



BIORREGULADORES Y BIOESTIMULANTES EN EL DESARROLLO, CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE FRUTO DE ARÁNDANO BILOXI

BIOREGULATORS AND BIOSTIMULANTS ON DEVELOPMENT, GROWTH AND FRUIT YIELD OF BLUEBERRY CV. BILOXI

Iraís García-Vázquez, Guillermo Calderón-Zavala*
y Ma. de Lourdes Arévalo-Galarza

Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Fruticultura, Texcoco, Estado de México, México

*Autor de correspondencia (cazagu@colpos.mx)

RESUMEN

En México, el arándano azul cv. Biloxi ha tenido éxito en zonas tropicales y subtropicales por su bajo requerimiento de frío; sin embargo, estas condiciones pueden limitar la iniciación de botones florales de forma organizada, por lo que se debe mejorar y concentrar la brotación de yemas reproductivas para aumentar rendimiento. Se realizó un experimento con la aplicación foliar de biorreguladores y bioestimulantes en plantas de arándano cv. Biloxi en condiciones de invernadero, con el objetivo de evaluar el efecto en la brotación de yemas axilares, crecimiento y rendimiento, en espera de un impacto positivo en dichas variables, ya que estos compuestos modifican o estimulan procesos de desarrollo dentro de la planta. Se aplicaron cinco tratamientos con biorreguladores (tidiazurón, ácido giberélico y ácido glutámico) y bioestimulantes (extracto de alga marina *Ascophyllum nodosum*). El tratamiento con TDZ (25 mg L⁻¹) + AG₃ (12.5 mg L⁻¹) + GLU (75 mg L⁻¹) aumentó un 46 % la brotación de yemas, 28 % el rendimiento de fruto, 13 % el calibre de fruto y 24 % el peso individual del fruto, lo cual mostró el efecto de los reguladores de crecimiento tipo citocinínico y giberélico en el crecimiento celular. Los tratamientos con extractos de alga *Ascophyllum nodosum* (2 mL L⁻¹) promovieron la elongación de los brotes en las plantas de arándano, así como la emisión de nuevas cañas. Los biorreguladores coadyuvaron a lograr mayor rendimiento, mientras que la aplicación de bioestimulantes no logró aumentar rendimientos; sin embargo, el bioestimulante tuvo efectos positivos en la emisión de cañas, aspecto importante a considerar en los ciclos subsecuentes de producción.

Palabras clave: *Vaccinium* ssp., hormonas exógenas, producción, sustancias bioactivas.

SUMMARY

In Mexico, blueberry cv. Biloxi has been successfully adapted to tropical and subtropical zones due to its low-chill requirement; however, these conditions might limit the initiation of flower buds in an organized manner, so the sprouting of reproductive buds must be improved and concentrated to increase yield. An experiment was carried out with foliar application of bioregulators and biostimulants in blueberry plants cv. Biloxi under greenhouse conditions, in order to evaluate their effect on the sprouting of axillary buds, growth and yield, expecting a positive impact on such traits, since these compounds modify or stimulate development processes within the plant. Five treatments were applied using bioregulators (thidiazuron, gibberellic acid and glutamic acid) and biostimulants (*Ascophyllum nodosum* seaweed extract). Treatment with TDZ (25 mg L⁻¹) + AG₃ (12.5 mg L⁻¹) + GLU (75 mg L⁻¹) increased the sprouting of buds by 46 %, plant yield by 28 %, fruit size by 13 % and individual fruit

weight by 24 %, showing the effect of cytokinin and gibberellin on cell growth. Treatments with *Ascophyllum nodosum* algae extracts (2 mL L⁻¹) promoted the elongation of shoots in blueberry plants, as well as the emission of new canes. Bioregulators helped to achieve higher yield, while the application of biostimulants failed to increase yield; however, biostimulant had positive effects on cane emission, an important aspect to consider in subsequent production cycles.

Index words: *Vaccinium* ssp., bioactive substances, exogenous hormones, production

INTRODUCCIÓN

El arándano (*Vaccinium* spp.) es un cultivo que pertenece al grupo de frutos pequeños, tiene una elevada acumulación de antioxidantes y otros compuestos que son benéficos para la salud, es por ello que su popularidad y consumo ha aumentado en los últimos años (Ktenioudaki et al., 2021; Qu et al., 2017). México es el sexto productor a nivel mundial (SIAP, 2022), tiene un gran potencial de aumentar la producción y convertirse en uno de los mayores proveedores de arándano en el mundo debido a su ubicación geográfica y a las condiciones climáticas que le permiten establecer cultivares de bajo requerimiento de frío (Salgado et al., 2018).

Biloxi es un cultivar de arbusto alto del sur liberado por el Servicio de Investigación Agrícola de Estados Unidos (Retamales y Hancock, 2018), su requerimiento de horas frío es bajo y se adapta a la mayoría de los microclimas tropicales y subtropicales en México (Salgado et al., 2018). Estas condiciones estimulan el crecimiento continuo de los brotes, limitando la iniciación de botones florales de forma organizada, lo que conlleva a una floración y producción más extendidas (Bañados, 2009).

Los biorreguladores permiten modificar procesos de desarrollo de las plantas; el ácido giberélico actúa en la expansión y división celular, por lo que promueve el

crecimiento de raíces, tallos y frutos (Gupta y Chakrabarty, 2013), induce el crecimiento de yemas (Ni *et al.*, 2015), aumenta el número de flores y adelanta la floración (Zang *et al.*, 2016), entre otros efectos, mientras que las citocininas sintéticas como tidiazurón (TDZ) suprime la dominancia apical y estimula la brotación (Debnath, 2018), se utiliza para sustituir el requerimiento de horas frío (Castro *et al.*, 2019) y promueve la división y expansión celular, lo que causa el crecimiento en frutas (Nisler, 2018).

Los bioestimulantes estimulan los procesos de nutrición vegetal, independientemente de su contenido de nutrientes, logran la eficiencia en el uso de nutrientes, inducen tolerancia al estrés abiótico y mejoran los rasgos de calidad (European Union, 2019). Los extractos de algas marinas entran en la clasificación de bioestimulantes (Du Jardín, 2015); las algas pardas, como *Ascophyllum nodosum*, son las más utilizadas en la agricultura (Khan *et al.*, 2009); debido a su contenido de compuestos bioactivos, como polisacáridos, aminoácidos, vitaminas, betaínas y fitohormonas, se les adjudica la promoción del crecimiento vegetal (Shukla *et al.*, 2019), así como la mejora en la calidad de frutos (Weber *et al.*, 2018).

El arándano presenta dominancia apical, lo que evita la brotación de yemas axilares, además de una producción concentrada en la punta del brote, que dificulta el transporte de nutrientes a la demanda y limita el rendimiento (Müller y Leyser, 2011); por ello, se utilizan herramientas que ayuden a mitigar dichos efectos y a potencializar la producción, y una de ellas es la aplicación de biorreguladores y bioestimulantes, que ha mostrado resultados positivos en varios cultivos agrícolas (Dias, 2019; Gupta *et al.*, 2021).

Lo anterior dio la pauta a establecer los objetivos de la presente investigación, enfocados a determinar el mejor tratamiento con biorreguladores y bioestimulantes que puedan tener un efecto positivo en la brotación de yemas y crecimiento en el cultivo de arándano azul y así contribuir a la mejora de su producción y rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

La investigación se realizó en un invernadero con cubierta plástica ubicado en Montecillo, Texcoco, Estado de México (19° 28' 4.26" N, 98° 53' 42.18" W) a una altitud de 2250 m.

Material vegetal y manejo agronómico

Se utilizaron plantas de arándano cv. Biloxi (Spiers *et al.*, 2002) de tres años de edad, procedentes de un vivero

comercial ubicado en Guanajuato, México y se colocaron en macetas de plástico de 26.5 L con sustrato perlita, peat moss y tezontle en relación 1:1:1 (v:v:v), a una distancia entre macetas de 20 cm y entre hileras de 60 cm. Se mantuvo un sistema de producción siempre verde. El sistema de fertirriego tuvo un gasto diario de 4 L por planta, dos riegos diarios de 30 min cada uno. Se empleó una solución de Steiner modificada y formulada al 25 %, se mantuvo un pH entre 4.5 y 5.5 con ácido sulfúrico y una conductividad eléctrica menor de 1.5 dS m⁻¹. En la primera semana de cada mes se aplicó riego sólo con agua acidificada para evitar acumulación de sales en el sustrato.

Tratamientos y diseño experimental

Se llevó a cabo un ensayo previo (24/jul/2020 a 19/feb/2021) de cinco tratamientos en plantas de arándano (seis plantas por tratamiento). Los tratamientos y dosis fueron los que se presentan en el Cuadro 1, con excepción del tratamiento 1 con biorreguladores, donde las dosis fueron: TDZ 50 mg L⁻¹ + AG₃ 25 mg L⁻¹ + GLU 150 mg L⁻¹; la aplicación de tratamientos fue foliar cada 15 días.

El experimento consistió de cinco tratamientos (Cuadro 1) en un diseño experimental completamente al azar con ocho repeticiones y una planta como unidad experimental. La aplicación de tratamientos se inició el 26 de febrero de 2021 en etapa de antesis. Las aplicaciones de los tratamientos 2, 3 y 4 fueron cada 15 días, el tratamiento 1 fue aplicado cada 30 días, debido a que en el ensayo previo, este tratamiento causó fitotoxicidad en la planta, por lo que se decidió extender el tiempo y dosis de aplicación. La aplicación fue por aspersión foliar hasta punto de goteo por la mañana para evitar las temperaturas altas del medio día. La aplicación de tratamientos terminó el 24 de septiembre de 2021. Durante este período, se registró la temperatura (mínima, media y máxima) y humedad relativa dentro del invernadero, a la altura de las plantas, con lecturas cada 5 min con un data logger (Elitech® GSP-6, San José, California, EUA).

Variables y frecuencia de medición

Para la brotación de yemas se seleccionaron de cada unidad experimental cuatro ramas homogéneas en tamaño y vigor. Al inicio de tratamientos se contó el número total de yemas de cada rama y a los 60 días después de la aplicación de tratamientos (DDAT) se contó el número de yemas brotadas en cada rama. Se calculó la brotación de cada planta con un cociente entre el número de yemas brotadas y el número total de yemas expresado en porcentaje (%), con auxilio de un contador manual (Pretul®, Truper, México). Al final de la aplicación de tratamientos en cada planta se midió la longitud de la

Cuadro 1. Tratamientos aplicados a plantas de arándano cv. Biloxi en invernadero ubicado en Montecillo, Estado de México.

Tratamiento	Descripción
T1	TDZ 25 mg L ⁻¹ + AG ₃ 12.5 mg L ⁻¹ + GLU 75 mg L ⁻¹
T2	E1 a 2 mL L ⁻¹
T3	E2 a 2 mL L ⁻¹
T4	E1 y E2 a 2 mL L ⁻¹
T5	Control

TDZ: tidiazurón (Revent, Bayer) con concentración de 42.40 %, AG₃: ácido giberélico (Gibiotín, Biochem) con concentración 8.20 %, GLU: ácido glutámico, fuente comercial con concentración 98.50 %, E1: Extracto 1 (MC Cream, Valagro) con concentración de fitoingredientes activos como betainas, aminoácidos y factores de crecimiento (precursores naturales de citocininas, auxinas y giberelinas) procedentes del alga *Ascophyllum nodosum* y enriquecido con Mn y Zn, E2: Extracto 2 (MC Set, Valagro) con concentración de fitoingredientes activos entre los que se incluyen, proteínas, aminoácidos y factores de crecimiento (precursores naturales de citocininas y betainas) extraídos del alga *Ascophyllum nodosum* y enriquecido con B y Zn.

rama más alta observable, desde la corona hasta el ápice con un Flexómetro Latintul® para registrar la altura máxima de la planta. Los datos se expresaron en cm; asimismo, se contó en cada unidad experimental el número de tallos nuevos (cañas) provenientes de la corona.

Cada semana se cuantificó la producción de frutos por planta, se pesó con una báscula digital (Base-5EP, Truper®, México) y el rendimiento se calculó con la sumatoria del peso total de la producción semanal expresado en g. El peso promedio de fruto se calculó con el cociente entre el rendimiento y el número total de frutos cosechados en la planta, expresado en g. Durante la producción se clasificaron los frutos según su diámetro en tres calibres (≤ 10 , 11-15 y ≥ 16 mm) con tamices de los diámetros respectivos. Se calculó el porcentaje de frutos que se obtuvo de cada calibre en toda la cosecha con el cociente entre el número de frutos obtenidos en cada calibre y el número total de frutos cosechados, expresado en porcentaje.

Análisis estadístico

Se verificó la homogeneidad de varianzas con la prueba de Bartlett; posteriormente, se realizó análisis de varianza para detectar diferencias entre tratamientos y después comparaciones múltiples de medias con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) mediante el paquete Agricolae versión 1.3-6 (De Mendiburi, 2023) incluido en el paquete estadístico R versión 4.0.3. (R Core Team, 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Brotación de yemas

El ensayo previo arrojó diferencias significativas entre tratamientos ($P = 9.6 \times 10^{-8}$, $F = 16.3$) el porcentaje de brotación, el tratamiento con reguladores de crecimiento TDZ + AG₃ + GLU tuvo 67 % de brotación comparado con el control, que tuvo 21 % de brotación, mientras que los tratamientos con bioestimulantes tuvieron entre 12 y 20 % de brotación. A pesar de promover la brotación, el tratamiento con biorreguladores causó fitotoxicidad en las plantas tratadas, misma que se manifestó en arrojamiento de brotes y desarrollo anormal de las yemas y flores, atribuida a la dosis elevada de 50 mg L⁻¹ de TDZ. Esta fitotoxicidad también se ha reportado en ciruelo, durazno (Calderón-Zavala y Rodríguez-Alcázar, 2000) e higo (Soberanes-Pérez *et al.*, 2020) con la aplicación de altas concentraciones de TDZ (500, 100 y 50 mg L⁻¹, respectivamente), lo que podría deberse a que TDZ presenta, por su estructura, un metabolismo lento que lo hace altamente estable (Mok y Mok, 1985), también suprime la actividad de la citocinina oxidasa que causa la acumulación de citocininas en los tejidos de la planta (Nisler, 2018) y provoca un desarrollo anormal en las plantas. En cultivo de tejidos, la aplicación de dosis altas de TDZ, así como la exposición continua por tiempos prolongados a TDZ, induce anomalías como una morfología anormal de hojas, brotes fasciados y bases de brotes hinchadas en muchas especies de plantas como *Spathiphyllum cannifolium*, *Vaccinium vitis-idaea* y *Rosa chinensis* (Chen *et al.*, 2014; Debnath, 2005; Dewir *et al.* 2006; 2018).

El uso de TDZ a bajas concentraciones y la exposición por períodos cortos podrían ser estrategias para evitar anomalías inducidas por este compuesto, aunque esto depende de cada especie (Dewir *et al.*, 2018). Derivado del primer ensayo, en el segundo experimento se redujo la concentración de TDZ y se utilizó una dosis de 25 mg L⁻¹ TDZ, que en arándano se reportó sin daños por fitotoxicidad (Loera-Alvarado *et al.*, 2017) y también se optó por una modificación en la frecuencia de aplicación del tratamiento con biorreguladores, al cambiar el lapso de 15 días a 30 días, sin modificación en la periodicidad de aplicación en tratamientos con bioestimulantes.

En el siguiente ciclo se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de brotación entre los tratamientos ($P = 7.83 \times 10^{-4}$, $F = 6.099$), la aplicación de TDZ + AG₃ + GLU mostró un 41 % de brotación, diferente estadísticamente al control que presentó 28 % de brotación, mientras que los tratamientos con extracto de algas con 32-34 % de brotación no fueron diferentes del control. Por su actividad citocinínica, TDZ induce salida

de paraletargo y endoletargo, pues en este estado el agua se encuentra unida en los tejidos latentes por efecto del ácido indolacético (Faust *et al.*, 1995), el efecto de TDZ es la liberación del agua y con ello la reanudación del crecimiento, pues provoca cambios en la membrana celular al incrementar los ácidos grasos insaturados y disminuir esteroides en ésta (Wang *et al.*, 1994); además, TDZ eleva los niveles de citocininas en la yema, pues aumenta la expresión de IPT (adenosina fosfato-isopenteniltransferasa), proteína involucrada en la síntesis de citocininas (Domagalska y Leyser, 2011). Por su parte, el efecto de AG₃ en la brotación se adjudica principalmente a la estimulación de esta hormona en la expansión celular, pues regula negativamente a las proteínas DELLA cuya función es la represión del crecimiento (Achart *et al.*, 2009), así como un aumento en la actividad mitótica del brote, ya que induce la síntesis de ADN en la fase G₁ de las células, lo que provoca una reducción de la interfase del ciclo celular (Davies, 2002); esto sugiere una promoción sinérgica de la brotación de TDZ combinado con AG₃, como se reportó en zarzamora Comanche (Galindo-Reyes *et al.*, 2004) y arándano Biloxi (Loera-Alvarado *et al.*, 2017).

Crecimiento de brotes: altura de planta y número de tallos nuevos (cañas)

La elongación de tallos mostró diferencias significativas entre tratamientos ($P = 8.36 \times 10^{-4}$, $F = 6.039$), el extracto 2 estimuló el crecimiento de los tallos, con 147 cm de altura, siendo diferente estadísticamente del control, que tuvo una altura de 129 cm. La altura de las plantas tratadas con biorreguladores fue de 111 cm, resultando menor el control. La promoción del crecimiento vegetal inducida por extractos de *Ascophyllum nodosum* (ANE) se adjudica a la modulación que éstos ejercen en las vías de síntesis de fitohormonas en las plantas (Shukla *et al.*, 2019); sin embargo, los resultados no son suficientes para deducir una total modulación por parte de los extractos de *A. nodosum* en las fitohormonas, pues su bioactividad y composición están influenciados por factores como la ubicación, temporada y estado fisiológico en el que se cosechó el alga, así como el método de extracción, dosis y frecuencia de aplicación (De Saeger *et al.*, 2020), lo que dificulta dilucidar la relación que existe entre su composición y bioactividad (Goñi *et al.*, 2016). Cabe mencionar que no sólo se adjudica el crecimiento al estímulo hormonal, recientemente se ha sugerido que los polisacáridos contenidos en los extractos de algas pueden ser responsables de los efectos potenciadores del crecimiento (Baltazar *et al.*, 2021). En *Arabidopsis*, tomate, pimiento dulce y bejerena, al aplicar ANE se observó un aumento en la altura de la planta (Ali *et al.*, 2019; Goñi *et al.*, 2016; Rayorath *et al.*, 2008; Yusuf *et al.*, 2021).

En la emisión de nuevos brotes o cañas se encontraron diferencias significativas ($P = 6.86 \times 10^{-3}$) entre los tratamientos con biorreguladores, extractos de algas 1 y 2, pero no con el control; sin embargo, los extractos 1 y 2 aumentaron el número de tallos nuevos en la planta. La aparición de estos nuevos brotes resulta importante en arándano, ya que éstos representan nuevos puntos de fructificación y garantizan la renovación de ramas productivas que permiten incrementar el potencial productivo de la planta (Medina *et al.*, 2018).

Rendimiento

En el rendimiento hubo diferencias significativas entre tratamientos ($P = 3 \times 10^{-4}$, $F = 6.91$), donde el tratamiento con TDZ + AG₃ + GLU tuvo 28 % de rendimiento más que el control, pues con los biorreguladores se obtuvieron 1.2 kg por unidad experimental, mientras que en el control y en los tratamientos con bioestimulantes se mantuvo un rendimiento por debajo de 1 kg de fruta por planta (Cuadro 2). Este aumento de rendimiento está en función del peso y tamaño de los frutos (Yang *et al.*, 2019). El fruto de las plantas tratadas con biorreguladores tuvo un peso promedio individual y tamaño mayor a los tratados con bioestimulantes y el control, esto se debe a la división y expansión celular desencadenada por las citocininas (TDZ) y giberelinas (AG₃) aplicadas a las plantas de arándano durante el período de fructificación y cosecha.

Peso promedio y calibre de fruto

El peso promedio de fruto mostró diferencias significativas entre tratamientos ($P = 8.23 \times 10^{-6}$, $F = 10.81$), el tratamiento con TDZ + AG₃ + GLU influyó positivamente en el peso individual del fruto, que fue de 1.03 g, mientras que el control tuvo un peso promedio de 0.83 g. Este mismo tratamiento afectó positivamente al calibre del arándano, ya que se obtuvo más de 13 % de frutos con calibre ≥ 16 mm de diámetro, catalogados como frutos de gran tamaño y calidad, mientras que los tratamientos con bioestimulantes y el control tuvieron un porcentaje menor al 3 % de frutos con diámetro ≥ 16 mm (Cuadro 2).

TDZ aumenta el tamaño de la fruta, pues estimula la división y expansión celular en las primeras etapas del desarrollo de la fruta (Nisler, 2018); por su parte, el ácido giberélico en frutos promueve el crecimiento al desencadenar la degradación de proteínas DELLA que reprimen el crecimiento (El-Sharkawy *et al.*, 2017) y estimula la elongación celular al cambiar las propiedades de la pared para permitir la entrada de agua, viéndose reflejado en un aumento en el volumen (Jones y Kaufman, 1983). El patrón de crecimiento de fruto del arándano es

Cuadro 2. Peso individual, rendimiento de fruto y porcentaje de frutos clasificados por calibre por efecto de tratamientos en plantas de arándano cv. Biloxi en invernadero en Montecillo, Estado de México.

Tratamiento [†]	Rendimiento de fruto (g)	Peso individual (g)	Calibre (% de la producción)		
			≤10 mm	11-15 mm	≥16 mm
Control	937.5 b	0.83 b	17.48 b	79.28 b	3.24 b
Extracto 1	812.7 b	0.73 b	25.35 a	72.69 b	1.96 b
Extracto 2	932.1 b	0.77 b	22.78 ab	74.60 ab	2.62 b
Extractos 1 y 2	950.2 b	0.78 b	23.24 ab	73.42 b	3.34 b
TDZ + AG ₃ + GLU	1204.1 a	1.03 a	9.66 c	76.86 ab	13.48 a
CV (%)	15.8	12.3	21.6	5.4	17.3
p-valor	3 × 10 ⁻⁴	8.23 × 10 ⁻⁶	5.6 × 10 ⁻⁸	0.0162	5.93 × 10 ⁻¹⁰

Medias con distinta letra en las columnas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$) ($n = 8$). TDZ: tiazurón, AG₃: ácido giberélico, GLU: ácido glutámico, Extracto 1: procedente del alga *Ascophyllum nodosum* y enriquecido con Mn y Zn, Extracto 2: procedente del alga *Ascophyllum nodosum* y enriquecido con B y Zn, Cl: clorofila, C: carotenoides, DDAT: días después de aplicación de tratamientos.

doble sigmoide (Xie *et al.*, 2018), por lo que las aplicaciones de estos biorreguladores en las diferentes etapas resultan importantes en el desarrollo del fruto, como lo muestran los resultados de este experimento.

CONCLUSIONES

La aplicación conjunta de biorreguladores TDZ, AG₃ y ácido glutámico en arándano es favorable para la promoción de la brotación de yemas axilares; sin embargo, la aplicación de TDZ puede causar fitotoxicidad. El tratamiento con reguladores tuvo impacto positivo en el rendimiento del cultivo en condiciones de invernadero. Los extractos de alga *Ascophyllum nodosum* no afectaron el rendimiento de cultivo, pero promovieron la emisión de tallos, los cuales representan nuevos puntos de fructificación en ciclos subsecuentes.

BIBLIOGRAFÍA

- Achard P., A. Gusti, S. Cheminant S., M. Alioua, S. Dhondt, F. Coppens, and P. Genschik (2009) Gibberellin signaling controls cell proliferation rate in *Arabidopsis*. *Current Biology* 19:1188-1193, <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.05.059>
- Ali O., A. Ramsubhag and J. Jayaraman (2019) Biostimulatory activities of *Ascophyllum nodosum* extract in tomato and sweet pepper crops in a tropical environment. *PloS ONE* 14:e0216710, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216710>
- Baltazar M., S. Correia, K. Guinan, N. Sajeeth, R. Bragança and B. Gonçalves (2021) Recent advances in the molecular effects of biostimulants in plants: an overview. *Biomolecules* 11:1096, <https://doi.org/10.3390/biom11081096>
- Bañados P. (2009) Expanding blueberry production into non-traditional production areas: northern Chile and Argentina, Mexico and Spain. *Acta Horticulturae* 810:439-445, <https://doi.org/10.17660/actahortic.2009.810>
- Calderón-Zavala G. and J. Rodríguez-Alcázar (2000) Thidiazuron (n-phenil-n1-(1, 2, 3-thiadiazol-5-yl) urea) as a promoter of bud

break on peach (*Prunus persica* L. Batsch) and Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 6:117-120, <https://doi.org/10.5154/r.chsh.1999.02.014>

- Castro R. J. J., M. M. Solís O., R. Castro R. y C. L. Calderón V. (2019) Minireview: Uso de fitorreguladores en el manejo de cultivos agrícolas. *Revista Frontera Biotecnológica* 13:14-18.
- Chen J., L. Wu, B. Hu, X. Yi, R. Liu, Z. Deng and X. Xiong (2014) The influence of plant growth regulators and light quality on somatic embryogenesis in China Rose (*Rosa chinensis* Jacq.). *Journal of Plant Growth Regulation* 33:295-304, <https://doi.org/10.1007/s00344-013-9371-3>
- Davies P. J. (2002) Gibberellins: regulators of plant height. In: *Plant Physiology*. 3rd edition. L. Taiz and E. Zeiger (eds.). Sinauer Associates. Sunderland, Massachusetts, USA. pp:461-492.
- De Mendiburu F. (2023) *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package version 1.3-6. National Agrarian University La Molina. La Molina, Perú. <https://cran.r-project.org/web/packages/agricolae/index.html> (October 2023).
- De Saeger J., S. Van Praet, D. Verecke, J. Park, S. Jacques, T. Han and S. Depuydt (2020) Toward the molecular understanding of the action mechanism of *Ascophyllum nodosum* extracts on plants. *Journal of Applied Phycology* 32:573-597, <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01903-9>
- Debnath S. C. (2005) Micropropagation of lingonberry: influence of genotype, explant, orientation and overcoming TDZ-induced inhibition of shoot elongation using zeatin. *HortScience* 40:185-188, <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.1.185>
- Debnath S. C. (2018) Thidiazuron in micropropagation of small fruits. In: *Thidiazuron: From Urea Derivative to Plant Growth Regulator*. N. Ahmad and M. Faisal (eds.). Springer Nature. Singapore. pp:139-158, https://doi.org/10.1007/978-981-10-8004-3_6
- Dewir Y. H., D. Chakrabarty, E. J. Hahn and K. Y. Paek (2006) A simple method for mass propagation of *Spathiphyllum cannifolium* using an airlift bioreactor. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant* 42:291-297, <https://doi.org/10.1079/IVP2006764>
- Dewir Y. H., N. Y. Nurmansyah and J. A. Teixeira (2018) Thidiazuron-induced abnormalities in plant tissue cultures. *Plant Cell Reports* 37:1451-1470, <https://doi.org/10.1007/s00299-018-2326-1>
- Dias J. P. T. (2019) Plant growth regulators in horticulture: practices and perspectives. *Biotechnologia Vegetal* 19:3-14.
- Domagalska M. A. and O. Leyser (2011) Signal integration in the control of shoot branching. *Nature Reviews Molecular Cell Biology* 12:211-221, <https://doi.org/10.1038/nrm3088>
- Du Jardin P. (2015) Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae* 196:3-14,

- <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- El-Sharkawy I., S. Sherif, M. Abdulla and S. Jayasankar (2017) Plum fruit development occurs via gibberellin-sensitive and -insensitive DELLA repressors. *PLoS ONE* 12:e0169440, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169440>
- European Union (2019) Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019. EUR-Lex, Official Journal of the European Union L107/1, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32019R1009> (November 2021).
- Faust M., D. Liu, S. Y. Wang and G. W. Stutte (1995) Involvement of apical dominance in winter dormancy of apple buds. *Acta Horticulturae* 395:47-56, <https://doi.org/10.17660/actahortic.1995.395.4>
- Galindo-Reyes M., V. A. González-Hernández, A. Muratalla-Lúa, M. R. Soto-Hernández y M. Livera-Muñoz (2004) Producción forzada en zarzamora 'Comanche' mediante reguladores de crecimiento. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 10:205-209, <https://doi.org/10.5154/r.chsh.2001.09.058>
- Goñi O., A. Fort, P. Quille, P. McKeown, C. Spillane and S. O'Connell (2016) Comparative transcriptome analysis of two *Ascophyllum nodosum* extract biostimulants: same seaweed but different. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 64:2980-2989, <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b00621>
- Gupta R. and S. K. Chakrabarty (2013) Gibberellic acid in plant. Still a mystery unresolved. *Plant Signaling & Behavior* 8:e25504, <https://doi.org/10.4161/psb.25504>
- Gupta S., M. Kulkarni, J. White, W. Stirk, H. Papenfus, K. Doležal, ... and J. Van Staden (2021) Categories of various plant biostimulants – mode of application and shelf-life. In: *Biostimulants for Crops from Seed Germination to Plant Development. A Practical Approach*. S. Gupta and J. V. Staden (eds.). Academic Press. San Diego, California, USA. pp:1-60, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823048-0.00018-6>
- Jones R. L. and P. B. Kaufman (1983) The role of gibberellins in plant cell elongation. *Critical Reviews in Plant Sciences* 1:23-47, <https://doi.org/10.1080/07352688309382170>
- Khan W., U. P. Rayirath, S. Subramanian, M. N. Jithesh, P. Rayorath, D. M. Hodges, ... and B. Prithiviraj (2009) Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation* 28:386-399, <https://doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x>
- Ktenioudaki A., C. P. O'Donnell, J. P. Emond and M. C. N. Nunes (2021) Blueberry supply chain: critical steps impacting fruit quality and application of a boosted regression tree model to predict weight loss. *Postharvest Biology and Technology* 179:111590, <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111590>
- Loera-Alvarado M., G. Calderón-Zavala, P. Sánchez-García y A. Rebollar-Alviter (2017) Aspersión de thidiazurón y ácido giberélico combinado con poda sobre fenología del arándano (*Vaccinium* spp.). *Agroproductividad* 10:121-127.
- Medina R. B., T. E. Cantuarias-Avilés, S. F. Angolini and S. R. da Silva (2018) Performance of 'Emerald' and 'Jewel' blueberry cultivars under no-chill incidence. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 48:147-152, <https://doi.org/10.1590/1983-40632018v48s2093>
- Mok M. C. and D. W. S. Mok (1985) The metabolism of [¹⁴C]-tMdiaziroii in callus tissues of *Phaseolus lunatus*. *Physiologia Plantarum* 65:427-432, <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1985.tb08668.x>
- Müller D. and O. Leyser (2011) Auxin, cytokinin and the control of shoot branching. *Annals of Botany* 107:1203-1212, <https://doi.org/10.1093/aob/mcr069>
- Ni J., C. Gao, M. S. Chen, B. Z. Pan, K. Ye and Z. F. Xu (2015) Gibberellin promotes shoot branching in the perennial woody plant *Jatropha curcas*. *Plant and Cell Physiology* 56:1655-66, <https://doi.org/10.1093/pcp/pcv089>
- Nisler J. (2018) TDZ: mode of action, use and potential in agriculture. In: *Thidiazuron: From Urea Derivative to Plant Growth Regulator*. N. Ahmad and M. Faisal (eds.). Springer. Singapore. pp:37-60, https://doi.org/10.1007/978-981-10-8004-3_2
- Qu S., A. J. Lamm and J. N. Rumble (2017) Marketing power berries: an importance-performance analysis of blueberry. *Journal of Applied Communications* 10:1-4, <https://doi.org/10.4148/1051-0834.1842>
- R Core Team (2013) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/> (October 2023)
- Rayorath P., M. N. Jithesh, A. Farid, W. Khan, R. Palanisamy, S. D. Hankins, ... and B. Prithiviraj (2008) Rapid bioassays to evaluate the plant growth promoting activity of *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. using a model plant, *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. *Journal of Applied Phycology* 20:423-429, <https://doi.org/10.1007/s10811-007-9280-6>
- Retamales J. y J. F. Hancock (2018) Arándanos. Acribia. Zaragoza, España. 410 p.
- Salgado V. C., P. Sánchez-García, V. Volke-Haller y M. T. B. Colinas L. (2018) Respuesta agronómica de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) al estrés osmótico. *Agrociencia* 52:231-239.
- Shukla P. S., E. G. Mantin, M. Adil, S. Bajpai, A. T. Critchley and B. Prithiviraj (2019) *Ascophyllum nodosum*-based biostimulants: sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance and disease management. *Frontiers in Plant Science* 10:655, <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00655>
- SIAP, Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (2022) Panorama agroalimentario. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México, 217 p.
- Soberanes-Pérez A., G. Calderón-Zavala, A. López-Jiménez y H. E. Alvarado-Raya (2020) Biorreguladores para la producción de higo bajo condiciones de invernadero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 43:61-469, <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.1.61>
- Spiers J. M., S. J. Stringer, A. D. Draper and C. L. Gupton (2002) 'Biloxi' Southern highbush blueberry. *Acta Horticulturae* 574:153-155, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.574.21>
- Wang S. Y., M. Faust and M. J. Line (1994) Apical dominance in apple (*Malus domestica* Borkh): the possible role of indole-3-acetic acid (IAA). *Journal of the American Society for Horticultural Science* 119:1215-1221, <https://doi.org/10.21273/JASHS.119.6.1215>
- Weber N., V. Schmitzer, J. Jakopic and F. Stampar (2018) First fruit in season: seaweed extract and silicon advance organic strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) fruit formation and yield. *Scientia Horticulturae* 242:103-109, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.07.038>
- Xie Z. S., H. R. Du, D. F. Xiang and Y. S. Qi (2018) The changes of anatomical structure of vascular bundles and water transport in blueberry fruit during different growth and development stages. *Plant Physiology Journal* 54:45-53, <https://doi.org/10.13592/j.cnki.ppj.2017.0517>
- Yang L., K. Cai, H. Huang, Y. Zhang, Y. Zong, S. Wang, ... and W. Guo (2019) Comparative analysis of anatomy, gene expression of *Vaccinium corymbosum* cyclins and cyclin dependent kinases during the flower bud and fruit ontogeny. *Scientia Horticulturae* 251:252-259, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.028>
- Yusuf R., Mahfudz, Muhandi, A. Syakur, H. Mas'ud, B. Latarang, ... and P. Kristiansen (2021) Application of local seaweed extracts to increase the growth and yield eggplant (*Solanum melongena* L.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 681:012019, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/681/1/012019>
- Zang Y. X., I. J. Chun, L. L. Zhang, S. B. Hong, W. W. Zheng and K. Xu (2016) Effect of gibberellic acid application on plant growth attributes, return bloom and fruit quality of rabbiteye blueberry. *Scientia Horticulturae* 200:13-18, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.057>