

## FITOHORMONAS EN MICROORGANISMOS: FUNCIONES MÁS ALLÁ DE LA SIMBIOSIS

Jonathan Duran-Palmerin <sup>a</sup>, Francisco Vargas-Gasca <sup>a</sup>, Vianey Olmedo-  
Monfil <sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Biología, DCNE, Universidad de Guanajuato. Noria Alta S/N; C.P. 36050;  
Guanajuato, Gto. vg.olmedo@ugto.mx

### Resumen

Las hormonas vegetales, o fitohormonas, son compuestos químicos producidos por plantas, que coordinan todos los aspectos de su fisiología, regulando el crecimiento, diferenciación y morfogénesis, así como las respuestas a estímulos ambientales bióticos y abióticos. Las más estudiadas son ácido salicílico (SA), jasmonato (JA), etileno (ET), auxinas, citoquininas (CKs), ácido abscísico (ABA) y giberelinas (GAs). En plantas, las fitohormonas regulan también interacciones con microorganismos, la producción de fitohormonas por otros organismos ha recibido menos atención. Se ha reportado su síntesis en bacterias, hongos y protozoos. Sin embargo, se conoce poco sobre la función biológica en estos sistemas. En esta revisión describiremos brevemente la información disponible acerca de los microorganismos que producen fitohormonas, vislumbrado el posible papel que desempeñan en la fisiología microbiana, más allá de servir como mediadores para la interacción planta-microorganismo.

*Palabras clave:* Plantas; bacterias; hongos; protozoos; fitohormonas.

## PHYTOHORMONES IN MICROORGANISMS: FUNCTIONS BEYOND SYMBIOSIS

### Abstract

Plant hormones, or phytohormones, are chemical compounds produced by plants, that coordinate all aspects of their physiology, regulating growth, differentiation, and morphogenesis, as well as responses to biotic and abiotic environmental stimuli. The most studied ones are salicylic acid (SA), jasmonate (JA), ethylene (ET), auxins, cytokinins (CKs), abscisic acid (ABA), and gibberellins (GAs). In plants, phytohormones also regulate interactions with microorganisms, the production of phytohormones by other organisms has received less attention. The synthesis of phytohormones in bacteria, fungi, and protozoa has been reported, however little is known about the biological function of these systems. In this review we will briefly describe the available information about microorganisms that produce phytohormones, glimpsing the possible role they play in microbial physiology, beyond serving as mediators for plant-microorganism interaction.

*Keywords:* Plants; bacteria; fungi; protozoa; phytohormones.

## 1. Introducción

En el siglo XIX Julius Von Sachs y Charles Darwin demostraron que el crecimiento de las plantas estaba regulado por sustancias que se movían de una parte de la planta a otra; tomó casi un siglo para que esas sustancias fueran descritas y estudiadas, dándoles el nombre de fitohormonas. Se trata de compuestos orgánicos que regulan procesos fisiológicos, como lo son el desarrollo y la defensa vegetal (Santner y col., 2009). En la actualidad, las fitohormonas son de gran interés en la agricultura, ya que se utilizan para manipular el crecimiento de las plantas, aumentar la producción de cultivos, incrementar la resistencia al estrés y mejorar la calidad de los productos agrícolas (Masondo y col., 2024). La idea general es que se trata de compuestos exclusivos de las plantas pero, de forma relativamente recientemente, se ha descubierto que otros organismos, como bacterias, hongos y protozoos, también son capaces de sintetizarlas, aunque aún se sabe muy poco sobre la función que desempeñan en la propia biología del microorganismo productor (Fonseca y col., 2018). Está ampliamente documentado que las fitohormonas producidas por microorganismos son relevantes en las interacciones que establecen con las plantas,

pero también hay evidencia de que pueden regular la propia fisiología microbiana y posiblemente las interacciones de las poblaciones microbianas que habitan el suelo y otros hábitats (Fonseca y col., 2018). Es relevante el estudio de la función de las fitohormonas en los microorganismos ya que permitiría vislumbrar su potencial biotecnológico para influir tanto en su fisiología como en las interacciones con las plantas y con otros habitantes del suelo (Koul y col., 2022). Comprender cómo estos microorganismos producen y utilizan fitohormonas puede ofrecer nuevas estrategias para mejorar la productividad agrícola, desarrollar biocontroladores de patógenos y aumentar la resistencia de las plantas al estrés ambiental, contribuyendo así a una agricultura más sostenible y eficiente.

## 2. Síntesis y función de fitohormonas en plantas

Los efectos regulatorios de las fitohormonas en las plantas son complejos y no completamente comprendidos. El mecanismo por el cual cada fitohormona ejerce su función es específico (Yamaguchi y col., 2010). Sin embargo, podemos generalizar las etapas por las cuales pasa cada una de ellas,

que son mostradas en la Figura 1. La primera etapa es la síntesis, y ocurre en un tejido distinto a donde tendrá efecto la fitohormona, por lo tanto, necesita ser transportada hacia los diferentes tejidos de la planta, puede ser transportada en su forma activa o inactiva (Pattyn y col., 2021). Una vez que llega a su sitio diana, es percibida por receptores específicos, los cuales desencadenan una cascada de señalización que culmina en la regulación de la expresión de genes, los cuales están involucrados en procesos de

desarrollo como la germinación, el crecimiento, la reproducción y el envejecimiento, o bien, la respuesta puede estar dirigida para enfrentar un evento de estrés biótico, como el ataque por organismos patógenos, o abiótico, como la sequía y temperaturas extremas (Trewavas y col., 1983; Saidi y col., 2021). La producción de fitohormonas está regulada, en parte, por la cantidad de las propias fitohormonas que se producen y perciben. Una alta concentración puede causar una regulación temprana,

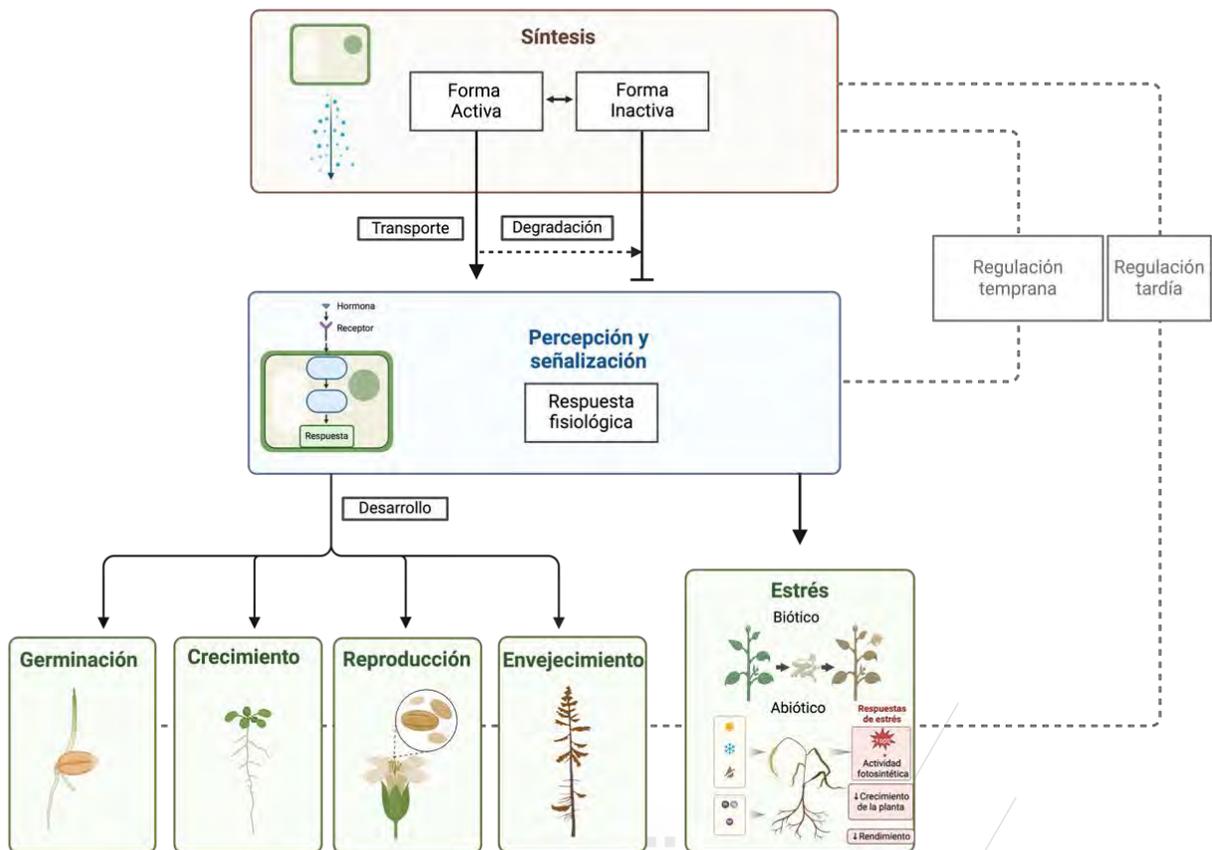


Figura 1. Representación general del funcionamiento de las fitohormonas en plantas.

reduciendo la síntesis o puede darse una regulación tardía, mediante las señales generadas, una vez que la etapa del desarrollo terminó, o que los eventos de estrés pasaron.

No es posible adjudicar una sola función a cada fitohormona. Los procesos biológicos mostrados en la Figura 1, son regulados por la interacción de vías de señalización activadas por distintas fitohormonas, para modular diversas vías metabólicas (Yamaguchi y col., 2010). Aun así, debido a su participación preponderante, es posible relacionar cada fitohormona con procesos biológicos particulares. Por ejemplo, el SA, sintetizado a partir del corismato, juega un papel crucial en la defensa contra patógenos biotróficos y afecta la estructura de las comunidades bacterianas en la raíz (Chen y col., 2021; Dempsey y col., 2011). El JA, derivado de ácidos grasos, protege contra microorganismos necrotrofos y daño mecánico (Ali y col., 2020; Ruan y col., 2019). Las auxinas, como el AIA, son esenciales para el crecimiento y desarrollo general (Casanova-Sáez y col., 2021; Korasick y col., 2013). Las GAs regulan procesos como la germinación de semillas y la floración, mientras que las CKs, derivadas de adenina, influyen en la germinación y el mantenimiento de meristemos (Mukherjee y

col., 2022; Waadt y col., 2022). El ET, una fitohormona gaseosa, está involucrado en la maduración de frutos y se sintetiza a partir de metionina (Binder, 2020; Dubois y col., 2018). Finalmente, el ABA, conocido como la hormona del estrés, regula la respuesta a condiciones abióticas adversas y el desarrollo de semillas (Brookbank y col., 2021; Sano y col., 2021). La síntesis y regulación de todas las fitohormonas es fundamental para el funcionamiento coordinado de las plantas tanto en respuesta a cambios ambientales como en los procesos de desarrollo.

### **3. Relación entre microorganismos y plantas**

Las plantas se desarrollan en comunidades conformadas por otras plantas, así como por consorcios microbianos, los cuales pueden estar presentes incluso dentro de los tejidos vegetales. Estas comunidades microbianas establecen asociaciones, o simbiosis con las plantas, las cuales pueden ser de naturaleza neutral, beneficiosa o patógena, ya sea dentro o fuera de la planta. La comunicación molecular entre los organismos de estas comunidades es crucial para la supervivencia. Las plantas emplean un mecanismo de comunicación mediante la liberación de

metabolitos, como las fitohormonas, que constituyen una compleja red de señalización (Eichmann y col., 2021; Fonseca y col., 2018; Waadt y col., 2022).

El ambiente generado por las raíces de las plantas proporciona un espacio ideal para el establecimiento de comunidades microbianas (Molefe y col., 2023). La evolución de las raíces de las plantas ha permitido la especialización de algunas especies de microorganismos para colonizarlas, por lo que se sugiere una posible co-evolución de las interacciones planta-microorganismo, dado que las plantas primitivas contaban con sistemas radiculares rudimentarios y capacidades limitadas para permanecer en tierra; la colaboración con microorganismos podría haber facilitado su adaptación y supervivencia (Eichmann y col., 2021). Las fitohormonas, con su amplia variedad de funciones, podrían haber sido el canal inicial para la comunicación entre plantas y microorganismos, tras miles de años de interacción, es comprensible que las plantas y los microorganismos hayan desarrollado un lenguaje molecular de comunicación mutua (Leach y col., 2017). La evidencia actual muestra que varios grupos de microorganismos, incluso aquellos que no interactúan directamente con plantas,

producen fitohormonas, lo que sugiere que estas hormonas también desempeñan funciones fisiológicas en los microorganismos, más allá de su papel en la simbiosis con las plantas (Eichmann y col., 2021).

#### **4. Las fitohormonas de los microorganismos**

Existe más información relacionada a entender cómo las fitohormonas, sintetizadas por las plantas, pueden regular los procesos de interacción con los microorganismos. Sin embargo, la síntesis de fitohormonas por parte de otros organismos es un tema que, aunque no es nuevo, ha tenido poca atención en la investigación. Hasta la fecha se sabe que bacterias, hongos y protozoos son capaces de sintetizar fitohormonas en diferentes condiciones de cultivo, pero se ha descrito muy poco la función biológica que desempeñan en estos sistemas microbianos. En la Tabla 1 se presentan algunos microorganismos capaces de sintetizar fitohormonas y las funciones fisiológicas que se han reportado para propio organismo que las produce, y se muestran las funciones principales de cada fitohormona en plantas. Dicha información será abordada con más

detalle a continuación, para cada grupo microbiano.

#### 4.1. Hongos

Los hongos son caracterizados por su gran diversidad y capacidad de colonización de múltiples hábitats (Macías-Rodríguez y col., 2020). Podemos encontrarlos en cualquier sitio y, por lo general, están en contacto con otros organismos, incluyendo a las plantas (Contreras-Cornejo y col., 2016). Los hongos se destacan por su papel fundamental en el mantenimiento de la biósfera, puesto que son los principales descomponedores de la materia orgánica, además de tener una alta capacidad para producir metabolitos secundarios (Guarro, 2012). No es de extrañar que estos organismos puedan sintetizar fitohormonas, como lo hacen *Claviceps purpurea*, que produce CKs, al igual que *Leptosphaeria maculans*, *Botryodiplodia theobromae*, *Taphrina sp.* y *Pyrenopeziza brassicae* (Hinsch y col., 2015). Se ha demostrado que la producción de CKs por parte de estas especies fúngicas está relacionada con su capacidad para infectar a sus hospederos vegetales (Vedenicheva N, y col., 2023). De manera más específica, Chanclud y col. (2016), demostraron la

relevancia de las CKs en el proceso patogénico de *Magnaporthe oryzae* sobre las plantas de arroz. Para esto utilizaron una cepa deficiente en la producción de CKs, que mostró ser incapaz de infectar a las plantas. Para evaluar si este defecto en la patogénesis era a causa de la deficiencia de CKs, añadieron la fitohormona de manera exógena, observando que se reestablecía la virulencia del hongo.

Es interesante que algunos hongos también puedan sintetizar auxinas, como el caso *Leptosphaeria maculans*, *Trichoderma virens*, *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma reesei* (Contreras-Cornejo y col., 2009; Illescas y col., 2021; Leontovyčová y col., 2020). Se ha reportado que algunos hongos productores de auxinas como el simbionte benéfico *Piriformospora indica* o los patógenos *M. oryzae* y *Colletotrichum gloeosporioide* requieren auxinas para un proceso adecuado de colonización e infección (Leontovyčová y col., 2020). El hongo modelo en los laboratorios, *Neurospora crassa*, puede sintetizar auxinas, en específico AIA. Sardar P. y col, en 2018, además de encontrar genes relacionados con la síntesis de AIA en *N. crassa*, sugieren que puede estar involucrado en el proceso de conidiación, ya que una cepa

mutante, deficiente en la producción de AIA, mostró una cantidad significativamente más baja de conidios que la cepa silvestre, incluso después de cinco días de incubación. En 2020 Leontovyčová y colaboradores, trabajando con *L. maculans*, encontraron que este fitopatógeno también produce AIA. Se evaluó su germinación y crecimiento en presencia de AIA exógeno (1mM), observando inhibición del crecimiento y de la germinación de los conidios. Se observó un efecto similar en *Fusarium graminearum* cuando se cultivó en AIA 1 mM retrasando el crecimiento de micelio y de la germinación de macroconidios (Luo y col., 2016). Los efectos de la adición exógena de hormonas deben considerarse como meras aproximaciones, ya que es muy complicado asegurar que esas cantidades están en los rangos fisiológicos habituales de estos microorganismos.

*Fusarium fujikuroi*, un hongo patógeno del arroz, causante de la enfermedad denominada Bakanae o enfermedad de las plantas locas, ha sido ampliamente estudiado. Los datos más relevantes se asocian con su capacidad para sintetizar GAs, y se relacionó con la efectividad con la que puede infectar a las plantas. *F. fujikuroi* es utilizado para la producción industrial de GAs (Cen y col., 2020; Tudzynski, 2005). *N. crassa* también

puede sintetizar GAs y además, su aplicación exógena mejora el crecimiento de las hifas, sugiriendo un efecto importante en la fisiología del hongo (Chanclud y col., Morel, 2016).

ABA es otra fitohormona que también ha sido reportada en algunos hongos, como es el caso de las especies fitopatógenas *Botrytis cinerea*, *Cercospora pinidensiflorae*, *Cercospora rosicola* y *Cercospora cruenta*. En estos hongos la vía de síntesis de ABA difiere de la de las plantas (Izquierdo-Bueno y col., 2018). No se ha reportado que las GAs sean esenciales para el crecimiento o desarrollo de los hongos, pero dado que su producción ocurre principalmente cuando los hongos están expuestos a un ambiente hostil, se infiere que la producción de GAs podría ser necesaria para la supervivencia en su nicho ecológico (Salazar-Cerezo y col., 2018).

Existen algunos reportes que muestran la producción de etileno por varios hongos, que se encuentran en filos diversos y en nichos variados. Se encuentran hongos patógenos como *B. cinerea* y hongos benéficos, como *F. oxysporum* con abetos (Fonseca y col., 2018). Se ha descrito también que el ET, y algunos de sus precursores, están involucrados en la germinación de esporas y el crecimiento de hifas, como es el caso de los patógenos

*Alternaria alternata* y *B. cinerea* (Chagué y col., 2007; Kępczyńska y col, 1994). De igual manera, se ha visto que, en dosis muy bajas, alrededor de 0.01 a 0.1 ppm, el etileno tiene un impacto positivo en el crecimiento de las hifas en hongos benéficos como *Gigaspora ramisporophora* y *Glomus mosseae* (Ishii y col., 1996). Al igual que otras fitohormonas, sus efectos, al ser agregados de manera exógena, dependerán de las concentraciones usadas, en este caso se indican efectos negativos al probar concentraciones mayores de 1 mM y efectos promotores del crecimiento en concentraciones menores al 1 mM (Chanclud y col., 2016). También se ha demostrado que el ET causa cambios transcripcionales específicos en un gran número de genes en *B. cinerea*, lo que ha llevado a sugerir la existencia de una vía de señalización sensible a esta fitohormona (Chagué y col., 2010).

Son escasos los trabajos que reportan efecto o producción de las hormonas JA y SA por parte de los hongos. Kilaru y colaboradores, en 2007, reportaron el efecto promotor del crecimiento en *Moniliophthora perniciosa*, hongo que causa la enfermedad conocida como escoba de bruja, en plantas de cacao, cuando se agregaron de manera exógena SA y JA, en comparación con el control, al cual

que no se le aplicó la hormona. También se ha descrito la producción de SA en hongos endosimbiontes como *T. virens*, *T. harzianum* y *Trichoderma longibrachiatum*, aunque no se ha descrito si tiene un papel en su fisiología (Illescas y col., 2021). En una publicación hecha por Eng y col., 2021, donde recopilaban información de diferentes hongos productores de JA, encontraron que el fitopatógeno *Lasiodiplodia theobromae* era capaz de producir JA en mayor cantidad que *Fusarium oxisporum*, otro hongo reportado como productor de JA. Cuando las evidencias experimentales son muy escasas, una manera de tener información acerca de la posibilidad de producción de fitohormonas en algún organismo es el uso de herramientas bioinformáticas, que permiten el análisis de genomas y transcriptomas. Por ejemplo, para *Trichoderma atroviride* se ha validado la presencia de los genes necesarios para la síntesis de auxinas, GAs, ABA, ET, CKs y SA, lo que sugiere su potencial producción, tal vez bajo condiciones particulares que aún faltarán por definir (Guzmán-Guzmán y col., 2019).

#### 4.2. Bacterias

Los metabolitos bacterianos son una fuente clave de compuestos en biotecnología (Andryukov y col., 2019). Se ha documentado que los metabolitos primarios y secundarios, producidos por bacterias, pueden influir significativamente en el metabolismo de las plantas con las que cohabitan, desencadenando diversos efectos biológicos (Narayanan y col. Glick, 2022). Al igual que los hongos, muchas bacterias pueden sintetizar fitohormonas, lo que es crucial, dada su alta interacción con las plantas. Por ejemplo, *Azotobacter chroococcum* y *Bacillus megaterium*, bacterias que habitan en la rizósfera, producen CKs, mejorando la tasa de crecimiento, germinación de semillas y el desarrollo radicular (Sokolova y col., 2011).

Großkinsky y colaboradores (2016) encontraron que *Pseudomonas fluorescens*, productora de CKs, puede controlar a la bacteria patógena *Pseudomonas syringae* en plantas de *Arabidopsis thaliana*, sugiriendo que las fitohormonas microbianas actúan como mecanismos de comunicación inter-especies y en el control biológico.

Se ha descrito la producción de GAs en *Acinetobacter calcoaceticus*, *Azospirillum brasilense*, *Bacillus cereus* y *Pseudomonas monteili* (Salazar-Cerezo y col., 2018). Estas fitohormonas están relacionadas con la

patogenicidad y actúan como determinantes de virulencia en bacterias (Yang y col., 2008).

Más del 80% de las bacterias rizosféricas pueden sintetizar la auxina AIA. Entre ellas se incluyen *Pseudomonas chlororaphis*, *Xanthomonas axonopodis* y *Rhizobium spp.* (Spaepen y col., 2011). Bianco y colaboradores (2006) mostraron que *Escherichia coli* expuesta a AIA es más resistente a estrés abiótico y produce componentes estructurales que ayudan a superar condiciones ambientales adversas.

Bacterias rizosféricas y marinas de los géneros *Achromobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Streptomyces* producen ABA. Aunque no se conoce bien su vía de síntesis, se ha identificado que participa en patógenos como *Pseudomonas syringae*, para modular respuestas en plantas hospederas (Lievens y col., 2017; De Torres-Zabala y col., 2007).

*E. coli*, *Ralstonia solanacearum* y *Cryptococcus albidus* producen ET, y más de un tercio de las bacterias cultivables del suelo pueden producirlo (Nagahama y col., 1992). Aunque se sabe poco sobre el papel del ET en la fisiología bacteriana, se ha descrito la capacidad para manipular y responder al ET producido por las plantas (Ravanbakhsh y

col., 2018). *P. aeruginosa* y *P. fluorescens* pueden sintetizar SA, a partir del corismato, utilizando dos enzimas (Dempsey y col., 2011). Otras bacterias como *Yersinia enterocolitica* y *Mycobacterium tuberculosis* utilizan una sola enzima (Wang y col., 2021). El SA en bacterias puede ser un precursor para la formación de sideróforos, utilizados para la asimilación de nutrientes (Mishra y col., 2021).

#### 4.3. Protozoos

Los protozoos son organismos microscópicos, unicelulares, que pueden ser de vida libre o parásitos (Yaeger y col., 1996). Aunque se les relaciona más comúnmente con enfermedades en humanos, los protozoos también tienen relación con plantas, y pueden afectar la salud vegetal, mineralizar los nutrientes y alterar la estructura y actividad de las comunidades asociadas a las raíces (Ogbera y co, 2021; Weidner y col., 2017). Existe poca información acerca de fitohormonas en protozoos, ya que no hay casos de enfermedades ocasionadas por estos organismos en plantas cultivadas; es posible que por esta razón, haya menor interés en su estudio (Weidner y col., 2017). Algunos protozoos son capaces de sintetizar

fitohormonas y además se ha demostrado que éstas desempeñan un papel fisiológico en el mismo organismo productor, como lo demostraron Andrabi y colaboradores, en un estudio realizado en 2018, encontraron que el parásito *Toxoplasma gondii*, era capaz de sintetizar CKs, ABA y SA. Así mismo, *Plasmodium berghei* y *Plasmodium falciparum* son capaces de producir CKs y SA. Se observó que en *T. gondii* y *P. falciparum* las CK's participan en su proceso de crecimiento. También se observó que el SA, producido por *P. falciparum*, podía funcionar como un determinante de patogenicidad, aunque no se ha descrito la forma en que lo lleva a cabo (Matsubara y col., 2015). En *T. gondii* se comprobó que las CKs producidas por el mismo parásito regulan su crecimiento y ciclo celular, así como la proliferación de sus apicoplastos, que son orgánulos de origen algal, remanentes de la endosimbiosis y que son esenciales para la viabilidad del parásito (Andrabi y col., 2018). En 2015, Matsubara y sus colegas demostraron que los parásitos de apicomplejos *P. berghei* y *T. gondii* son capaces de sintetizar SA en cantidades significativas, alcanzando concentraciones de 9.18  $\mu$ M y 23.6  $\mu$ M, respectivamente. Sin embargo, la adición exógena de SA al medio de cultivo, en concentraciones desde 0.1 nM

hasta 100  $\mu\text{M}$ , no mostró ningún efecto en el crecimiento del parásito. Es evidente que se requieren más estudios para determinar si existen efectos fisiológicos regulados por esta fitohormona en los protozoos mencionados o en otras especies, tal vez bajo condiciones particulares de cultivo. Por otro lado, en 2008, Nagamune y colaboradores informaron que la producción de ABA por *T. gondii* controla la señalización endógena del calcio, teniendo efecto en el crecimiento *in vitro* del parásito.

## 5. Conclusiones

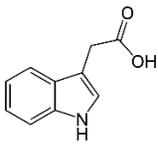
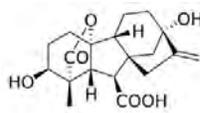
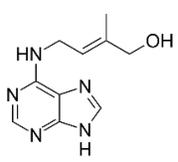
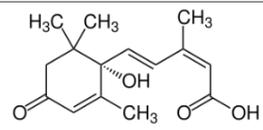
Los efectos de las fitohormonas en las plantas son complejos, diversos y con múltiples puntos de interacción; el resultado final se ve influenciado por la presencia de otras hormonas y el balance entre éstas. Esta breve revisión nos permite ver que la mayoría de estos compuestos, típicamente asociados a las plantas, también son producidos y/o percibidos por hongos, bacterias y protozoos. No son exclusivos de las plantas, lo que abre un amplio campo para el análisis de su función en los microorganismos, no únicamente en los procesos de simbiosis, sea benéfica o patogénica. La información que hemos presentado indica que las fitohormonas, en los microorganismos,

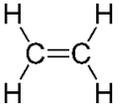
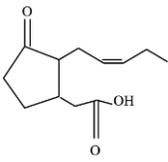
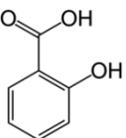
pueden estar regulando crecimiento, diferenciación y capacidades de interacción con hospederos y organismos competidores. Aún no se comprende bien la síntesis de las fitohormonas en los microorganismos, ni la forma en que se secretan y actúan. Son pocos los estudios que van dirigidos a descifrar sus funciones. Sin embargo, hay un interés creciente por atender esta área. Consideramos que existe un alto potencial para aplicar el conocimiento que se pueda generar, en la optimización de cepas para aplicar en agricultura o en la producción de las fitohormonas a partir de cultivos microbianos. Son muchos los retos e incógnitas que quedan por resolver, mostrando un área de oportunidad para futuras investigaciones.

## Agradecimientos

Agradecemos a Martha Lizeth Pérez Méndez y Emilio Vargas Colmenero, por las aportaciones hechas en este trabajo.

**Tabla 1.** Fitohormonas y sus funciones en diferentes organismos.

Hormona	Estructura	Planta <i>A. thaliana</i>	Bacteria	Hongo	Protozoo	Referencia
Auxina	 Ácido indol acético	Control de tropismos Crecimiento axial Diferenciación celular	<i>P. chlororaphis</i> Molécula de señalización. Resistencia al estrés. Adhesión.	<i>L. maculans</i> Determinante de virulencia. Germinación de esporas. Crecimiento micelial.	No encontrado	(Fonseca y col., 2018; Park y col., 2021; Rolón-Cárdenas y col., 2022; Spaepen y col., Vanderleyden, 2011)
GA	 Ácido giberélico	Crecimiento de las raíces. Alargamiento del tallo. Germinación.	<i>A. calcoacetic</i> Determinante de virulencia.	<i>F. fujikuroi</i> Resistencia al estrés abiótico. Determinante de virulencia	No encontrado	(Keswani y col., 2022; Kumar y col., 2019; Salazar-Cerezo y col., 2018)
CK	 Trans-zeatina	Proliferación y diferenciación celular.	<i>A. chroococcum</i> Inducción de resistencia. Interacción con el hospedero. Proliferación en el hospedero.	<i>C. purpurea</i> Formación de conidióforos. Absorción de nutrientes. Determinante de virulencia.	<i>T. gondii</i> Regulación de crecimiento y ciclo celular.	(Boya y col., 2018; Fonseca y col., 2018; Großkinsky y col., 2016; Hinsch y col., 2015; Waadt y col., 2022)
ABA	 Ácido abscísico	Promoción de la latencia de semillas. Respuesta adaptativa.	<i>Streptomyces</i> Determinante de virulencia. Interacción con el hospedero.	<i>M. oryzae</i> Germinación de esporas. Formación de apresorios.	<i>T. gondii</i> Señalización de los procesos regulados por calcio.	(Brookbank y col., 2021; Lievens y col., 2017; Spence y col., 2015)

<p><b>Etileno</b></p>		<p>Maduración. Germinación. Abscisión de hojas.</p>	<p><i>R.solanacearum</i> Co- regulación del etileno en la planta</p>	<p><i>B. cinerea</i> Crecimiento micelial. Senescencia.</p>	<p>No encontrado</p>	<p>(Dubois y col., 2018; Fonseca y col., 2018; Ravanbakhsh y col., 2018b)</p>
<p><b>JA</b></p>		<p>Resistencia al estrés biótico y abiótico. Defensa vegetal. Ramificación de las raíces.</p>	<p>Determinante de virulencia</p>	<p><i>L. theobromae</i> Crecimiento. Germinación de esporas. <i>M. pernicioso</i> Determinante de virulencia.</p>	<p>No encontrado</p>	<p>(Fonseca y col., 2018; Ruan y col., 2019; Wang y col., 2021; Kilaru y col., 2007)</p>
<p><b>SA</b></p>		<p>Resistencia al estrés biótico y abiótico. Crecimiento.</p>	<p><i>P. aeruginosa</i> Intermediario en la producción de sideróforos.</p>	<p><i>M. pernicioso</i> Crecimiento. Determinante de virulencia</p>	<p><i>P. falciparum</i> Determinante de patogenicidad</p>	<p>(Amborabé y col., 2002; An y Mou, 2011; Chen y col., 2021; Fonseca y col., 2018; Kilaru y col., 2007)</p>

## Referencias bibliográficas

- Ali, M. S. y Baek, K. H. (2020). Jasmonic Acid Signaling Pathway in Response to Abiotic Stresses in Plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(2). <https://doi.org/10.3390/IJMS21020621>
- Amorabé, B. E., Fleurat-Lessard, P., Chollet, J. F., y Roblin, G. (2002). Antifungal effects of salicylic acid and other benzoic acid derivatives towards *Eutypa lata*: structure–activity relationship. *Plant Physiology and Biochemistry*, 40(12), 1051–1060. [https://doi.org/10.1016/S0981-9428\(02\)01470-5](https://doi.org/10.1016/S0981-9428(02)01470-5)
- An, C. y Mou, Z. (2011). Salicylic acid and its function in plant immunity. *Journal of Integrative Plant Biology*, 53(6), 412–428. <https://doi.org/10.1111/J.1744-7909.2011.01043.X>
- Andrabi, S. B. A., Tahara, M., Matsubara, R., Toyama, T., Aonuma, H., Sakakibara, H., Suematsu, M., Tanabe, K., Nozaki, T., y Nagamune, K. (2018). Plant hormone cytokinins control cell cycle progression and plastid replication in apicomplexan parasites. *Parasitology International*, 67(1), 47–58. <https://doi.org/10.1016/J.PARINT.2017.03.003>
- Andryukov, B., Mikhailov, V., y Besednova, N. (2019). The Biotechnological Potential of Secondary Metabolites from Marine Bacteria. *Journal of Marine Science and Engineering* 2019, 7(6), 176. <https://doi.org/10.3390/JMSE7060176>
- Bianco, C., Imperlini, E., Calogero, R., Senatore, B., Amoresano, A., Carpentieri, A., Pucci, P., y Defez, R. (2006). Indole-3-acetic acid improves *Escherichia coli*'s defences to stress. *Archives of Microbiology*, 185(5), 373–382. <https://doi.org/10.1007/S00203-006-0103-Y/TABLES/5>
- Binder, B. M. (2020). Ethylene signaling in plants. *The Journal of Biological Chemistry*, 295(22), 7710. <https://doi.org/10.1074/JBC.REV120.010854>
- Boya, P., Codogno, P., y Rodriguez-Muela, N. (2018). Autophagy in stem cells: Repair, remodelling and metabolic reprogramming. *Development (Cambridge)*, 145(4). <https://doi.org/10.1242/DEV.149344/48589>
- Brookbank, B. P., Patel, J., Gazzarrini, S., y Nambara, E. (2021). Role of Basal ABA in Plant Growth and Development. *Genes*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/GENES12121936>

Casanova-Sáez, R., Mateo-Bonmatí, E., y Ljung, K. (2021). Auxin Metabolism in Plants. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 13(3), 1–23. <https://doi.org/10.1101/CSHPERSPECT.A039867>

Cen, Y. K., Lin, J. G., Wang, Y. L., Wang, J. Y., Liu, Z. Q., y Zheng, Y. G. (2020). The Gibberellin Producer *Fusarium fujikuroi*: Methods and Technologies in the Current Toolkit. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 499608. <https://doi.org/10.3389/FBIOE.2020.00232/BIBTEX>

Chagué, V. (2010). Ethylene Production by Fungi: Biological Questions and Future Developments Towards a Sustainable Polymers Industry. En Timmis, K.N. (Eds) *Handbook of Hydrocarbon and Lipid Microbiology*. Springer, Berlin, Heidelberg. (pp.3011-3020). [https://doi.org/10.1007/978-3-540-77587-4\\_224](https://doi.org/10.1007/978-3-540-77587-4_224)

Chagué, V., Danit, L. V., Siewers, V., Schulze-Gronover, C., Tudzynski, P., Tudzynski, B., y Sharon, A. (2007). Ethylene sensing and gene activation in *Botrytis cinerea*: a missing link in ethylene regulation of fungus-plant interactions?. *Molecular Plant-Microbe Interactions: MPMI*, 19(1),

33–42. <https://doi.org/10.1094/MPMI-19-0033>

Chanclud, E., Kisiala, A., Emery, N. R. J., Chalvon, V., Ducasse, A., Romiti-Michel, C., Gravot, A., Kroj, T., y Morel, J. B. (2016). Cytokinin Production by the Rice Blast Fungus Is a Pivotal Requirement for Full Virulence. *PLOS Pathogens*, 12(2), e1005457. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PPAT.1005457>

Chanclud, E. y Morel, J. B. (2016). Plant hormones: a fungal point of view. *Molecular Plant Pathology*, 17(8), 1289–1297. <https://doi.org/10.1111/MPP.12393>

Chen, Y. C., Qiang, G. F. y Du, G. H. (2021). Salicylic Acid. *Natural Small Molecule Drugs from Plants*, 455–460. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-8022-7\\_76](https://doi.org/10.1007/978-981-10-8022-7_76)

Contreras-Cornejo, H. A., Macías-Rodríguez, L., Cortés-Penagos, C. y López-Bucio, J. (2009). *Trichoderma virens*, a Plant Beneficial Fungus, Enhances Biomass Production and Promotes Lateral Root Growth through an Auxin-Dependent Mechanism in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 149(3), 1579. <https://doi.org/10.1104/PP.108.130369>

Contreras-Cornejo, H. A., Macías-Rodríguez, L., del-Val, E., y Larsen, J. (2016). Ecological functions of *Trichoderma* spp. and their secondary metabolites in the rhizosphere: interactions with plants. *FEMS Microbiology Ecology*, 92(4).  
<https://doi.org/10.1093/FEMSEC/FIW036>

De Torres-Zabala, M., Truman, W., Bennett, M. H., Lafforgue, G., Mansfield, J. W., Rodríguez Egea, P., Bögre, L. y Grant, M. (2007). *Pseudomonas syringae* pv. tomato hijacks the *Arabidopsis* abscisic acid signalling pathway to cause disease. *The EMBO Journal*, 26(5), 1434.  
<https://doi.org/10.1038/SJ.EMBOJ.7601575>

Dempsey, D. A., Vlot, A. C., Wildermuth, M. C. y Klessig, D. F. (2011). Salicylic Acid Biosynthesis and Metabolism. <https://doi.org/10.1199/TAB.0156>, 2011(9), e0156. <https://doi.org/10.1199/TAB.0156>

Dubois, M., Van den Broeck, L. y Inzé, D. (2018). The Pivotal Role of Ethylene in Plant Growth. *Trends in Plant Science*, 23(4), 311.  
<https://doi.org/10.1016/J.TPLANTS.2018.01.003>

Eichmann, R., Richards, L. y Schäfer, P. (2021). Hormones as go-betweens in plant microbiome assembly. *The Plant Journal*,

105(2), 518.  
<https://doi.org/10.1111/TPJ.15135>

Eng, F., Marin, J. E., Zienkiewicz, K., Gutiérrez-Rojas, M., Favela-Torres, E. y Feussner, I. (2021). Jasmonic acid biosynthesis by fungi: derivatives, first evidence on biochemical pathways and culture conditions for production. *PeerJ*, 9.  
<https://doi.org/10.7717/PEERJ.10873>

Fonseca, S., Radhakrishnan, D., Prasad, K. y Chini, A. (2018). Fungal Production and Manipulation of Plant Hormones. *Current Medicinal Chemistry*, 25(2), 253–267.  
<https://doi.org/10.2174/0929867324666170314150827>

Großkinsky, D. K., Tafner, R., Moreno, M. V., Stenglein, S. A., De Salamone, I. E. G., Nelson, L. M., Novák, O., Strnad, M., Van Der Graaff, E. y Roitsch, T. (2016). Cytokinin production by *Pseudomonas fluorescens* G20-18 determines biocontrol activity against *Pseudomonas syringae* in *Arabidopsis*. *Scientific Reports* 2016 6:1, 6(1), 1–11.  
<https://doi.org/10.1038/srep23310>

Guarro, J. (2012). Taxonomía y biología de los hongos causantes de infección en humanos. *Enfermedades Infecciosas y*

Microbiología Clínica, 30(1), 33–39.  
<https://doi.org/10.1016/J.EIMC.2011.09.006>

Guzmán-Guzmán, P., Porras-Troncoso, M. D., Olmedo-Monfil, V. y Herrera-Estrella, A. (2019). Trichoderma species: Versatile plant symbionts. *Phytopathology*, 109(1), 6–16.  
[https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-18-0218-RVW/ASSET/IMAGES/LARGE/PHYTO-07-18-0218-RVW\\_F2.JPEG](https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-18-0218-RVW/ASSET/IMAGES/LARGE/PHYTO-07-18-0218-RVW_F2.JPEG)

Hinsch, J., Vrabka, J., Oeser, B., Novák, O., Galuszka, P. y Tudzynski, P. (2015). De novo biosynthesis of cytokinins in the biotrophic fungus *Claviceps purpurea*. *Environmental Microbiology*, 17(8), 2935–2951.  
<https://doi.org/10.1111/1462-2920.12838/SUPPINFO>

Illescas, M., Pedrero-Méndez, A., Pitorini-Bovolini, M., Hermosa, R. y Monte, E. (2021). Phytohormone Production Profiles in *Trichoderma* Species and Their Relationship to Wheat Plant Responses to Water Stress. *Pathogens* 2021, Vol. 10, Page 991, 10(8), 991.  
<https://doi.org/10.3390/PATHOGENS10080991>

Ishii, T., Shrestha, Y. H., Matsumoto, I., y Kadoya, K. (1996). Effect of Ethylene on the Growth of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi and on the Mycorrhizal Formation of

Trifoliolate Orange Roots. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 65(3), 525–529.  
<https://doi.org/10.2503/JJSHS.65.525>

Izquierdo-Bueno, I., González-Rodríguez, V. E., Simon, A., Dalmais, B., Pradier, J. M., Le Pêcheur, P., Mercier, A., Walker, A. S., Garrido, C., Collado, I. G. y Viaud, M. (2018). Biosynthesis of abscisic acid in fungi: identification of a sesquiterpene cyclase as the key enzyme in *Botrytis cinerea*. *Environmental Microbiology*, 20(7), 2469–2482.  
<https://doi.org/10.1111/1462-2920.14258>

Kejela, T. y Kejela, T. (2024). Phytohormone-Producing Rhizobacteria and Their Role in Plant Growth. *New Insights Into Phytohormones*.  
<https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.1002823>

Kępczyńska, E. (1994). Involvement of ethylene in spore germination and mycelial growth of *Alternaria alternata*. *Mycological Research*, 98(1), 118–120.  
[https://doi.org/10.1016/S0953-7562\(09\)80348-1](https://doi.org/10.1016/S0953-7562(09)80348-1)

■ ■ Keswani, C., Singh, S. P., García-Estrada, C., Mezaache-Aichour, S., Glare, T. R., Borriss, R., Rajput, V. D., Minkina, T. M., Ortiz, A. y

Sansinenea, E. (2022). Biosynthesis and beneficial effects of microbial gibberellins on crops for sustainable agriculture. *Journal of Applied Microbiology*, 132(3), 1597–1615. <https://doi.org/10.1111/JAM.15348>

Khalid, A., Tahir, S., Arshad, M. y Zahir, Z. A. (2004). Relative efficiency of rhizobacteria for auxin biosynthesis in rhizosphere and non-rhizosphere soils. *Soil Research*, 42(8), 921–926. <https://doi.org/10.1071/SR04019>

Kilaru, A., Bailey, B. A. y Hasenstein, K. H. (2007). *Moniliophthora perniciosa* produces hormones and alters endogenous auxin and salicylic acid in infected cocoa leaves. *FEMS Microbiology Letters*, 274(2), 238–244. <https://doi.org/10.1111/J.1574-6968.2007.00837.X>

Korasick, D. A., Enders, T. A. y Strader, L. C. (2013). Auxin biosynthesis and storage forms. *Journal of Experimental Botany*, 64(9), 2541–2555. <https://doi.org/10.1093/JXB/ERT080>

Koul, B., Chopra, M., y Lamba, S. (2022). Microorganisms as biocontrol agents for sustainable agriculture. *Relationship Between Microbes and the Environment for Sustainable Ecosystem Services, Volume 1: Microbial Products for Sustainable*

*Ecosystem Services*, 45–68. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89938-3.00003-7>

Kumar, A., Singh, A., Kumar, P. y Sarkar, A. K. (2019). Gibberellic Acid-Stimulated Transcript Proteins Evolved through Successive Conjugation of Novel Motifs and Their Subfunctionalization. *Plant Physiology*, 180(2), 998. <https://doi.org/10.1104/PP.19.00305>

Leontovyčová, H., Trdá, L., Dobrev, P. I., Šašek, V., Gay, E., Balesdent, M. H. y Burketová, L. (2020). Auxin biosynthesis in the phytopathogenic fungus *Leptosphaeria maculans* is associated with enhanced transcription of indole-3-pyruvate decarboxylase LmIPDC2 and tryptophan aminotransferase LmTAM1. *Research in Microbiology*, 171(5–6), 174–184. <https://doi.org/10.1016/J.RESMIC.2020.05.001>

Lievens, L., Pollier, J., Goossens, A., Beyaert, R. y Staal, J. (2017). Abscisic acid as pathogen effector and immune regulator. *Frontiers in Plant Science*, 8, 260123. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2017.00587/BIOTEX>

Luo, K., Rocheleau, H., Qi, P. F., Zheng, Y. L., Zhao, H. Y. y Ouellet, T. (2016). Indole-

3-acetic acid in *Fusarium graminearum*: Identification of biosynthetic pathways and characterization of physiological effects. *Fungal Biology*, 120(9), 1135–1145. <https://doi.org/10.1016/J.FUNBIO.2016.06.002>

Macías-Rodríguez, L., Contreras-Cornejo, H. A., Adame-Garnica, S. G., del-Val, E., y Larsen, J. (2020). The interactions of *Trichoderma* at multiple trophic levels: inter-kingdom communication. *Microbiological Research*, 240, 126552. <https://doi.org/10.1016/J.MICRES.2020.126552>

Masondo, N. A., Gupta, S., Moyo, M. y Aremu, A. O. (2024). Editorial: The application of phytohormones in plant biotechnology for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1382055. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2024.1382055/BIBTEX>

Matsubara, R., Aonuma, H., Kojima, M., Tahara, M., Andrabi, S. B. A., Sakakibara, H. y Nagamune, K. (2015). Plant Hormone Salicylic Acid Produced by a Malaria Parasite Controls Host Immunity and Cerebral Malaria Outcome. *PLOS ONE*, 10(10), e0140559.

<https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0140559>

Mishra, A. K. y Baek, K. H. (2021). Salicylic Acid Biosynthesis and Metabolism: A Divergent Pathway for Plants and Bacteria. *Biomolecules*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/BIOM11050705>

Mukherjee, A., Gaurav, A. K., Singh, S., Yadav, S., Bhowmick, S., Abeysinghe, S. y Verma, J. P. (2022). The bioactive potential of phytohormones: A review. *Biotechnology Reports*, 35. <https://doi.org/10.1016/J.BTRE.2022.E00748>

Nagahama, K., Ogawa, T., Fujii, T., y Fukuda, H. (1992). Classification of ethylene-producing bacteria in terms of biosynthetic pathways to ethylene. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 73(1), 1–5. [https://doi.org/10.1016/0922-338X\(92\)90221-F](https://doi.org/10.1016/0922-338X(92)90221-F)

Nagamune, K., Hicks, L. M., Fux, B., Brossier, F., Chini, E. N. y Sibley, L. D. (2008). Abscisic acid controls calcium-dependent egress and development in *Toxoplasma gondii*. *Nature*, 451(7175), 207. <https://doi.org/10.1038/NATURE06478>

Narayanan, Z. y Glick, B. R. (2022). Secondary Metabolites Produced by Plant Growth-Promoting Bacterial Endophytes. *Microorganisms*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/MICROORGANISM10102008>

Ogbera, A. O. y Anaba, E. (2021). Protozoa and Endocrine Dysfunction. *Endotext*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK568562/>

Park, S., Kim, A. L., Hong, Y. K., Shin, J. H. y Joo, S. H. (2021). A highly efficient auxin-producing bacterial strain and its effect on plant growth. *Journal of Genetic Engineering & Biotechnology*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/S43141-021-00252-W>

Pattyn, J., Vaughan-Hirsch, J. y Van de Poel, B. (2021). The regulation of ethylene biosynthesis: a complex multilevel control circuitry. *The New Phytologist*, 229(2), 770. <https://doi.org/10.1111/NPH.16873>

Ravanbakhsh, M., Sasidharan, R., Voesenek, L. A. C. J., Kowalchuk, G. A. y Jousset, A. (2018). Microbial modulation of plant ethylene signaling: ecological and evolutionary consequences. *Microbiome*, 6(1), 52. <https://doi.org/10.1186/S40168-018-0436-1/FIGURES/3>Rolón-Cárdenas, G.

A., Arvizu-Gómez, J. L., Soria-Guerra, R. E., Pacheco-Aguilar, J. R., Alatorre-Cobos, F. y Hernández-Morales, A. (2022). The role of auxins and auxin-producing bacteria in the tolerance and accumulation of cadmium by plants. *Environmental Geochemistry and Health* 2021 44:11, 44(11), 3743–3764. <https://doi.org/10.1007/S10653-021-01179-4>

Ruan, J., Zhou, Y., Zhou, M., Yan, J., Khurshid, M., Weng, W., Cheng, J. y Zhang, K. (2019). Jasmonic Acid Signaling Pathway in Plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(10). <https://doi.org/10.3390/IJMS20102479>

Saidi, A., y Hajibarat, Z. (2021). Phytohormones: plant switchers in developmental and growth stages in potato. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 19(1), 89.

Salazar-Cerezo, S., Martínez-Montiel, N., García-Sánchez, J., Pérez-y-Terrón, R. y Martínez-Contreras, R. D. (2018). Gibberellin biosynthesis and metabolism: A convergent route for plants, fungi and bacteria. *Microbiological Research*, 208, 85–98. <https://doi.org/10.1016/J.MICRES.2018.01.010>

Sano, N. y Marion-Poll, A. (2021). ABA Metabolism and Homeostasis in Seed Dormancy and Germination. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(10), 5069. <https://doi.org/10.3390/IJMS22105069>

Santner, A., Calderon-Villalobos, L. I. A. y Estelle, M. (2009). Plant hormones are versatile chemical regulators of plant growth. *Nature Chemical Biology* 2009 5:5, 5(5), 301–307. <https://doi.org/10.1038/nchembio.165>

Sardar, P. y Kempken, F. (2018). Characterization of indole-3-pyruvic acid pathway-mediated biosynthesis of auxin in *Neurospora crassa*. *PLOS ONE*, 13(2), e0192293. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0192293>

Sokolova, M. G., Akimova, G. P. y Vaishlya, O. B. (2011). Effect of phytohormones synthesized by rhizosphere bacteria on plants. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 47(3), 274–278. <https://doi.org/10.1134/S0003683811030148> /METRICS

Spaepen, S. y Vanderleyden, J. (2011). Auxin and Plant-Microbe Interactions. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 3(4), 1–13.

<https://doi.org/10.1101/CSHPERSPECT.A001438>

Spence, C. A., Lakshmanan, V., Donofrio, N. y Bais, H. P. (2015). Crucial roles of abscisic acid biogenesis in virulence of rice blast fungus *Magnaporthe oryzae*. *Frontiers in Plant Science*, 6(DEC), 170475. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2015.01082/BIOTEX>

Trewavas, A. J., y Cleland, R. E. (1983). Is plant development regulated by changes in the concentration of growth substances or by changes in the sensitivity to growth substances?. *Trends in Biochemical Sciences*, 8(10), 354-357.

Tudzynski, B. (2005). Gibberellin biosynthesis in fungi: Genes, enzymes, evolution, and impact on biotechnology. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 66(6), 597–611. <https://doi.org/10.1007/S00253-004-1805-1/FIGURES/7>

Vedenicheva, N. y Kosakivska, I. (2023). In search of the phytohormone functions in Fungi: Cytokinins. *Fungal Biology Reviews*, 45, 100309. <https://doi.org/10.1016/J.FBR.2023.100309>

Waadt, R., Seller, C. A., Hsu, P. K., Takahashi, Y., Munemasa, S. y Schroeder, J. I. (2022). Plant hormone regulation of abiotic stress responses. *Nature Reviews. Molecular Cell Biology*, 23(10), 680–694. <https://doi.org/10.1038/S41580-022-00479-6>

Wang, Y., Mostafa, S., Zeng, W. y Jin, B. (2021). Function and Mechanism of Jasmonic Acid in Plant Responses to Abiotic and Biotic Stresses. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(16). <https://doi.org/10.3390/IJMS22168568>

Weidner, S., Latz, E., Agaras, B., Valverde, C. y Jousset, A. (2017). Protozoa stimulate the plant beneficial activity of rhizospheric pseudomonads. *Plant and Soil*, 410(1–2), 509–515. <https://doi.org/10.1007/S11104-016-3094-8/FIGURES/2>

Yamaguchi, I., Cohen, J. D., Culler, A. H., Quint, M., Slovin, J. P., Nakajima, M., Yamaguchi, S., Sakakibara, H., Kuroha, T., Hirai, N., Yokota, T., Ohta, H., Kobayashi, Y., Mori, H. y Sakagami, Y. (2010). Plant Hormones. *Comprehensive Natural Products II*, 9–125. <https://doi.org/10.1016/B978-008045382-8.00092-7>

Yaeger, R. G. (1996). *Protozoa: Structure, Classification, Growth, and Development*. Medical Microbiology.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK8325/>

Yang, D.-L., Li, Q., Deng, Y.-W., Lou, Y.-G., Wang, M.-Y., Zhou, G.-X., Zhang, Y.-Y. y He, Z.-H. (2008). Altered Disease Development in the eui Mutants and Eui Overexpressors Indicates that Gibberellins Negatively Regulate Rice Basal Disease Resistance. *Molecular Plant*, 1, 528–537. <https://doi.org/10.1093/mp/ssn021>