia* 57: 617-629.
- Sansavini S, Costa G, Gucci G, Inglese P, Ramina A, Xiloyannis C, *et al.* (2019) Principles of modern fruit science-the ultimate textbook: understanding the fundamentals of plant science. ISH. Leuven Belgium. 421.
- SADER (2021) Crece a doble dígito de producción y exportación de frambuesas mexicanas. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/crecen-a-doble-digito-produccion-y-exportacion-de-frambuesas-mexicanas> Fecha de consulta: 20 de noviembre de 2021
- Singkaew J, Nishijima T, Photchanachai S (2018) Effects of tomato seed maturity on seed quality and endogenous hormones. *Acta Horticulturae* 1208: 355-362.
- Tombegavani SS, Zahedi B, Fard SM, Ahmadpour A (2020) Response of germination and seedling growth of pepper cultivars to seed priming by plant growth regulators. *International Journal of Horticultural Science and Technology* 7: 59-68. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2020.274293.275>
- Watanabe M, Bessho H, Suzuki A, Komori S (2008) Seasonal changes of IAA and cytokinin in shoots of columnar type apple trees. *Acta Horticulturae* 774: 75-80. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.774.8>