

Función, identificación e importancia de fitohormonas: una revisión

Elias Asuncion-Cruz¹, <https://orcid.org/0000-0002-1223-8775>

Javier Alejandro Villa-Torres¹, <https://orcid.org/0000-0002-5890-4315>

Edna María Hernández-Domínguez², <https://orcid.org/0000-0002-0175-6307>

Erik Lopez Vazquez², <https://orcid.org/0000-0001-8734-4735>

Jorge Alvarez-Cervantes^{2*}, <https://orcid.org/0000-0002-0379-5588>

¹Ingeniería en Biotecnología, Universidad Politécnica de Pachuca. Carretera Pachuca-Cd, Sahagún km 20, Ex Hacienda de Santa Bárbara. Zempoala. Hidalgo. México. CP-43830.

²Cuerpo Académico Manejo de Sistemas Agrobiotecnológicos Sustentables. Universidad Politécnica de Pachuca. Carretera Pachuca-Cd, Sahagún km 20, Ex Hacienda de Santa Bárbara. Zempoala. Hidalgo. México. CP-43830.

*Autor para correspondencia e-mail: jorge_ac85@upp.edu.mx

RESUMEN

La agrobiotecnología busca que moléculas biológicas ayuden a la mejora del suelo, promuevan el crecimiento vegetal, generen mecanismos de defensa en las plantas, se obtengan mejores frutos y semillas, y se mantenga la producción por mucho más tiempo. En este sentido, las hormonas de plantas se han investigado en los últimos años, debido a sus características químicas y potencial uso. Estas se expresan en todas las etapas del ciclo de vida de las plantas, pero su concentración dependerá de factores genéticos, bióticos y abióticos, los cuales influyen en su actividad. Es por ello, que se han sintetizado de forma química y se han buscado fuentes de microorganismos que sean capaces de producirlas, con la finalidad de poder obtener mayor cantidad y disponibilidad de ellas. Los avances en su producción han generado que se establezcan diferentes técnicas para su cuantificación e identificación. La presente revisión tuvo la finalidad de actualizar los conocimientos e importancia de estas moléculas biológicas con un prometedor uso en diferentes campos de la agricultura.

Palabras clave: auxinas, citoquininas, crecimiento vegetal, fitohormona, giberelinas

Function, identification and importance of phytohormones: a review

ABSTRACT

Agrobiotechnology seeks that biological molecules help to improve the soil, promote plant growth, generate defense mechanisms in plants, obtain better fruits and seeds, and maintain production for much longer. In this regard, plant hormones have been investigated in recent years, due to their chemical characteristics and potential use. These are expressed in all stages of the life cycle of plants, but their concentration depends on genetic, biotic and abiotic factors, which influence their activity. That is why they have been chemically synthesized and sources of microorganisms that are capable of producing them have been sought, in order to be able to obtain a greater quantity and availability of them. Advances in its production have led to the establishment of different techniques for its quantification and identification. The present review aims to update the knowledge and importance of these biological molecules with a promising use in different fields of agriculture.

Keywords: auxins, cytokinins, plant growth, phytohormone, gibberellins

INTRODUCCIÓN

La fitohormonas, hormonas vegetales o fitorreguladores son moléculas orgánicas producidas en cualquier tipo de planta en bajas concentraciones (sean terrestres o acuáticas) (Jordán y Casaretto, 2006). Se caracterizan por tener efectos fisiológicos en todo el ciclo de vida de una planta, relacionados principalmente con el crecimiento y división celular, así como participar en procesos de maduración, embriogénesis, germinación, floración, formación de frutos, caída de hojas y senescencia (Porta *et al.*, 2019) también, en el aprovechamiento de nutrientes, resistencia a estrés, y síntesis de sustancias secundarias (Egamberdieva *et al.*, 2017). Aunque estas tienen un efecto benéfico, se deben de considerar ciertas características sobre la planta. Ejemplo de ello es la concentración que se les puede suministrar ya que al sobrepasar su límite pueden actuar de forma tóxica o inhibir el crecimiento (Alcántara *et al.*, 2019).

Su efecto se produce a nivel celular en los tejidos vegetales donde actúan como mensajeros químicos, a muy bajas concentraciones, pero ocasionan una respuesta fisiológica concreta (Gamboa, 2012; Khan *et al.*, 2014).

La presente revisión tuvo la finalidad de actualizar los conocimientos e importancia de estas moléculas biológicas con un prometedor uso en diferentes campos de la agricultura.

Se aporta información sobre la función y estructura de las diferentes fitohormonas, así como otras fuentes de obtención no

convencionales (sintética y microbiana), técnicas de cuantificación e identificación, y posibles aplicaciones.

TIPOS DE FITOHORMONAS

En el proceso de crecimiento y muerte de cualquier planta se consideran algunas etapas en las que diferentes fitohormonas tienen efectos específicos sobre ellas (Figura 1).

Hasta ahora, se han identificado nueve categorías de fitohormonas. Estas incluyen auxinas, citoquininas (CK), giberelinas (GA), ácido abscísico, (ABA), etileno (ET), brasinoesteroides (BR), salicilatos (SA), jasmonatos (JA) y estrigolactonas (SL) (Su *et al.*, 2017).

A continuación se describen algunos antecedentes y funciones de algunas de ellas.

Citoquininas

Las citoquininas son derivados de las adeninas y se conocieron entre los años 1940 y 1950 (Alcántara *et al.*, 2019). Su función es inducir la multiplicación celular a la cual se le conoce como citocinesis (Gamboa, 2012). No solo participan en el crecimiento, desarrollo y fisiología de las plantas, sino también en la interacción con otros organismos, incluidos los patógenos. Las citoquininas además de obtenerse de plantas, se les puede encontrar en organismos procariotas y eucariotas como bacterias, hongos, microalgas e insectos (Akhtar *et al.*, 2020).

Las citoquininas se generan a partir del Pirofosfato de dimetilalilo (DMAPP), el cual

ETAPA	Germinación y Establecimiento	Crecimiento vegetativo	Floración y Reproducción	Fructificación y madurez
Hormonas	Citoquinina, Auxina, Ácido giberélico	Auxina, Ácido giberélico	Citoquinina, Auxina, Ácido giberélico, Etileno	Ácido abscísico
Co-factores hormonales	Ca, Fe, Mg, Mn, N, P, Zn	B, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Zn, Urea	B, Ca, Cu, K, Mg, Mo, Urea	B, Cu, K, Mg, Mn, Mo, P, Urea

Figura 1. Tipos de hormonas que actúan en el ciclo de vida de las plantas.

es un producto intermedio obtenido de la ruta del ácido mevalónico y la ruta DOXP/MEP. Estas se encuentran tanto en el apoplasto y el simplasto, lo cual indica que tiene transportadores específicos en este nivel (Akhtar *et al.*, 2020). También, se ha observado que son recepcionadas por proteínas histidina-quinasas que en su transducción provocan una fosforilación en su porción conservada (Jordán y Casaretto, 2006).

Auxinas

El término auxina proviene del griego "auxein" que significa "crecer", comúnmente conocida como ácido indol acético (AIA), un ácido orgánico débil con una estructura similar al aminoácido triptófano (Paque y Weijers, 2016). En 1926 Fritz Went aisló la sustancia y aplicó a coleoptilos decapitados e indujo su curvatura en respuesta al posicionamiento de la auxina, sin mediar una señal lumínica. A dicho efecto descubierto por Went, se le denominó como tropismo, que consiste en el movimiento de orientación de un organismo sésil como respuesta a un estímulo (Jordán y Casaretto, 2006).

Existen diversos tipos de auxinas, pero AIA es una de las más importantes por su producción natural. Otras auxinas que se producen de forma sintética son el ácido indol-butírico (IBA), el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) y el ácido α -naftalenacético (NAA) (Frick y Strader 2018; Alcántara *et al.*, 2019).

El AIA se sintetiza principalmente en el ápice de los tallos, hojas jóvenes y frutos en desarrollo (Jordán y Casaretto, 2006). Por ejemplo, en algas, las auxinas se presentan en los talos o tejido falso que según lo descrito por Tarakhovskaya *et al.* (2007) su concentración puede ser variable según el tipo de agua, fase de desarrollo y estación del año.

Existen dos rutas para la síntesis de AIA, una depende del triptófano (Trp) y la otra es independiente de él. La función que se le atribuye a estas fitohormonas es inducir el crecimiento, pero también se ha demostrado que si se exceden las concentraciones óptimas, se inhibe el crecimiento y son

tóxicas incluso pueden causar la muerte (Enders y Strader, 2015).

Giberelinas

En 1926 el químico japonés Eichi Kurosawa aisló el principio activo del hongo *Gibberella fujikuroi* y por ello se le denominó a las hormonas "Giberelinas" (Binenbaum *et al.*, 2018). Estas son un grupo de reguladores de crecimiento diterpenoides fuertemente asociados con la promoción del crecimiento, incluida la germinación y la elongación del tallo (McGuinness *et al.*, 2019). Otra de sus funciones es la inducción de la germinación en las semillas en muchas especies y también, están involucradas en el desarrollo de tejidos cuyo crecimiento es constante (raíces, hojas jóvenes, floración, entre otros) (Jordán y Casaretto, 2006). La síntesis de las giberelinas se desarrolla a través del ciclo de los terpenoides. El proceso de síntesis consta de tres pasos, que se inician en los plastidios, posteriormente pasa al retículo endoplasmático y concluye en el citosol (Gupta y Chakrabarty, 2013).

La síntesis a través de la ruta de los terpenos se inicia a partir del difosfato de geranilgeranilo y presentan una estructura básica formada por un esqueleto tetracíclico ent-giberellano. Entre ellos, solo cuatro tienen actividad biológica, incluido el ácido giberélico (GA), que actúa como un regulador natural del crecimiento de las plantas. Se puede obtener de plantas, hongos y bacterias. En el mercado se pueden encontrar en formulaciones líquidas o sólidas que contienen solo GA o una mezcla de otras giberelinas biológicamente activas, que se pueden aplicar en una amplia variedad de cultivares, incluidos cultivos y frutas (Camara *et al.*, 2018).

Etileno

El etileno es un compuesto gaseoso capaz de difundirse por los espacios intercelulares, lo que hace que su efecto sea rápido y uniforme en la planta. Fue la primera fitohormona gaseosa que se identificó, y es clave en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Riyazuddin *et al.*, 2020). Su biosíntesis inicia con un derivado de la

metionina, y su reacción es catalizada por la enzima ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico sintasa (ACS) (Gamboa, 2012). Una gran variedad de especies vegetales sintetizan esta fitohormona y por lo regular se encuentra en cualquier órgano de la planta (Alcántara *et al.*, 2019). Es fundamental en procesos relacionados con la maduración y senescencia de la planta, además influye en la germinación de las semillas y en el desarrollo de órganos como las hojas, y permite la floración (Khan *et al.*, 2014). Para determinar su efecto durante el crecimiento y desarrollo de las hojas, se han usado inhibidores de etileno y mutantes insensibles o plantas transgénicas que carecen de las enzimas clave de la biosíntesis de etileno, los estudios han concluido que la respuesta de esta fitohormona estará en función de la concentración de etileno y las especies involucradas en el estudio (Iqbal *et al.*, 2017).

Ácido abscísico

El ácido abscísico (ABA) es una fitohormona que se forma a través de tres subunidades del isopreno y tiene un papel importante en la adaptación de las plantas al estrés que se presenta en el ambiente (hídrico, salino, térmico y lesiones) (Gamboa, 2012). Tiene un papel esencial en múltiples procesos fisiológicos de las plantas, como el cierre de estomas, la acumulación de cera cuticular, la senescencia de las hojas, la latencia de las yemas, la germinación de semillas, la regulación osmótica y la inhibición del crecimiento (Chen *et al.*, 2020). Además, se ha comprobado que tiene efecto en el desarrollo embrionario, ya que inhibe la germinación precoz e induce la tolerancia a la desecación del embrión (Khan *et al.*, 2014; Alcántara *et al.*, 2019). Controla las respuestas posteriores a los cambios ambientales abióticos y bióticos a través de mecanismos transcripcionales y postranscripcionales (Chen *et al.*, 2020). ABA se sintetiza en los plastidios y el citoplasma y se deriva de la zeaxantina, un pigmento vegetal (Ullah *et al.*, 2018).

La tabla 1 muestra las principales funciones de las fitohormonas que intervienen en las fases de crecimiento de un organismo vegetal.

FUENTES DE OBTENCIÓN NO CONVENCIONAL

Las fitohormonas se producen de forma natural durante el ciclo de vida vegetal, sin embargo, también se pueden obtener por síntesis química o a partir del metabolismo de microorganismos beneficiosos y de patógenos (por ejemplo, bacterias, hongos, insectos, microalgas, etc.) que pueden modular el crecimiento, la fisiología y la inmunidad de las plantas (Akhtar *et al.*, 2020).

La asociación de diferentes grupos de bacterias, hongos u otros organismos que habitan en el suelo con las plantas representa un beneficio para estas. Las interacciones que se producen con las plantas influyen en su crecimiento o protección (Jorge *et al.*, 2019; Kumar *et al.*, 2019). Los microorganismos interactúan con la planta a través de la asociación rizosférica o endofítica y promueven el crecimiento de la planta a través de diferentes procesos como la movilización de nutrientes, la supresión de enfermedades y la secreción de hormonas (Ali y Xie, 2020).

En la rizosfera existe una interacción entre suelo-planta-microorganismo-ambiente que repercute de forma directa en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Dichos microorganismos tienen funciones específicas como la fijación de nitrógeno atmosférico, son promotores de crecimiento, biocontroladores, entre otros (Cano, 2011; Camelo *et al.*, 2011; Spagnoletti *et al.*, 2013). En la naturaleza, la complejidad del entorno de la rizosfera y las complejidades de las interacciones planta-bacteria pueden, por lo tanto, alterar la biosíntesis de hormonas bacterianas y, como resultado, el efecto subsiguiente sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas (Duca y Glick, 2020).

Existen múltiples géneros de bacterias (*Azospirillum*, *Azotobacter*, *Serratia*, *Bacillus*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, etc.) las cuales en conjunto son denominadas rizobacterias y por su mecanismo de acción son fundamentales para el crecimiento óptimo de la planta, mediante la producción de ácido indol-3-acético (AIA) (Khalid *et al.*,

Tabla 1. Funciones de fitohormonas en el ciclo de vida de las plantas.

Fitohormona	Función	Referencias
Auxinas	Diferenciación unicelular, pluricelular Diferenciación celular de órganos Induce la formación y elongación de tallos Promueve la división celular Regulación de tropismos Abscisión de órganos Dominancia apical Desarrollo de flores y frutos Activación del cambio vascular Desarrollo de raíces y brotes	Van Doorn y Stead (1997) Bhalerao <i>et al.</i> (2002) Pfluger y Zambryski (2004) Jordán y Casaretto (2006) Khan <i>et al.</i> (2014) Gamboa (2012) Alcántara <i>et al.</i> (2019) Emenecker y Strader (2020) Fenn y Giovannoni (2021)
Giberelinas	Regulador de crecimiento de órganos Inducción de la germinación de las semillas Movilización de reservas alimenticias Alargamiento de los segmentos nodales Induce la germinación en semillas Estimulante en el crecimiento embrionario Promueve la inflorescencia y la floración Promueve el desarrollo de frutos Estimulan la división y elongación celular y del meristema intercalar	Kato <i>et al.</i> (1998) Yu <i>et al.</i> (2004) Jordán y Casaretto (2006) Gamboa (2012) Alcántara <i>et al.</i> (2019) Fenn y Giovannoni (2021)
Citocinas	Estimula la proliferación y división celular Induce la formación y elongación en raíces Activa la senescencia en hojas Desarrollo de semillas Fotomorfogénesis Gravitropismo Promueven un nuevo ciclo celular Promueven la formación de brotes y raíces Tienen efecto en la organogénesis y androgénesis Permiten el desarrollo de cloroplastos	Smith y Atkins (2002) Jordán y Casaretto (2006) Lim <i>et al.</i> (2007) Khan <i>et al.</i> (2014) Alcántara <i>et al.</i> (2019) Fenn y Giovannoni (2021)
Etileno	Dormancia de las semillas Interviene en la germinación Inhibe el crecimiento del tallo y raíz Abscisión de hojas y frutos Efecto en la maduración y senescencia Induce el desarrollo y maduración de órganos sexuales	Kazan y Manners (2008) Gamboa (2012) Ahmad <i>et al.</i> (2016) Iqbal <i>et al.</i> (2017) Alcántara <i>et al.</i> (2019) Fenn y Giovannoni (2021)
Ácido Abscísico	Interfieren en el estrés hídrico Inhibidor de la germinación precoz Efecto en latencia de yemas y hojas Regula la dormancia de semilla Efecto en la maduración de semillas Función en la adaptación por estrés ambiental	Gamboa (2012) Kelley y Estelle (2012) Khan <i>et al.</i> (2014) Alcántara <i>et al.</i> (2019) Fenn y Giovannoni (2021)

2004; Lambrecht *et al.*, 2000; Ali y Xie, 2020; Akhtar *et al.*, 2020). Ahmad *et al.* (2005) mencionan de manera específica que la bacteria *Azotobacter paspali* excreta AIA y genera beneficio para las hojas y raíces de diversos tipos de plantas. También, se ha informado que los hongos de los géneros

Fusarium, *Rhizoctonia*, *Rhizopus*, *Absidia*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Monilia*, *Phoma*, *Pythium*, *Trichoderma*, *Verticillium*, *Schizophyllum* y *Actinomucor*, fácilmente producen una amplia gama de metabolitos secundarios como fitohormonas y micotoxinas (Turaeva *et al.*, 2020).

El uso de productos químicos sintéticos ha demostrado impactos negativos en el agroambiente (Mitra *et al.*, 2020). Es por ello que las formulaciones de biofertilizantes a partir de microorganismos promotores del crecimiento vegetal son una alternativa para la mejora del crecimiento de las plantas y para la protección de los cultivos. Contribuyen al desarrollo de una agricultura sostenible con relaciones ecológicas entre organismos en el medio ambiente (Gasic y Tanovic, 2013). Participan en la salud radicular, la tolerancia al estrés ambiental, suprimen la acción de organismos patógenos e incrementan la disponibilidad de nutrientes al producir reguladores del crecimiento vegetal, por ejemplo las auxinas, citocininas y giberelinas (Loredo *et al.*, 2004; Rives *et al.*, 2007; Rojas *et al.*, 2010; Ali y Xie, 2020; Akhtar *et al.*, 2020).

La tabla 2 muestra fuentes de obtención de las fitohormonas que son utilizadas por la planta en su ciclo de vida, y que pueden ser producidas por distintos medios como vegetal, microbiano y sintético.

TÉCNICAS DE CUANTIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE FITOHORMONAS

Las técnicas de cuantificación permiten determinar la cantidad de fitohormona presente en una muestra de interés. Es por ello, que se presentan las técnicas más utilizadas, con una descripción breve. Una adecuada cuantificación proporciona información sobre la regulación de las fitohormonas y sus funciones biológicas (Liu *et al.*, 2012).

Técnicas cromatográficas

Las técnicas cromatográficas se basan en el principio de retención selectiva, cuyo objetivo es separar los distintos componentes de una mezcla. Se utilizan en el análisis y purificación de proteínas. Sin embargo, se han realizado diversos estudios donde son usadas para detectar cambios conformacionales en proteínas, ya sea por el proceso cromatográfico en sí o por la naturaleza de la muestra, así como para la separación de fitohormonas (Jiang *et al.*, 2020). Por ejemplo, Castillo *et al.* (2005) cuantificaron el contenido de ácido indolacético (AIA) en un caldo de cultivo

microbiano por esta técnica. De igual forma, Rivera *et al.* (2017) estandarizaron un método cromatográfico para la identificación de ácido giberélico en semillas de maíz (*Zea mays* L.), e informaron que la técnica de Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (HPLC, del inglés: *High Performance Liquid Chromatography*) fue la mejor para la identificación de dicha fitohormona.

Las técnicas cromatográficas son muy importantes para la detección y cuantificación de fitohormonas, pero también suelen ser utilizadas con otras complementarias. Por ejemplo, de Pan *et al.* (2008) realizaron la cuantificación de diversas fitohormonas a través de la espectrometría de masas utilizando también cromatografía líquida para la correcta cuantificación del compuesto. Asimismo, Liu *et al.* (2012) emplearon un método similar para la cuantificación de múltiples fitohormonas en un estudio sobre la interacción entre las bacterias y el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.).

Otra técnica cromatográfica que es utilizada para la identificación de fitohormonas es la cromatografía de capa fina, que considera el factor de retención (Rf). Esta técnica es ideal cuando se utilizan pequeñas cantidades de la muestra o se necesita realizar a una pequeña escala (Areal y Bessa, 1966). Castillo *et al.* (2007) emplearon este método para determinar de manera cualitativa la presencia de giberelinas y auxinas, e indicaron que puede ser complementario a un análisis de HPLC y espectrofotometría de masas.

Técnicas inmunoenzimáticas

Las técnicas inmunoenzimáticas se basan en la utilización de enzimas para la marcación de anticuerpos o antígenos, y así, poder ser detectados posteriormente. Son ampliamente empleadas en la determinación de fitohormonas, ya que presentan ventajas como lo es su alta precisión y exactitud, equipo económico, procedimientos sencillos y reactivos con una vida útil larga. La más utilizada es ELISA (del inglés: *enzyme-linked immunosorbent assay*) (Lomonte, 2020). Por ejemplo, Huánuco *et al.* (2017) estandarizaron un protocolo con esta técnica para la cuantificación de ácido abscísico con el empleo de un anticuerpo monoclonal MAC 252.

Tabla 2. Fuentes de obtención (vegetal, microbiana y sintética) de fitohormonas.

Tipo de hormona	Fuente	Hormona	Referencias
Auxinas	V	Algas: <i>Macrocystis</i> , <i>Laminaria</i> , <i>Botryocladia</i> , <i>Enteromorpha</i> , <i>Chlorella</i> , <i>Cladophora</i> , <i>Caulerpa paspaloides</i>	Jordán y Casaretto (2006) Khan <i>et al.</i> (2014)
	M	Cianobacterias: <i>Oscillatoria</i> , <i>Chlorogloea fritschii</i> Bacterias: <i>Azospirillum</i> Hongos: <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Aureobasidium pullulans</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> , <i>Cenococcum graniforme</i> , <i>Erwinia herbicola</i>	Steenhoudt y Vanderleyden (2000) Tudzynski y Sharon (2002) Tarakhovskaya <i>et al.</i> (2007) Keswani <i>et al.</i> (2020)
	S	Ácido indol-butírico (IBA), el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), el ácido α -naftalenacético (NAA), ácido naftoxiacético (NOA)	Jordán y Casaretto (2006) De Oliveira <i>et al.</i> (2015) Vega-Celedón <i>et al.</i> (2016) Gamboa (2012) Frick y Strader (2018)
Giberelinas	M	Hongos: <i>Gibberella fujikuroi</i> , <i>Sphaceloma manihoticola</i> , <i>Sphaceloma</i> (<i>S. bidentis</i> , <i>S. menrha</i> , <i>S. perseae</i> y <i>S. rhois</i>), <i>Phaeosphaeria</i> sp. Bacterias: Especies de <i>Azospirillum</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Acetobacter</i> , <i>Acinetobacter</i> , <i>Herbaspirillum</i> , <i>Rhizobium</i> , <i>Leifsonia soli</i> sp.	Werle <i>et al.</i> (2020) Tudzynski y Sharon, (2002) Kang <i>et al.</i> (2014) Gamboa (2012)
	S	6-epi-GA1, 6-epi-GA2, C-94,377 (1- [3-cloroftalimido]ciclohexanocarboxamida), exo-16,17-dihidro-giberelina A5-13- acetato (DHGA 5), ácido giberélico y giberelina A15	Gupta y Chakrabarty (2013) Tian <i>et al.</i> (2019) Kildegaard <i>et al.</i> (2021)
Citoquininas	M	Bacterias: <i>Azospirillum</i> Hongos: <i>Pyrenopeziza brassicae</i> , <i>Cladosporium fulvum</i> , <i>Erysiphe graminis</i> , <i>Erysiphe cichoracearum</i> , <i>Trametes versicolor</i> , <i>Puccinia recondita</i> , <i>Amanita muscaria</i> , <i>Taphrina</i> sp., <i>Helminthosporium</i> sp.	Navarro <i>et al.</i> (2001) Tudzynski y Sharon (2002)
	S	N-(2-cloro-4-piridil)-N'-fenilurea (CPPU o CP), 1-(α -etilbenzil)-3-nitroguanidina (NG), 6-benciladenina (6 BA o 6 BAP), cinetina (KIN) o 6-furfurylamino purina (FAP)	Suttle (2008) Akhtar <i>et al.</i> (2020)

Leyenda: Vegetal (V), microbiana (M), sintética (S)

Técnicas espectrofotométricas

El fundamento de las técnicas espectrofotométricas se basa en la interacción de la radiación electromagnética con la materia de absorción (Roca *et al.*, 2004; Salazar *et al.*, 2013). La técnica más utilizada al momento por su factibilidad es la espectrofotometría UV-VIS, la cual utiliza una longitud de onda entre 380 y 780 nm (Sánchez, 1999; Rocha *et al.*, 2004).

Un ejemplo del uso de esta técnica es el trabajo realizado por Zavala *et al.* (2020) quienes cuantificaron la producción de fitohormonas a partir de un cultivo de *Azotobacter* sp., microorganismo promotor de crecimiento en cultivos de *Coffea arabica* L.

Técnicas de biología molecular

Las técnicas de biología molecular buscan detectar o cuantificar secuencias específicas de ácido desoxirribonucleico (ADN), ácido ribonucleico (ARN) y proteínas. Existe una gran variedad de estas técnicas entre las que se encuentran la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR- Tiempo real), electrotransferencia (Western-Blot) y la Detección de Secuencias específicas de RNA (Northest-Blot) (Diez y López-Novoa, 1993). Su uso ha permitido identificar el gen que codifica para cada fitohormona, y se genera así, una base de datos para buscar homólogos de genes en plantas que aún no tienen información acerca de los genes que codifican para sus fitohormonas (Mori *et al.*, 2017). Por ejemplo, Martín (2004) realizó una investigación donde observó cómo los factores transcripcionales de las familias R2R3MYB, R1MYB y DOF actúan como reguladores de la expresión génica, la cual es inducida por GA, esto durante la germinación de la semilla de cebada (*Hordeum vulgare* L.).

APLICACIÓN DE FITOHORMONAS EN LA AGRICULTURA

Las plantas deben de adaptarse al medio en donde se encuentran, sobrevivir en el lugar y crear las condiciones adecuadas para vivir (Bottini, 2019). Sin embargo, en ocasiones, el suelo que se desea cultivar no es apto para los cultivos, y para suplir estas deficiencias, se han utilizado fitohormonas (Reinoso, 2003; Ariza *et al.*, 2015), las cuales

ayudan como enraizantes, favorecen la germinación de semillas, maduración de frutos, incremento de la producción y tolerancia a diversos tipos de estrés (Borjas-Ventura *et al.*, 2020).

El estrés hídrico tiene un impacto negativo en el crecimiento y la productividad de los cultivos. Las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal y los reguladores del crecimiento son vitales para el proceso de desarrollo de las plantas bajo estrés hídrico. La inoculación de cultivos con rizobacterias aumenta la tasa de crecimiento, la emergencia de las plántulas y mejora sus respuestas a diversos estímulos y organismos patógenos vegetales, tanto en ensayos de invernadero como de campo (Khan *et al.*, 2020). Aunque existe una lista completa de los reguladores de crecimiento, los mecanismos moleculares de sus efectos aún no se han dilucidado por completo. Además, su comercialización depende de varios factores como su estabilidad en las condiciones de campo, inercia, rentabilidad, facilidad de aplicación y versatilidad frente a diferentes escenarios (Harsimrat *et al.*, 2020).

La aplicación de fitohormonas en la agricultura es un campo prometedor. Una adecuada selección y concentración, permitirá mejorar la producción de plantas, adelantar cosechas, aumentar la densidad de siembra, inducir la maduración de frutos, así como aumentar la calidad, como son la pigmentación y tamaño de frutos (Castro *et al.*, 2019). En este sentido, Zhang *et al.* (2017) evaluaron tres tipos de reguladores del crecimiento (ácido indol acético (IAA), el ácido naftaleno acético (NAA) y regulador del crecimiento verde (GGR)) sobre esquejes de tallo de *Malus hupehensis* Pamp y su efecto sobre la formación de raíces adventicias. Estos autores concluyeron que el tratamiento con estas fitohormonas redujo el tiempo de enraizamiento y, en consecuencia, promovió la formación de raíces, y actuaron principalmente durante la etapa de preemergencia de la raíz.

Otra alternativa que se está evaluando es el uso de nanopartículas de plata (AgNP), ya que estas pueden actuar en un modo dual como potenciador de raíces y destructor de organismos patógenos en el sitio objetivo, lo cual puede contribuir con la horticultura para enfrentar dos problemas: el enraizamiento de

los esquejes y el crecimiento de las raíces que se inhiben por la presencia de organismos patógenos. Thangavelu *et al.* (2018) utilizaron AgNPs, ácido indol-3-acético y ácido indol-3-butírico como agente reductor y estabilizador. La acción dual de los AgNP estabilizados con reguladores del crecimiento se manifestó en un crecimiento de la raíz triple mejorado en comparación con los controles y aumentó las capacidades de enraizamiento

contra los organismos fitopatógenos que inhiben el crecimiento de las raíces. Este estudio indica la relevancia, el alcance y los desafíos actuales en el desarrollo de raíces de las plantas hortícolas y el manejo de enfermedades de las plantas para la producción agrícola sostenible.

En la tabla 3 se muestran algunos informes sobre el uso de fitohormonas en diferentes cultivos.

Tabla 3. Aplicación de fitohormonas en la agricultura.

Cultivo	Fitohormona	Función	Referencias
Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	Clormequat	Permite la obtención de plantas de menor altura lo que aumenta la densidad de siembra y reduce el acame, además, favorece la resistencia al trasplante y sequía.	Khan <i>et al.</i> (2020)
	Ácido 2,4 diclorofenoxiacético	Acelera la floración y fructificación, e incrementa el número de racimos de flores y frutos.	
	Etefón	Permite la maduración de frutos de tomate y logra adelantar la cosecha hasta 7 días.	
Melón (<i>Cucumis melo</i> L.)	Ácido naftalenacético (ANA)	Su aplicación después de la floración aumenta el tamaño de los frutos y mejora la calidad del producto.	Karishma <i>et al.</i> (2019)
Lima mexicana (<i>Citrus aurantifolia</i> (Christm) Swingle)	Biofol, ácido glutámico	Inducen a una mayor floración y producción de lima mexicana en invierno, y se obtienen frutos de mejor calidad en peso, tamaño, firmeza, porcentaje de jugo, pH y porcentaje de ácido cítrico.	Ariza <i>et al.</i> (2015)
Uva (<i>Vitis vinifera</i> L.)	Etefón y ácido abscísico	Se ha informado que el uso de 50 mg l ⁻¹ de etefón o de ácido abscísico permite adelantar la cosecha 10 días, sin embargo, la utilización de 300 mg l ⁻¹ de ácido abscísico permite adelantar la cosecha 30 días.	Cantín <i>et al.</i> (2007)
Pasto de guinea (<i>Panicum maximum</i> cv. Tanzania)	cidef-4	Su uso permitió aumentar el rendimiento de semilla total y semilla pura, debido al aumento del número de panículas, número de semillas producidas por panícula y peso de las semillas.	Joaquín Torres <i>et al.</i> (2010)
Árboles frutales	Cianamida de hidrógeno y tidiázurón (citoquinina)	Se han empleado en ciruelo (<i>Prunus domestica</i> L.), cerezo (<i>Prunus cerasus</i>), peral (<i>Pyrus communis</i> L.) y manzana (<i>Malus domestica</i> L.) para la brotación de yemas así como para la floración, fructificación y disminución del tiempo a cosecha.	Castro <i>et al.</i> (2019)
	Paclobutrazol	Se usa para inhibir a las giberelinas; con la finalidad de obtener árboles de menor tamaño y facilitar las labores de cosecha.	

CONCLUSIONES

Las fitohormonas juegan un papel esencial en el desarrollo, crecimiento y reproducción de cualquier planta. Su producción es baja, debido a las fuentes de obtención y concentraciones que se obtienen. Una producción masiva de ellas permitirá en un futuro que su aplicación sea extensiva en diferentes campos de la agrobiotecnología. El uso de herramientas moleculares puede ayudar a mejorar su síntesis, además de que se pueden utilizar microorganismos que permitan su producción a escala industrial, bajo condiciones controladas y lograr así una mayor producción a menor tiempo y costo. Por otro lado, es necesario seguir investigando el potencial de estas moléculas biológicas en la agricultura, sus vías y formas de aplicación en diferentes concentraciones, combinaciones y condiciones ambientales.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Politécnica de Pachuca por las facilidades otorgadas para la revisión de esta información en las instalaciones del Centro de Investigación Bibliográfica.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Contribución de los autores

Investigación ACE, Investigación VTJA, Supervisión y validación HDEM, Supervisión y validación LVE, Conceptualización, Escritura: revisión y edición ACJ.

REFERENCIAS

Ahmad F, Ahmad I, KHAN MS (2005) Indole acetic acid production by the indigenous isolates of *Azotobacter* and fluorescent *Pseudomonas* in the presence and absence of tryptophan. *Turk J Biol* 29(1): 29-34

Ahmad P, Rasool S, Gul A, Sheikh SA, Akram NA, Ashraf M, Kazi AM, Gucel S (2016) Jasmonates: Multifunctional Roles in Stress Tolerance. *Frontiers in Plant Science* 7: 813; doi: 10.3389/fpls.2016.00813

Akhtar SS, Mekureyaw MF, Pandey C, Roitsch T (2020) Role of cytokinins for interactions

of plants with microbial pathogens and pest insects. *Frontiers in plant science* 10: 1777; doi: 10.3389/fpls.2019.01777

Alcántara S, Jovanna AG, David J, Melida R (2019) Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *NOVA* 17(32): 109-129; doi: 10.25058/24629448.3639

Ali S, Xie L (2020) Plant growth promoting and stress mitigating abilities of soil born microorganisms. *Recent patents on food, nutrition & agricultura* 11(2): 96-104; doi: 10.2174/2212798410666190515115548

Areal GR, Bessa FJ (1966) La Cromatografía de Capa Fina y sus Aplicaciones al Campo Textil. *Boletín del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial* (25): 6-26

Ariza FR, Barrios AA, Herrera GM, Barbosa MF, Michel AA, Otero SMA, Alia TI (2015) Fitohormonas y bioestimulantes para la floración, producción y calidad de lima mexicana de invierno. *REMEXCA* 6(7): 1653-1666

Bhalerao RP, Eklöf J, Ljung K, Marchant A, Bennett M, Sandberg G (2002) Shoot-derived auxin is essential for early lateral root emergence in *Arabidopsis seedlings*. *The Plant Journal*: 29(3): 325-332; doi: 10.1046/j.0960-7412.2001.01217.x

Binenbaum J, Weinstain R, Shani E (2018) Gibberellin Localization and Transport in Plants. *Trends in plant science* 23(5): 410-421; doi: 10.1016/j.tplants.2018.02.005

Borjas-Ventura R, Julca OA, Alvarado HL (2020) Las fitohormonas una pieza clave en el desarrollo de la agricultura. *J Selva Andina Biosph* 8(2): 150-164

Bottini AR (2019) Fitohormonas. *Anales de La ANAV* 70: 118-124

Chen K, Li GJ, Bressan RA, Song CP, Zhu JK, Zhao Y (2020) Abscisic acid dynamics, signaling, and functions in plants. *Journal of Integrative Plant Biology* 62(1): 25-54; doi: 10.1111/jipb.12899

Camara MC, Vandenberghe LPS, Rodrigues C (2018) Current advances in gibberellic acid (GA3) production, patented technologies and

- potential applications. *Planta* 248: 1049-1062; doi: 10.1007/s00425-018-2959-x
- Camelo RM, Vera MSP, Bonilla BRR (2011) Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 12(2): 159; doi: 10.21930/rcta.vol12_num2_art:227
- Cano MA (2011) Interacción de microorganismos benéficos en plantas: micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. una revisión. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica* 14(2): 15-31
- Cantín CM, Fidelibus MW, Crisosto CH (2007) Application of abscisic acid (ABA) at veraison advanced red color development and maintained postharvest quality of Crimson Seedless grapes. *Postharvest Biology and Technology* 46: 237-241
- Castillo G, Altuna B, Michelena G, Sánchez BJ, Acosta EM (2005) Cuantificación del contenido de ácido indolacético (AIA) en un caldo de fermentación microbiana. *Anales de biología* 27: 137-142
- Castillo G, Ortega G, Carabeo V, Delgado G, Michelena G (2007) Determinación cualitativa de giberelinas y auxinas por cromatografía de capa fina. *ICIDCA* 41(1): 12-17
- Castro RJJ, Solís OMM, Castro RR, Calderón VCL (2019) Uso de Fitorreguladores en el Manejo de Cultivos Agrícolas. *Frontera biotecnológica* 7(13): 14-18
- De Oliveira TPF, Barroso DG, Lamônica KR, Carvalho VS, Oliveira MA (2015) Efeito do ácido indol-3-butírico (aib) no enraizamento de miniestacas de ipê-roxo (*Handroanthus heptaphyllus* MATTOS). *Ciência Florestal* 25(4); doi: 10.5902/1980509820666
- Díez J, López NJM (1993) Introducción a la biología molecular. *Nefrología* 13(1): 14-22
- Duca DR, Glick BR (2020) Indole-3-acetic acid biosynthesis and its regulation in plant-associated bacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology* 104: 8607-8619; doi: 10.1007/s00253-020-10869-5
- Egamberdieva D, Wirth SJ, Alqarawi AA, Abd Allah EF, Hashem A (2017) Phytohormones and beneficial microbes: essential components for plants to balance stress and fitness. *Frontiers in microbiology* 8: 2104; doi: 10.3389/fmicb.2017.02104
- Emenecker RJ, Strader LC (2020) Auxin-abscisic acid interactions in plant growth and development. *Biomolecules* 10(2): 281
- Enders TA, Strader LC (2015) Auxin activity: past, present, and future. *American Journal of Botany* 102(2): 180-196
- Frick EM, Strader LC (2018) Roles for IBA-derived auxin in plant development. *Journal of Experimental Botany* 69(2): 169-177
- Fenn MA, Giovannoni JJ (2021) Phytohormones in fruit development and maturation. *The Plant Journal* 105(2): 446-458
- Gasic S, Tanovic B (2013) Biopesticide formulations, possibility of application and future trends. *Pestic Phytomed* 28: 97-102; doi: 10.2298/PIF1302097G
- Gamboa GMA (2012) Hormonas vegetales. En: Gamboa GMA (ed). *Nociones básicas de fisiología vegetal: Una primera aproximación para entender cómo funcionan las plantas*, Editorial Académica Española, Madrid; ISBN-10: 3659030171
- Gupta R, Chakrabarty SK (2013) Gibberellic acid in plant. *Plant Signaling & Behavior* 8(9): e25504; doi: 10.4161/psb.25504
- Harsimrat KB, Manjot K (2020) Role of plant growth regulators in improving fruit set, quality and yield of fruit crops: a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 95(2): 137-146; doi: 10.1080/14620316.2019.1660591
- Huánuco L, Gutiérrez R, Müller G (2017) Estandarización de un protocolo para la cuantificación de ácido abscísico mediante la técnica de ELISA competitivo. *Ecología Aplicada* 16(1): 9; doi: 10.21704/rea.v16i1.898
- Iqbal N, Khan NA, Ferrante A, Trivellini A, Francini A, Khan MIR (2017) Ethylene role in plant growth, development and senescence: interaction with other phytohormones. *Frontiers in plant science* 8: 475

- Jiang C, Dai J, Han H, Wang C, Zhu L, Lu C, Chen H (2020) Determination of thirteen acidic phytohormones and their analogues in tea (*Camellia sinensis*) leaves using ultra high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography B* 1149: 122-144; doi: 10.1016/j.jchromb.2020.122144
- Joaquín Torres BM, Moreno CMA, Joaquín CS, Hernández GA, Pérez PJ, Gómez VA (2010) Rendimiento y calidad de semilla de pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq.) cv. Tanzania usando la fitohormona esteroideal cidef-4. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias* 1(3): 237-249
- Jordán M, Casaretto J (2006) Hormonas y reguladores del crecimiento: auxinas, giberelinas y citocininas. En: Squeo FA, Cardemil L. (eds). *Fisiología Vegetal*, pp. 1-28. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena
- Jorge GL, Kisiala A, Morrison E, Aoki M, Nogueira APO, Emery RJN (2019) Endosymbiotic *Methylobacterium oryzae* mitigates the impact of limited water availability in lentil (*Lens culinaris* Medik.) by increasing plant cytokinin levels. *Environmental and Experimental Botany* 162: 525-540; doi: 10.1016/j.envexpbot.2019.03.028
- Kang SM, Khan AL, You YH, Kim JG, Kamran M, Lee IJ (2014) Gibberellin Production by Newly Isolated Strain *Leifsonia soli* SE134 and Its Potential to Promote Plant Growth. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 24(1): 106-112; doi: 10.4014/jmb.1304.04015
- Khan M, Rozhon W, Poppenberger B (2014) The Role of Hormones in the Aging of Plants - A Mini-Review. *Gerontology* 60(1): 49-55; doi: 10.1159/000354334
- Khan A, Khan AL, Imran M, Asaf S, Kim YH, Bilal S, Lee IJ (2020) Silicon-induced thermotolerance in *Solanum lycopersicum* L. via activation of antioxidant system, heat shock proteins, and endogenous phytohormones. *BMC plant biology* 20: 1-18
- Kang SM, Waqas M, Khan AL, Lee IJ (2014) Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria: Potential Candidates for Gibberellins Production and Crop Growth Promotion. En: Miransari M (eds). *Use of Microbes for the Alleviation of Soil Stresses*, Volume 1. Springer, New York; doi: 10.1007/978-1-4614-9466-9_1
- Khan N, Bano AMD, Babar A (2020) Impacts of plant growth promoters and plant growth regulators on rainfed agriculture. *PLoS ONE* 15(4): e0231426; doi: 10.1371/journal.pone.0231426
- Karishma S, Arya MS, Reshma UR, Anaswara SJ, Syama ST (2019) Impact of Plant Growth Regulators on Fruit Production. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 8(2): 800-814
- Kato K, Ohara H, Takahashi E, Matsui H, Nakayama M (1998) Endogenous gibberellin-induced parthenocarpy in grape berries. *Acta Horticulturae* (514): 69-74; doi: 10.17660/actahortic.2000.514.7
- Kazan K, Manners JM (2008) Jasmonate Signaling: Toward an Integrated View. *Plant Physiology* 146(4): 1459-1468; doi: 10.1104/pp.107.115717
- Kelley DR, Estelle M (2012) Ubiquitin-Mediated Control of Plant Hormone Signaling. *Plant Physiology* 160(1): 47-55; doi: 10.1104/pp.112.200527
- Khalid A, Arshad M, Zahir ZA (2004) Screening plant growth-promoting rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. *Journal of Applied Microbiology* 96(3): 473-480; doi: 10.1046/j.1365-2672.2003.02161.x
- Keswani C, Singh SP, Cueto L, García-Estrada C, Mezaache-Aichour S, Glare TR, Sansinenea E (2020) Auxins of microbial origin and their use in agriculture. *Applied Microbiology and Biotechnology* 104: 8549-8565
- Kildegaard KR, Arnesen JA, Adiego-Pérez B, Rago D, Kristensen M, Klitgaard AK, Borodina I (2021) Tailored biosynthesis of gibberellin plant hormones in yeast. *Metabolic Engineering* 66: 1-11
- Kumar M, Kour D, Yadav AN, Saxena R, Rai PK, Jyoti A (2019) Biodiversity of methylotrophic microbial communities and their potential role in mitigation of abiotic stresses in plants. *Biologia* 74: 287-308; doi: 10.2478/s11756-019-00190-6

- Lambrecht M, Okon Y, Vande Broek A, Vanderleyden J (2000) Indole-3-acetic acid: a reciprocal signalling molecule in bacteria-plant interactions. *Trends in Microbiology* 8(7): 298-300; doi: 10.1016/s0966-842x(00)01732-7
- Lim PO, Kim HJ, Gil Nam H (2007) Leaf Senescence. *Annual Review of Plant Biology* 58(1): 115-136; doi: 10.1146/annurev.arplant.57.032905.105316
- Liu H, Li X, Xiao J, Wang S (2012) A convenient method for simultaneous quantification of multiple phytohormones and metabolites: application in study of rice-bacterium interaction. *Plant Methods* 8(1): 2; doi: 10.1186/1746-4811-8-2
- Liu X, Hegeman AD, Gardner, Cohen JD (2012) Protocol: high-throughput and quantitative assays of auxin and auxin precursors from minute tissue samples. *Plant Methods* 8: 31; doi: 10.1186/1746-4811-8-31
- Lomonte B (2020) Manual de Métodos Inmunológicos, Universidad de Costa Rica. Disponible en: <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/9244.2> Consultado 12/10/20
- Loredo-Osti C, López-Reyes L, Espinosa-Victoria D (2004) Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: Una revisión. *Terra Latinoamericana* 22(2): 225-239
- McGuinness PN, Reid JB, Foo E (2019) The role of gibberellins and brassinosteroids in nodulation and arbuscular mycorrhizal associations. *Frontiers in plant science* 10: 269; doi: 10.3389/fpls.2019.00269
- Martín MDR, Rodríguez CN (Eds). (2004) *Metabolismo y modo de acción de fitohormonas (71)*. Universidad de Salamanca. Ediciones Universidad Salamanca, Salamanca; ISBN: 84-7800-614-1
- Mitra D, Anđelković S, Panneerselvam P, Senapati A, Vasiæ T, Ganeshamurthy AN, Radha TK (2020) Phosphate-solubilizing microbes and biocontrol agent for plant nutrition and protection: current perspective. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 51(5): 645-657; doi: 10.1080/00103624.2020.1729379
- Mori IC, Ikeda Y, Matsuura T, Hirayama T, Mikami K (2017) Phytohormones in red seaweeds: a technical review of methods for analysis and a consideration of genomic data. *Botanica Marina* 60(2): 153-170; doi: 10.1515/bot-2016-0056
- Navarro OM, Retamales AJ, Defilippi BB (2001) Efecto del arreglo de racimo y aplicación de citoquinina sintética (cppu) en la calidad de uva de mesa variedad sultanina tratada con dos fuentes de giberelinas. *Agricultura Técnica* 61(1): 15-25; doi: 10.4067/S0365-28072001000100002
- Pan X, Welti R, Wang X (2008) Simultaneous quantification of major phytohormones and related compounds in crude plant extracts by liquid chromatography-electrospray tandem mass spectrometry. *Phytochemistry* 69(8): 1773-1781; doi: 10.1016/j.phytochem.2008.02.008
- Paque S, Weijers D (2016) Q&A Auxin the plant molecule that influences almost anything. *BMC Biol* 14: 67; doi: 10.1186/s12915-016-0291-0
- Pfluger J, Zambryski P (2004) The role of SEUSS in auxin response and floral organ patterning. *Development* 131(19): 4697-4707; doi: 10.1242/dev.01306
- Porta H, Jiménez NG (2019) Papel de las hormonas vegetales en la regulación de la autofagia en plantas. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas* 22: 1-11; doi: 10.22201/fesz.23958723e.2018.0.160
- Qbal N, Khan NA, Ferrante A, Trivellini A, Francini A, Khan, MIR (2017) Ethylene role in plant growth, development and senescence: interaction with other phytohormones. *Frontiers in plant science* 8: 475; doi: 10.3389/fpls.2017.00475
- Reinoso AJCQ (2003) El efecto de las Fitohormonas en la fruticultura. *La Granja* 2(1): 29-30
- Riyazuddin R, Verma R, Singh K, Nisha N, Keisham M, Bhati KK, Gupta R (2020) Ethylene: a master regulator of salinity stress tolerance in plants. *Biomolecules* 10(6): 959; doi: 10.3390/biom10060959

- Rivera JD, Correa NYM, Ocampo DM (2017) Estandarización de un método cromatográfico para la identificación del ácido giberélico en semillas de maíz (*Zea mays* L). *Ciencia en desarrollo* 8(2): 51-60; doi: 10.19053/01217488.v8.n2.2017.7129
- Rives N, Acebo Y, Hernández A (2007) Bacterias promotoras del crecimiento vegetal en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) perspectivas de su uso en Cuba. *Cultivos tropicales* 28(2): 29-38
- Roca P, Oliver J, Rodríguez AM (eds). (2004) *Bioquímica: técnicas y métodos*. Editorial Hélice, España; ISBN: 84-921124-8-4
- Rocha FRP, Teixeira LSG (2004) Estrategias para aumento de sensibilidad de espectrofotometría UV-VIS. *Química Nova* 27(5): 807-812; doi: 10.1590/s0100-40422004000500021
- Rojas CA, Rodríguez DAM, Montes VS, Pérez JS, Rodríguez TA, Guerrero ZLA (2010) Evaluación de la promoción del crecimiento de *Cynodon dactylon* L. por rizobacterias productoras de fitohormonas aisladas de un suelo contaminado con hidrocarburos derivados del petróleo. *Polibotánica* (29): 131-147
- Salazar A, Sandoval A, Armendáriz J (eds) (2013) *Biología molecular. Fundamentos y aplicaciones en las ciencias de la salud*. Editorial Mc Graw Hill Education, México DF; ISBN: 978-607-15-1366-3
- Sánchez FJA (1999) La espectrofotometría UV-VIS aplicada al estudio del color y estabilidad en morteros coloreados The UV-VIS spectrophotometry applied to colour and stability study in coloured mortars. *Materiales de construcción* 49(254): 17
- Smith PMC, Atkins CA (2002) Purine Biosynthesis. Big in Cell Division, Even Bigger in Nitrogen Assimilation. *Plant Physiology* 128(3): 793-802; doi: 10.1104/pp.010912
- Spagnoletti FN, di Pardo AF, Gómez NET, Chiochio VM (2013) Las micorrizas arbusculares y *Rhizobium*: una simbiosis dual de interés. *Revista Argentina de Microbiología* 45(2): 131-132
- Steenhoudt O, Vanderleyden J (2000) *Azospirillum*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. *FEMS Microbiology Reviews* 24(4): 487-506; doi: 10.1111/j.1574-6976.2000.tb00552.x
- Suttle JC (2008) Effects of Synthetic Phenylurea and Nitroguanidine Cytokinins on Dormancy Break and Sprout Growth in Russet Burbank Minutubers. *American Journal of Potato Research* 85(2): 121-128; doi: 10.1007/s12230-008-9002-x
- Su Y, Xia S, Wang R, Xiao L (2017) Phytohormonal quantification based on biological principles. En: Li J, Li C, Smith SM (Eds). *Hormone Metabolism and Signaling in Plants*, pp. 431-470. Academic Press, London
- Tarakhovskaya ER, Maslov YuI, Shishova MF (2007) Phytohormones in algae. *Russian Journal of Plant Physiology* 54(2): 163-170
- Thangavelu RM, Gunasekaran D, Jesse MI, SU MR, Sundarajan D, Krishnan K (2018) Nanobiotechnology approach using plant rooting hormone synthesized silver nanoparticle as nanobullets for the dynamic applications in horticulture an *in vitro* and *ex vitro* study. *Arabian Journal of Chemistry* 11(1): 48-61; doi: 10.1016/j.arabjc.2016.09.022
- Tian H, He Y, Liu S, Yang Z, Wang J, Li J Tan W (2019) Improved synthetic route of exo 16, 17 Dihydro gibberellin A5 13 acetate and the bioactivity of its derivatives towards *Arabidopsis thaliana*. *Pest management science* 76(2): 807-817
- Tudzynski B, Sharon A (2002) Biosynthesis, Biological Role and Application of Fungal Phytohormones. *Industrial Applications* 183-211; doi: 10.1007/978-3-662-10378-4_9
- van Doorn WG, Stead AD (1997) Abscission of flowers and floral parts. *Journal of Experimental Botany* 48(4): 821-837; doi: 10.1093/jxb/48.4.821
- Turaeva B, Soliev A, Eshboev F, Kamolov L, Azimova N, Karimov H, Khamidova K (2020) The use of three fungal strains in producing of indole-3-acetic acid and gibberellin acid. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology* 21(35&36): 32-43

- Ullah A, Manghwar H, Shaban M, Khan AH, Akbar A, Ali U, Fahad S (2018) Phytohormones enhanced drought tolerance in plants: a coping strategy. *Environmental Science and Pollution Research* 25(33): 33103-33118; doi: 10.1007/s11356-018-3364-5
- Vega CP, Canchignia MH, González M, Seeger M (2016) Biosíntesis de ácido indol-3-acético y promoción del crecimiento de plantas por bacterias. *Cultivos Tropicales* 37: 33-39
- Werle LB, Abaide ER, Felin TH, Kuhn KR, Tres MV, Zobot GL, Mazutti MA (2020) Gibberellic acid production from *Gibberella fujikuroi* using agro-industrial residues. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 25: 101608; doi: 10.1016/j.bcab.2020.101608
- Yu H, Ito T, Zhao Y, Peng J, Kumar P, Meyerowitz EM (2004) Floral homeotic genes are targets of gibberellin signaling in flower development. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101(20): 7827-7832; doi: 10.1073/pnas.0402377101
- Zavala J, Alcarraz M, Julian J (2020) Evaluación para la producción de *Azotobacter* sp. Promotor de crecimiento para cultivos de *Coffea arabica*. *Ciencia e Investigación* 23(1): 45-50; doi: 10.15381/ci.v23i1.18751
- Zhang W, Fan J, Tan Q, Zhao M, Zhou T, Cao F (2017) The effects of exogenous hormones on rooting process and the activities of key enzymes of *Malus hupehensis* stem cuttings. *PLoS One* 12(2): e0172320; doi: 10.1371/journal.pone.0172320

Recibido: 16-06-2021

Aceptado: 31-07-2021

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> Está permitido su uso, distribución o reproducción citando la fuente original y los autores.