

Conociendo cómo actúan las diferentes hormonas vegetales se puede mejorar la producción de plantas. Hasta el momento se conocen cinco grupos de fitohormonas.

Hormonas vegetales: crecimiento y desarrollo de la planta

RAFAEL LLUNA DUVAL

Ingeniero Agrónomo.

*Lua producción y venta de esquejes,
lucoprua@hotmail.com*



¿Quién no se ha preguntado alguna vez a qué se debe el crecimiento y desarrollo de una planta?, ¿de qué factores depende? o ¿cuál es la clave impulsora de este desarrollo? De alguna manera, los índices de crecimiento y la diferenciación de células en diversas partes de la planta se coordinan en respuesta a los diferentes factores ambientales. Tiene que haber comunicación entre estos niveles: ¿cómo la planta recibe y responde a las entradas y "señales ambientales"? ¿Qué comunicación hay dentro de la planta para ajustar crecimiento y desarrollo al ambiente? La respuesta se encuentra en el estudio de diferentes hormonas vegetales.

Las plantas, para crecer, además de agua, nutrientes, luz solar y dióxido de carbono, necesitan hormonas. Las fases del desarro-

**Ácido Indol
Butírico al 0.4%
y al 0.8%.**

**Esquejado
de Euonymus
Japónica verde
Virginia compacta.**

llo vegetal están reguladas por diferentes sustancias químicas reguladores de crecimiento, fitohormonas y hormonas vegetales.

Las hormonas vegetales son unas sustancias orgánicas que se encuentran a muy baja concentración, se sintetizan en determinado lugar de la planta y se traslocan a otro, que es donde ejercen sus efectos reguladores; pero todavía no se conoce el mecanismo preciso mediante el cual funcionan. Hasta el momento se conocen cinco grupos de fitohormonas: Auxinas, Giberelinas, Citoquininas, Ácido abscísico y Etileno.

También existen numerosas sustancias sintéticas que pueden ser análogos o no en estructura química a las fitohormonas, las cuales suelen presentar una actividad biológica muy similar a ciertas hormonas vegetales.

Se consideran reguladores de crecimiento a los compuestos orgánicos, naturales o sintéticos, que modifiquen o inhiban en cierta cantidad el crecimiento o desarrollo de la planta, siempre que lo hagan de manera similar a como actúan las hormonas vegetales.

Auxinas

Este grupo de hormonas, cuyo nombre proviene del término griego y que significa "crecer", le es dado a un grupo de compuestos que estimulan la elongación. Esta sustancia está químicamente relacionada con el ácido indolacético (IAA) que es la forma predominante, aunque se ha visto que existen otras auxinas indólicas naturales en las plantas. Existen, por otra parte, muchas sustancias sintéticas reguladoras de crecimiento que no poseen estructura indólica.

Cuadro 1:**Algunos de los efectos fisiológicos más importantes causados por hormonas vegetales en plantas.**

Efecto fisiológico	Auxinas	Giberelinas	Citoquininas	Ac. Abscísico	Etileno
Respuestas trópicas	Si	Si	No	Si	Si
Crecimiento de secciones de coleoptilos de avena	A veces	A veces	Lo activa	Lo inhibe	Lo inhibe a veces
Aumento del tamaño celular en cultivo de tejidos	Sí, en algunos casos	Sí, en algunos casos	Si	No	No
Control de la diferenciación en cultivo de tejidos	Si	Si	Si	Si	Si
Estimula el enraizamiento en estaquillas	Si	No	Respuesta variable	Si, en algunos casos	Si
Inhibe el desarrollo radicular	Si	No	Se desconoce	Si	Si
Estimula la división del cambium	Si	Si	Si	Puede inhibirla	No
Abscisión de hojas y frutos	Si	No de forma directa	Si	Si	Si
Activa el crecimiento de frutos	Si	Si	Si, en algunos	No casos	No
Afecta al crecimiento del tallo	No	Si, lo activa	No	Lo inhibe	Lo inhibe
Interrumpe el reposo de las yemas vegetativas	No	Si	Si	No, lo induce	Si, en algunos casos
Favorece la germinación en algunas semillas	No	Si	No	No, la inhibe	Si, en algunos casos
Favorece la síntesis de α -amilasa en granos de cereal	No	Si	Si	No, la inhibe	No
Mantenimiento de la dominancia apical	Si	Si	No	Se desconoce	Si
Inhibe la degradación de proteínas y clorofilas en la senescencia	Si, en algunos casos	Si	Si, en algunos casos	No, la acelera	No, la acelera
Aumenta la respiración del fruto durante la maduración	Se desconoce	No	No	No	Si

Fuente: Pérez, F. y Martínez-Laborde, J.B. (1994) *Introducción a la fisiología vegetal*. Ediciones Mundiprensa. Madrid.

pero que presentan actividad auxínica. Por ejemplo el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), uno de los principales constituyentes de numerosos herbicidas.

Las auxinas se encuentran en toda la planta, pero los enzimas responsables de la biosíntesis de IAA son más activos en los tejidos finos jóvenes, como meristemas apicales, hojas y frutas crecientes. En los tejidos finos, como regiones meristemáticas en crecimiento activo, se localizan las concentraciones más altas de IAA. Las concentraciones de auxinas en las plantas varían de 1 a 100 mg/kg peso fresco, mientras que la concentración de auxinas conjugadas es, en ocasiones, superior.

No se conoce cuáles son exactamente las vías de transporte del IAA, pero se cree que son transportadas por células asocia-

das al floema más próximo al cámbium por medio de un mecanismo dependiente de energía, alejándose de forma basipétala desde el punto apical de la planta hacia su base.

Éstos son los aspectos fisiológicos relacionados con las auxinas: Estimulan la elongación celular, la división celular en el cámbium en presencia de citoquininas, la diferenciación de xilema y floema y la formación de raíces laterales y adventicias; producen una curvatura de la punta de la planta hacia la luz, fototropismo; reprimen el desarrollo de brotes axilares laterales manteniendo dominancia apical, retrasan la senescencia de las hojas; pueden inhibir la abscisión de la hoja o el fruto.

También estimulan el crecimiento y maduración de las frutas y el crecimiento de partes de la flor. Facilitan el cuajado del fruto

y estimulan la producción de etileno a elevadas concentraciones. Una de las aplicaciones más importantes que se le adjudican a los compuestos auxínicos es la estimulación de la formación de raíces en la reproducción de ejemplares mediante la técnica del esquejado.

Para ello se usan sustancias como el ácido indolbutírico (IBA) o el ácido naftalenacético (NAA), estas sustancias se pueden encontrar en el mercado tanto en polvo como en forma líquida. En el mercado se pueden adquirir tanto auxinas naturales como sintéticas, estando su uso muy limitado por su costo.

Giberelinas

Las giberelinas son el grupo más numeroso de hormonas vegetales que se conoce en la actuali-

Cuadro 2:**Ejemplos de algunos frutos climatéricos y no climatéricos.**

Climatéricos	No climatéricos
Manzana	Cereza
Albaricoque	Calabaza
Aguacate	Uva
Plátano	Pomelo
Chirimoya	Piña
Higo	Limón
Melón	Naranja
Melocotón	Mandarina
Pera	Fresa
Tomate	
Sandía	

Cuadro 3:**Concentración interna de etileno en varios frutos climatéricos y no climatéricos.**

Frutos	Concentración interna de etileno
Manzana	25 - 2,500
Melocotón	0.9 - 20.7
Aguacate	29.8 - 74.2
Plátano	0.05 - 2.1
Tomate	3.6 - 29.8
Limón	0.11 - 0.17
Naranja	0.13 - 0.32
Piña	0.16 - 0.40
Ciruela	0.14 - 0.23

dad. Actualmente hay más de 90 giberelinas aisladas de tejidos vegetales, que han sido identificadas químicamente. Varían algo en estructura y también en actividad. La mejor conocida del grupo es la GA3 (ácido giberélico), producida por el hongo *Giberella fujikuroi*, cuya actividad fue descubierta por Kurosawa.

Se han aislado giberelinas de muchas especies de plantas superiores, y, en general, se cree que se dan en todas las plantas superiores. Se presentan en cantidades variables en todos los órganos de la planta, pero las concentraciones mayores se alcanzan en órganos jóvenes, pero sobretodo en las semillas inmaduras.

Las giberelinas son sintetizadas en los primordios apicales de las hojas, en puntas de las raíces y

semillas en desarrollo. Esta hormona, a diferencia de la auxina muestra un modo de transportarse totalmente diferente al de las auxinas, en vez de un transporte polarizado, muestra un movimiento por el floema junto con los productos de la fotosíntesis y también por el xilema, probablemente por un desplazamiento radial del floema al xilema, más generalmente bidireccional y que podríamos calificar como pasivo.

Las giberelinas provocan efectos sorprendentes en el alargamiento de plantas intactas. La respuesta más observada en las plantas superiores es un incremento notable de crecimiento del vástago: a menudo, los tallos se vuelven largos y delgados, con pocas ramas, y las hojas palidecen. Las giberelinas estimulan la división celular y, afectan tanto a las hojas como a los tallos. Estos son los aspectos fisiológicos relacionados con las giberelinas:

- Estimulan la elongación de los tallos, ya que incrementan la extensibilidad de la pared.

- Estimulan la germinación de semillas en muchas especies, y en cereales movilizan reservas para crecimiento inicial de la plántula.

- Estimulan la producción del enzima (α -amilasa) y otras enzimas en la germinación de granos de cereales para la movilización de las reservas de la semilla.

- Puede causar partenocarpia en algunas especies de frutales.

- Reemplaza la necesidad de horas frío para inducir la floración en algunas especies.

- Retraso en la maduración de los frutos y senescencia de la hoja (cítricos)

- Inducción de floración en plantas de día largo cultivadas en época no apropiada.

Se está utilizando para incrementar el tamaño del fruto en viñedos de uva sin pepita, haciendo que el racimo se elonge y permitiendo que la uva este mas ventilada reduciendo así las probabilidades de infección por botritis. En las empresas cerveceras para aumentar la producción de malta,

mediante efectos promotores de la digestión de almidón por las giberelinas. El tratamiento con giberelinas puede incrementar la producción de caña de azúcar, aumentando la longitud del tallo.

Citoquininas

No son las auxinas las únicas fitohormonas que requiere una planta para su crecimiento; requieren también de otro tipo de ellas que favorezca la multiplicación de las células. Las Citoquininas son los compuestos con una estructura que se asemeja a la adenina, y que promueven la división de célula en tejidos no meristemáticos, teniendo otras funciones similares al kinetina.

Estos compuestos se han encontrado en todas las plantas, particularmente en los tejidos que se dividen de forma activa como meristemas, semillas en germinación, frutos en maduración y raíces en desarrollo. Los estudios sobre la acción de las citoquininas en la división celular han demostrado que son necesarias en algunos procesos posteriores a la replicación del ADN pero anteriores a la mitosis.

Las citoquininas se hallan en concentraciones generalmente inferiores a las restantes fitohormonas. Se han detectado tanto en el floema como en el xilema y su transporte en la planta es por vía acropétala, desde el ápice de la raíz hasta los tallos, moviéndose a través de la savia en los vasos correspondientes al xilema. Los diferentes tipos de citoquininas son Zeatina, Kinetina y Benziladenina.

Los efectos fisiológicos causados por las citoquininas, variará dependiendo del tipo de citoquinina y la especie de planta:

- Estimula la división celular y el crecimiento de yemas laterales; promueven la movilización de nutrientes hacia las hojas y la germinación de la semilla y desarrollo de los brotes; induce la partenocarpia en algunos frutos; promueve la expansión celular en hojas y cotiledones y produce la conversión de etioplastos en cloroplastos mediante la estimula-

Cuadro 4:

Aplicaciones prácticas de los reguladores de crecimiento.

Aplicación	Producto	Efecto
Retardantes del crecimiento	Cycocel (CCC) y phosphon-D	Reducción del nivel de giberelinas y crecimiento lento de los órganos vegetales
Enraizamiento de estaquillas	IBA y NAA	Estimula la formación de raíces
Eliminación de la dormición	Ácido giberélico GA ₃ de yemas y semillas	Romper la dormición de las yemas
Control de brotación de yemas	NAA y Hidracina Malpica (MH)	Inhibe la brotación de yemas
Control de la floración	NAA, etephón, pospón-D	Inducen la floración de numerosas especies de frutales
Desarrollo de frutos partenocárpicos	IAA y Giberelinas	Inducen partenocarpia en numerosos frutos
Aclareo químico	IAA y otras auxinas	Aclareo de flores y frutos
Control de la madurez de frutos	Etephón	Acelera la maduración de numerosas especies hortícolas
Retraso de la senescencia	Bencilaminopurina (BAP), 2,4-D, retardantes de crecimiento (CCC)	Prolongan la vida de las flores cortadas
Alteración del color, tamaño y forma del fruto	Giberelinas, BAP, 2,4-D	El GA ₃ se emplea para alargar los racimos de uvas
Cultivo de tejidos	Auxinas y citoquininas	Controlan los procesos de diferenciación en vegetales
Defoliantes y desecantes	Cloratos de sodio y magnesio, ciamida cálcica, paraquat, etc.	Para facilitar la recolección mecanizada
Herbicidas	2,4-D, 2,5,5-T, Ácidos benzoicos, etc	Control químico de malas hierbas

ción de síntesis de clorofila. También estimula de la formación de tubérculos en patata.

Las citoquininas presentan numerosas aplicaciones prácticas, sobre todo en cultivo in vitro. En el mercado se encuentran algunas formulaciones de citoquininas, como Benziladenina al 1.9% en combinación con Giberelinas (A4 y A7) al 1.9%. Esto produce ramificación y alargamiento de los brotes en plantón de manzano.

Ácido Abscísico

En ocasiones, la supervivencia de la planta depende de su capacidad de restringir su crecimiento o sus actividades reproductoras. El ácido abscísico (ABA) se caracteriza por inhibir muchos fenómenos de crecimiento en las plantas superiores, y por estar asociada a la dormición de yemas y semillas, y como su nombre indica a la abscisión de hojas.

Esta hormona diferente del resto ya que muestra efectos contrarios a las auxinas, giberelinas y citoquininas, es un potente inhibidor del crecimiento que juega un

papel regulador en respuestas fisiológicas como el letargo, abscisión de hojas y frutos además del estrés hídrico. Se suele encontrar a concentraciones entre 0.01 y 1 ppm, y en plantas marchitas se incrementa hasta 40 veces más.

La biosíntesis tiene lugar en semillas, frutos, tallos y raíces. El encharcamiento de las raíces, el frío, la luz y otras alteraciones, estimulan la producción de ABA en la planta. Se moviliza por el xilema y el floema como ABA libre y como ABA b-D-glucopiranosidos.

El movimiento es lento, no polar y en todas direcciones. En caso de estrés hídrico en hojas (por intensas radiaciones solares) se incrementa el transporte de ABA desde la raíz hacia la hoja por vía xilemática. Éstos son algunos aspectos fisiológicos que se atribuyen al ácido abscísico:

Inhibe el crecimiento; estimula el cierre de estomas (el estrés hídrico produce un aumento en síntesis del ABA); dormición de yemas y semillas; inhibe la producción de enzimas inducibles

Aplicación de auxinas para el esquejado de euonymus.

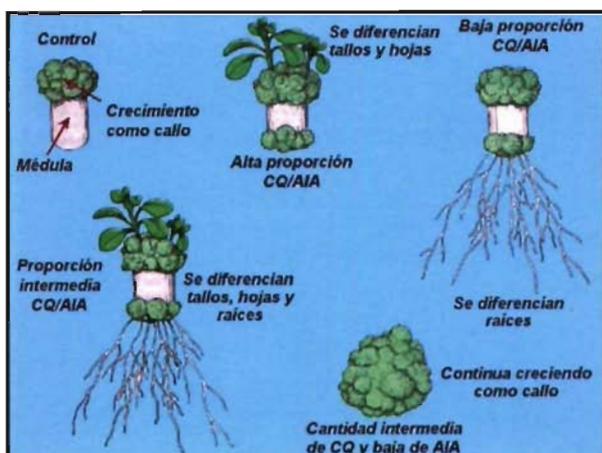


por las giberelinas; promueve el crecimiento de raíces y disminuye el de ápices a bajos potenciales hídricos; promueve la senescencia de las hojas (por efecto propio o estimulación de biosíntesis de etileno); inhibición de la síntesis de RNA y proteínas.

Se encuentran aplicaciones como: ANA 1%PM. Usado en el aclareo de flores de manzano. También ANA 0.45% + ANA-Amida 1.2%PM. Se aplica al comienzo de la floración en hortícolas para inducir el cuajado de las flores.

Etileno

El etileno es una hormona natural de la planta que se conoce desde hace muchísimos años, y del cual se sabían sus efectos sobre el crecimiento mucho antes de que se le relacionase con la auxina; era considerado ya como una fitohormona. Fue usado en Egipto, en donde se trataban con gas los higos para estimular su maduración. En la antigua China se quemaba incienso en locales cerrados para incrementar la maduración de las peras.



Es la única hormona vegetal que se conoce en estado gaseoso en condiciones normales de presión y temperatura, sumamente inflamable y volátil, muy hidrosoluble. Se produce en casi todos los órganos de las plantas superiores, aunque la tasa de producción depende del tipo de tejido y su estadio de desarrollo.

En general, las regiones meristemáticas y nodales son las más activas en la biosíntesis, pero la producción también se incrementa durante la abscisión foliar, senescencia de las flores y maduración de frutos.

Con frecuencia la producción de etileno en las plantas es estimulada por auxinas, tanto naturales (IAA) como sintéticas (2,4-D). La cantidad de etileno producido en la planta aumenta en situaciones de estrés o cuando se produce algún daño en la planta.

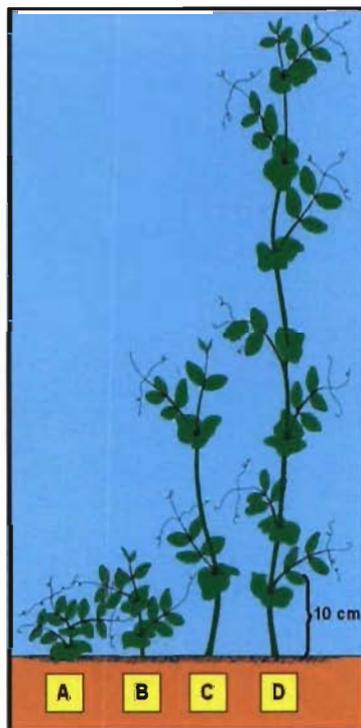
Se transporta de célula a célula en el simplasto y floema, difundiendo en el citosol, ya que es suficientemente soluble en agua para ser transportado en soluciones y suficientemente no polar para pasar rápidamente a través de las membranas. El sitio de acción del etileno es próximo al sitio de síntesis.

Aspectos fisiológicos atribuidos al etileno: Promueve la maduración de frutos; favorece la epinastia de hojas.

La epinastia es la curvatura hacia abajo de las hojas debido a que el lado superior del pecíolo (adaxial) crece más rápido que el inferior (abaxial); induce la ex-

Esquema del control de la diferenciación ejercido por la interacción de las auxinas con la citoquininas. Las piezas de tejidos de médula del tabaco, cultivados asépticamente en un medio de cultivo al que se le han añadido diferentes concentraciones de auxinas y citoquininas, según la proporción de cada una el tallo de algunas especies continuará creciendo como tejido sin diferenciar, y podrá formar raíces, yemas o tallos.

Planta de judía.
(A) Mutante ultraenano que no produce GAs.
(B) Mutante enano que solo produce GA20.
(C) Planta normal, produce GA1.
(D) Planta mutante enana a la que se le añade GAs exógeno.



pansión celular lateral; induce la maduración de los frutos climatéricos; inicia la germinación de semillas.

Además, elimina la dormición de yemas, especialmente de algunos órganos vegetativos, como tubérculos y bulbos; favorece la senescencia de las hojas; inhibe el crecimiento de la raíz y favorece la formación de raíces adventicias, así como la abscisión de hojas y frutos. Es el principal regulador de la abscisión.

En el mercado, se comercializa etefón (Ácido 2-cloroetilfosforico), para favorecer o adelantar la maduración de ciertas hortalizas y frutas

El etileno comienza la maduración cuando el fruto está completamente desarrollado. Este proceso no da marcha atrás una vez empieza, por lo tanto la clave es aplicar el etileno externamente antes de que la concentración interna natural alcance el nivel de 0.1-1.0 PPM, para que el proceso se inicie prematuramente. La formulación del etefón tiene una riqueza del 48% y es efectivo de 0.1 a 1 PPM.

Nota del Editor:

- Brian E. Whipker, Department of Horticultural Science, de la Universidad del Estado de Carolina del Norte, es el autor de «Plant Growth Regulator Guide 2006», un suplemento de la revista *Grower Talks*, www.growertalks.com. Esta publicación contiene un cuadro en que se especifica, por especies, qué reguladores de crecimiento se utilizan y con qué fin, seguidos de la dosis y recomendaciones. También se indica que en la web www.pgrinfo.com/ existe información adicional sobre este tipo de sustancias.

Bibliografía

- Barceló Coll J., Nicolás Rodrigo G., Sabater García B. y Sánchez Tarnés R. (2001). *Fisiología vegetal*. Ed. Pirámide, Madrid
- Davies, P.J (1995). *Plant hormone; Physiology, biochemistry and molecular biology*. Dordrecht; Kluwer.
- Hill, T.A (1984). *Hormonas reguladoras del crecimiento Vegetal*. Ediciones Omega. Barcelona.
- http://www.euita.upv.es/varios/biologia/temas/tema_14.htm
- <http://www.plant-hormones.info/gibberellins.htm>
- <http://hcs.osu.edu/hcs300/hormone.htm>
- Mauseth, J.D (1991). *Botany; An introduction to plant Biology*. Phyladelphia; Saunders. PP.348-415.
- Lange T. (1998). *Molecular biology of gibberellin synthesis*. Review. *Planta* 204: 409-419.
- Parra, R (2002). www.biologia-en-internet.com
- Perez, F, and Martinez-Laborde, J.B (1994). *Introducción a la fisiología vegetal*. Ediciones multiprensa. Madrid.
- Raven, P.H, Evert, R.F, and Eichorn, S.E (1992). *Biology of plant*. New York: worth. pp.545-572.
- Salisbury, F.B, and ross, C.W. (1992). *Plant Physiology*. Belmont, C.A: Wadsworth. Pp.357-407, 531-548.
- Salisbury, F.B. y Ross, C.W. (1994). *Fisiología vegetal*. Ed. Iberoamericana, México.
- www.uaaan.mx/academic/horticultura/memhort01/ponencia_04.pdf



NUTRICIÓN VEGETAL
FUNDADA EN 1895

Productos ecológicos-orgánicos de "ARTAL"

**Materias orgánicas
ecológicas**

**Correctores
y Quelatos**

**Nutrientes-
Bioestimulantes**

ECO



Producto certificado para el uso en
agricultura ecológica-orgánica por BCS
Öko Garantie GmbH - Nürnberg (Alemania)

ALGATON-ECO
CUPROTAL Quelato-ECO
DULZEE-ECO
FERTIORGAN Boro-ECO
FERTIORGAN Calcio-ECO
FLOWAL Cinc-ECO
FLOWAL Manganeso-ECO
FULVITAL-ECO
L-24-ECO
MICROPONIC-ECO
MICROPONIC GH-ECO
NUTRIARTAL-ECO
TRONVER-ECO

Francisco R. Artal, S. L.

C/. Villa de Madrid, nº 14
Pol. Ind. Fuente del Jarro
46988 PATERNA (Valencia) - SPAIN
Tel.: +34-96 134 03 65 - Fax: +34-96 134 07 05
e-mail: infoartal@artal.net
<http://www.artal.net>

