

Artículo de divulgación

## **Brasinoesteroides: estructura, biosíntesis y función en la regulación del crecimiento y la adaptación de las plantas**

*Brassinosteroids: structure, biosynthesis and function in the regulation of plant growth and adaptation*

Jorge Armando Cervantes Gómez <sup>1,\*</sup> 

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico Superior de Los Reyes, Carretera Los Reyes-Jacona Km 3, 60300, Los Reyes de Salgado Michoacán, México.

\* Autor para correspondencia: [armandocervantes@outlook.com](mailto:armandocervantes@outlook.com)

**Recibido:**

7/04/2025

**Aceptado:**

20/02/2026

**Publicado:**

23/02/2026

### RESUMEN

Las hormonas vegetales son moléculas señalizadoras que se encuentran en concentraciones bajas dentro de los diferentes órganos de las plantas y que ejercen un papel determinante en la regulación de los procesos fisiológicos y del desarrollo. A nivel celular, actúan como mediadores bioquímicos capaces de activar rutas metabólicas específicas, modular la expresión génica y desencadenar respuestas que se traducen en cambios morfológicos, los cuales abarcan desde la elongación y diferenciación celular hasta la organogénesis y la formación de nuevos individuos. Debido a su influencia directa sobre la división, expansión y especialización de los tejidos, el estudio de su biosíntesis, transporte y mecanismo de acción representa un eje central en la investigación en fisiología vegetal. Estas sustancias se sintetizan de manera endógena en distintos tejidos vegetales; sin embargo, también han sido producidas de forma exógena con fines experimentales y agronómicos, lo que ha permitido profundizar en la comprensión de sus efectos fisiológicos y su potencial aplicación en sistemas de producción agrícola. Entre las principales fitohormonas se encuentran las giberelinas, auxinas, citoquininas, etileno, ácido jasmónico y ácido abscísico, así como una clase de descubrimiento relativamente reciente: los brasinoesteroides. Cada uno de estos grupos hormonales posee funciones diferenciadas, pero altamente interrelacionadas, dentro del metabolismo vegetal. En particular, los brasinoesteroides constituyen un grupo de hormonas esteroidales que desempeñan un papel esencial en la regulación integral del crecimiento y desarrollo de la planta. Diversos estudios han demostrado que participan activamente en la división y elongación celular, la diferenciación de tejidos vasculares, la fotomorfogénesis y la modulación de respuestas frente a factores de estrés tanto biótico como abiótico. Asimismo, su interacción sinérgica con otras fitohormonas fortalece los mecanismos de adaptación y plasticidad fisiológica de las plantas ante condiciones ambientales adversas. Esta capacidad de integración hormonal posiciona a los brasinoesteroides como un campo de investigación estratégico para la optimización fisiológica y el mejoramiento productivo de los cultivos desde una perspectiva científica y sostenible.

**Palabras clave:** Enzimas, Fitohormonas, Morfología, Señalización, Organogénesis.

### ABSTRACT

Plant hormones are signaling molecules that are found in low concentrations within the different organs of plants and play a decisive role in regulating physiological processes and



development. At the cellular level, they act as biochemical mediators capable of activating specific metabolic pathways, modulating gene expression and triggering responses that translate into morphological changes, which range from cell elongation and differentiation to organogenesis and the formation of new individuals. Due to its direct influence on the division, expansion and specialization of tissues, the study of their biosynthesis, transport and mechanism of action represents a central axis in research in plant physiology. These substances are synthesized endogenously in different plant tissues; however, they have also been produced exogenously for experimental and agronomic purposes, which has allowed for a deeper understanding of their physiological effects and their potential application in agricultural production systems. Among the main phytohormones are gibberelins, auxins, cytokinins, ethylene, jasmonic acid and abscisic acid, as well as a relatively recent discovery class: brassinosteroids. Each of these hormone groups has distinct but highly interrelated functions within plant metabolism. In particular, brassinosteroids constitute a group of steroid hormones that play an essential role in the comprehensive regulation of plant growth and development. Several studies have shown that they are actively involved in cell division and elongation, vascular tissue differentiation, photomorphogenesis and modulation of responses to both biotic and abiotic stress factors. In addition, their synergistic interaction with other phytohormones strengthens the adaptation mechanisms and physiological plasticity of plants to adverse environmental conditions. This ability of hormonal integration positions the brassinosteroids as a strategic research field for physiological optimization and productive improvement of crops from a scientific and sustainable perspective.

**Keywords:** Enzymes, Morphology, Organogenesis, Phytohormones, Signaling.

## INTRODUCCIÓN

En el contexto actual de la agricultura, el incremento sostenido de la población ha impulsado una intensificación en los sistemas de producción vegetal, orientada a maximizar el rendimiento y acelerar los ciclos de cultivo. Este escenario ha favorecido el uso continuo de agroquímicos, fertilizantes sintéticos y reguladores de crecimiento con el objetivo de estimular los procesos metabólicos de las plantas (Guajardo, 2023). Sin embargo, dicha aceleración productiva ha generado efectos adversos sobre el ambiente y sobre la propia fisiología vegetal, evidenciando la necesidad de desarrollar alternativas que optimicen el crecimiento y la productividad sin comprometer el equilibrio ecológico. En este sentido, la investigación vegetal se ha enfocado en comprender y aprovechar los mecanismos internos de regulación hormonal de las plantas como una vía más sostenible y eficiente.

Las plantas, al ser organismos sésiles, poseen una notable capacidad de adaptación y autorregulación frente a factores ambientales como la radiación solar, la disponibilidad hídrica, la temperatura, el viento y la

humedad. Esta capacidad está mediada por un complejo sistema de señalización hormonal que coordina el crecimiento, la diferenciación celular y el desarrollo de órganos (Porta y Jiménez, 2020). Las fitohormonas (auxinas, giberelinas, citoquininas y etileno) actúan en concentraciones muy bajas, pero con efectos fisiológicos determinantes, regulando desde la elongación celular hasta la floración y la maduración de los tejidos.

Particularmente, las auxinas intervienen en la expansión y diferenciación celular, promoviendo procesos como la síntesis de ATP, la activación de vesículas celulares y la regulación de la expresión génica (Fernández, 2020). Las giberelinas, por su parte, participan en la elongación del tallo y en la modulación de otras fitohormonas, potenciando el crecimiento estructural de la planta. Las citoquininas, reconocidas por su papel en la división celular, influyen directamente en la formación de órganos y en la actividad meristemática, destacando compuestos como la zeatina, identificada inicialmente en semillas de maíz y posteriormente en el endospermo del coco (Imán, 2018; Martínez, 2021).

Dentro de este sistema hormonal, los brasinoesteroides han adquirido especial relevancia por su amplia



influencia en el metabolismo vegetal. Descubiertos a partir de extractos de polen de especies de la familia Brassicaceae (Mitchell et al. 1970), estos compuestos esteroidales fueron reconocidos posteriormente como un grupo hormonal independiente. Su acción se relaciona con la activación de enzimas como la S-adenosilmetionina descarboxilasa (SAMDC), favoreciendo procesos de división celular, desarrollo vascular y elongación de tejidos, además de incrementar la tolerancia al estrés por salinidad, sequía y ataques de plagas (Nolan et al. 2020). Se han identificado más de 45 brasinoesteroides, considerados el sexto grupo de fitohormonas, con efectos directos en la germinación, la rizogénesis, la floración, la abscisión y la maduración de los cultivos (Hernández y García, 2016).

En conjunto, el estudio de las fitohormonas representa una herramienta estratégica para comprender los procesos fisiológicos que determinan el rendimiento vegetal. Su aplicación racional y basada en fundamentos científicos permite potenciar el desarrollo de los cultivos desde una perspectiva más sustentable, priorizando el equilibrio metabólico de la planta y su interacción con el entorno.

## LOS BRASINOESTEROIDES Y SU ESTRUCTURA QUÍMICA

Los brasinoesteroides (Br) son de origen químico que actúan en las plantas como reguladores de crecimientos en dosis limitadas, se considera que es relativamente nueva y son las únicas fitohormonas que cuentan con una estructura esteroidal, es decir moléculas polihidroxiesteroidales, desempeñan un papel importante en la agricultura ya que estas están involucradas en procesos como división, expansión y diferenciación celular (Sáenz, Córdova y Rodríguez, 2006). En 1968 el investigador, Marumo y colaboradores hicieron un descubrimiento al observar una planta llamada isunoki (*Distylium racemosum*) en Japón, en la que encontraron tres fracciones de extracto metanólico, la que presentaba una peculiaridad en la actividad promotora en el desarrollo de las plantas. Años más tarde los investigadores, Mitchell y colaboradores (1970) estudiaron y reportaron un descubrimiento a base de un extracto lipoidal, obtenida del polen de la planta (*Brassica napus*), esta mostraba una actividad muy similar a la antes mencionada, estimulaba el crecimiento

de las plantas y el desarrollo de los hipocótilos en el cultivo de frijol. Fue así como iniciaron las investigaciones sobre el tema, en un estudio de espectroscopia y difracción de rayos-X se encontró la estructura del compuesto que formaba los efectos en el crecimiento, la (22R, 23R, 24S)-2,3,22,23-tetrahidroxi-24-metil-B-homo-7-oxa-5-colestan-6-ona. Es la sustancia que provoca los cambios en el desarrollo, se le llamo brasinólida por sus orígenes de procedencia, esta a su vez se distingue por otras sustancias esteroidales por tener una estructura característica, contiene un conjunto de diol, comunes en los alcoholes y este se presenta en la posición dos y tres del anillo A y a su vez presenta en el anillo B un tipo de 7-oxa-lactona, como se puede observar en la figura 1. Además de contener una cadena lateral de cuatro centros de quirales que se vincula a (20S, 22R, 23R, 24S) con grupos metilos en los lugares C-20 y C-24, además de agrupación de hidroxilos en las posiciones C-22 y C-23 (Mitchell et al. 1970).

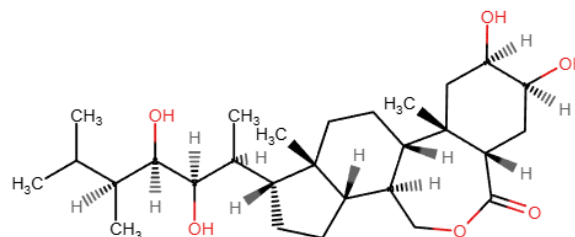
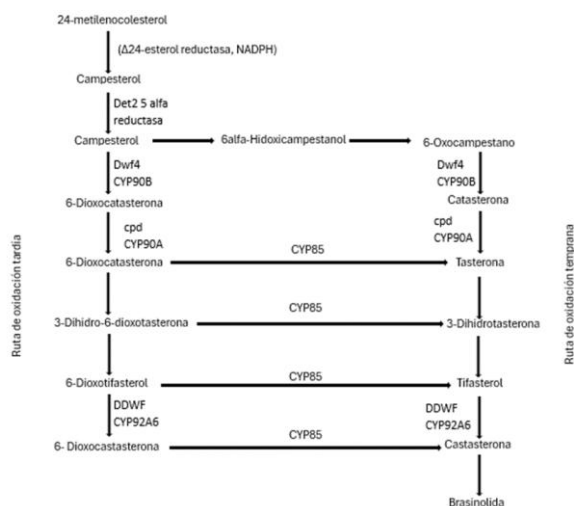


Figura 1. Estructura química de los brasinoesteroides.

## BIOSÍNTESIS DE LOS BRASINOESTEROIDES

La ruta de la biosíntesis de los brasinoesteroides se divide en dos secciones, una denominada oxidación temprana y la otra, oxidación tardía, como se observa en la figura 2, la primera parte comprende la formación de esteroides, donde el escualeno se transforma en campesterol, el cual a su vez involucra 13 reacciones bioquímicas. Mientras tanto, en el segundo segmento, el campesterol se transforma en brasinólida, generando 11 reacciones más, en esta ruta suelen producirse cambios que causan un comportamiento en la bioactivación de moléculas, la transformación y activación de estos provocan la formación del grupo oxo en C-6 que se adiciona en los grupos hidroxilos, precisamente en las posiciones C-22 y C-23, formando el diol en los carbonos 2 y 3 en el anillo A

y provocando la oxidación de BaeyerVilliger en el anillo B.



**Figura 2.** Biosíntesis de los brasinoesteroides.

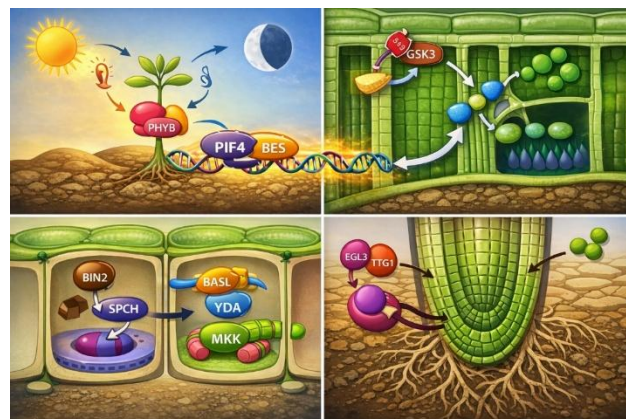
La transformación del campesterol a brasinólida tiene dos puntos de bifurcación, dando paso a cuatro ramificaciones dentro de la ruta de transformación, la primera parte inicia cuando el campesterol sigue cualquiera de las dos rutas, la tardía o la temprana del C-22, mientras que la segunda, parte del seguimiento de la oxidación en el C-6, cual sea la ruta que siga este se une con la formación de castasterona de la cual da lugar a la brasinólida (González et al. 2005).

## **EFFECTO DE LOS BRASINOESTEROIDES EN LAS PLANTAS**

El uso de los brasinoesteroides en las plantas puede generar efectos variantes, esto dependerá de la etapa fenológica en la que sean aplicadas, en plántulas recién germinadas se demostró que la presencia de esta fitohormona favorece la fotomorfogénesis, proceso que ocurre cuando la luz solar es deficiente, el crecimiento se manifiesta en tallos alargados y amarillentos, hojas primarias curvas, enanismo y otros problemas generales de desarrollo. Por otro lado, se encontró que la aplicación de esta fitohormona induce un incremento en la expansión celular, lo que resulta en hojas de mayor tamaño y con un nivel fotosintético más elevado (García, 2006).

Esta hormona genera alargamiento del tallo, la estimulación del desarrollo de hojas y el crecimiento de

los tubos polínicos, cabe mencionar que esta fitohormona no causa deformaciones ni alteraciones negativas en la anatomía de las plantas. Un estudio realizado en lechuga, jitomate y arroz demostró la ausencia de efectos adversos tras su aplicación (Perrin et al. 2016).



**Figura 3.** Efecto de los brasinoesteroides ante el cambio de temperatura.

Los cambios de luz y temperatura regulan la actividad de PHYB, estas a su vez mandan las concentraciones de PIF4 que determinan los niveles de heterodimerización del PIF4-BES, esta interacción de factores, fijan sus dianas genéticas, que básicamente son secuencias específicas del ADN las cuales se pueden modificar como una respuesta de la célula (Figura 3). En cuanto a la diferenciación del xilema, este es regulado por la señalización de un factor que inhiben las GSK3, compuestos esenciales para que esta ruta actúe como un regulador negativo en la segregación del xilema, permitiendo así una comunicación cruzada con la señalización de los BR. En cuanto al desarrollo estomático, se regula por la doble función del BIN2, esto dependiendo de su ubicación subcelular, cuando este se encuentra en el núcleo, BIN2 actúa como un regulador negativo de SPCH, al mismo tiempo el complejo de BASL y POLAR se reubican en la parte polarizada de la membrana plasmática de MMC y comienza a actuar de forma negativa para YDA y MKK, lo que genera la activación de SPCH. Además, los BR inhiben la floración, cuando promueve la expresión del inhibidor FLC, mientras que los genes biosintéticos expresan los BR comienzan a realizar cambios diurnos.

Durante el proceso de determinación de las células de la raíz, BIN2 fosforila EGL3, lo que induce el transporte de esta proteína del núcleo al citosol de las células

trofoblastas, facilitando así el movimiento de las células tricoblastas hacia la posición de atricoblastas, además de BIN2 también fosforila TTG1 lo cual inhibe la transcripción de WER-GL3/EGL3-TTG1. Cabe agregar que el meristemo apical es controlado por los BR, regulando negativamente las partes divisoras en el centro y los niveles de señalización se aumentan al largo del eje longitudinal, esto generando niveles altos en las células cercanas a la parte de diferenciación y elongación (Nolan et. al, 2020).

## CONCLUSIONES

El estudio de las fitohormonas constituye un pilar fundamental para comprender la compleja red de procesos fisiológicos que regulan el crecimiento, desarrollo y adaptación de las plantas frente a las condiciones ambientales. A lo largo de la presente investigación se evidenció que estas moléculas señalizadoras, aun en concentraciones mínimas, coordinan respuestas celulares determinantes que influyen en la morfogénesis, la organogénesis y la productividad vegetal. En este contexto, los brasinoesteroides destacan como un grupo hormonal estratégico por su estructura esteroideal única y por su amplia participación en procesos clave como la división y elongación celular, la diferenciación vascular, la fotomorfogénesis y la modulación de respuestas frente a estreses bióticos y abióticos.

La comprensión de su estructura química y de su compleja ruta biosintética permite explicar la especificidad de su acción biológica y su interacción con otras vías hormonales, evidenciando un sistema de señalización altamente integrado. Asimismo, los estudios experimentales demuestran que su aplicación exógena, bajo criterios científicos adecuados, puede potenciar el desarrollo vegetal sin generar alteraciones anatómicas adversas, lo que refuerza su valor como herramienta biotecnológica en la agricultura moderna.

En un escenario donde la intensificación productiva exige alternativas más sostenibles, los brasinoesteroides representan una vía prometedora para optimizar el rendimiento de los cultivos desde un enfoque fisiológico y ecológicamente responsable. Por tanto, profundizar en su estudio no solo amplía el conocimiento en fisiología vegetal, sino que también abre oportunidades para el diseño de estrategias agronómicas innovadoras

orientadas a mejorar la resiliencia, eficiencia metabólica y calidad productiva de las plantas.

## Literatura citada

- Fernández Barragán, G. S. (2020) Influencia de las hormonas vegetales en el desarrollo y crecimiento del cultivo de Zucchini (Cucurbita pepo), en la zona de Babahoyo. Tesis de licenciatura. Babahoyo: Universidad Técnica de Babahoyo.
- Fernández Ramos, M. C. y Goñe Salvador, T. (2018) Caracterización morfológica y fenología de la zarzamora (*Rubus fruticosus* L.) en condiciones de Bosque seco-Montano bajo tropical (bs-MBT) Ambo-2018.
- García, D. M. C. (2006) ‘Novedades acerca del mecanismo de reconocimiento y transducción de la señal brasinoesteroide’, *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 37(2), pp. 67–72.
- González-Olmedo, J. L., Córdova, A., Aragón, C. E., Pina, D., Rivas, M. y Rodríguez, R. (2005) ‘Efecto de un análogo de brasinoesteroides sobre plántulas de FHIA-18 expuestas a un estrés térmico’, *Info Musa*, 14(1), pp. 18–20.
- Hernández Silva, E. y García-Martínez, I. (2016) ‘Brasinoesteroides en la agricultura. I.’, *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(2), pp. 441–450.
- Martínez, S. B. (2021) Estudio del efecto de hormonas vegetales en la inducción de la resistencia (RI) a *Nacobbus aberrans* en cultivo de tomate. Tesis doctoral. Universidad Nacional de La Plata.
- Mitchell, J. W., Mandava, N., Worley, J. F., Plimmer, J. R. y Smith, M. V. (1970) ‘Brassins—a new family of plant hormones from rape pollen’, *Nature*, 225(5237), pp. 1065–1066.
- Nolan, T. M., Vukašinović, N., Liu, D., Russinova, E. y Yin, Y. (2020) ‘Brassinosteroids: multidimensional regulators of plant growth, development, and stress responses’, *The Plant Cell*, 32(2), pp. 295–318.
- Perrin, R. K., Winkelmann, D. L., Moscardi, E. R. y Anderson, J. R. (2016) Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos.
- Porta, H. y Jiménez-Nopala, G. (2019) ‘Papel de las hormonas vegetales en la regulación de la autofagia en plantas’, *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 22.



Sáenz, L., Córdova, I. y Rodríguez, F. (2006) Los brasinoesteroides. Una nueva clase de hormonas vegetales.

**Aviso legal/Nota del editor:** Las declaraciones, opiniones y datos contenidos en todas las publicaciones son exclusivamente de los autores y colaboradores, y no de Agraria ni de sus editores. Agraria y sus editores no se responsabilizan de ningún daño a personas o bienes que resulte de las ideas, métodos, instrucciones o productos mencionados en el contenido.

