

## CONTROL HORMONAL DEL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS

Por: José Régulo Cartagena V.

El crecimiento de las plantas es un proceso dinámico y complejo, sin embargo está estrictamente controlado. Esto significa que el crecimiento en las diferentes partes de la planta debe ser integrado y coordinado.

Esta coordinación implica que debe haber algún mecanismo de control. El desarrollo de las partes de una planta como las hojas o tallos, involucra una secuencia ordenada de las fases de división celular y elongación celular, lo cual permite considerar que también hay una coordinación del crecimiento en el tiempo. Como resultado de estudios realizados por muchos años, se sabe ahora que las hormonas juegan un rol vital en el control del crecimiento no solo en la planta, considerando ésta como un todo, sino también de sus órganos de manera individual. Hoy es aceptado que hay al menos tres clases de hormonas promotoras de crecimiento: auxinas, giberelinas y citocininas.

Adicionalmente existe otra clase conocida como inhibidores del crecimiento: ácido abscísico y etileno, este último un gas el cual está relacionado con muchos fenómenos de crecimiento. También se menciona la hipotética florígeno o antesina.

Las hormonas vegetales son translocadas dentro de la planta, e influyen en el crecimiento y diferenciación de los tejidos con los cuales ellas entran en contacto. Esto conduce a la consideración de la naturaleza y funciones de las hormonas en las plantas. La palabra **hormona** fue usada inicialmente por los fisiólogos animales para referirse a una sustancia la cual es transportada a través de la sangre a otras partes del cuerpo donde cantidades extremadamente pequeñas influyen en procesos fisiológicos específicos.

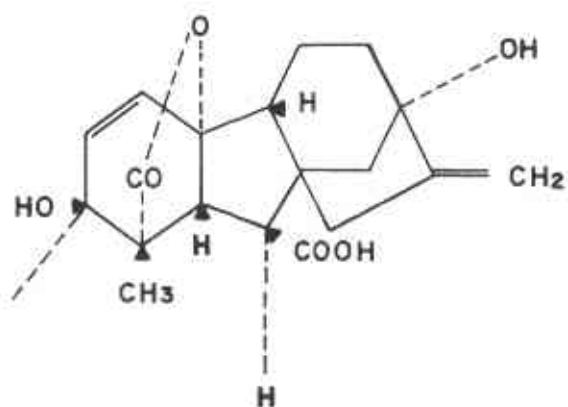
Sin embargo, las hormonas vegetales difieren con respecto al concepto clásico de hormona el cual fue establecido con base en el descubrimiento de estas sustancias en animales. En un animal una hormo-

na se produce en un órgano en particular (una glándula) y es secretada para producir un típico y específico efecto en un sitio distante de su punto de origen. En las hormonas vegetales no siempre se puede diferenciar claramente entre el sitio de la síntesis de la sustancia y su lugar de acción, aunque hay evidencias para afirmar que las hormonas vegetales tienen su efecto en sitios diferentes de su lugar de producción. Otra diferencia entre hormonas animales y vegetales es que mientras que el efecto de muchas hormonas animales es específico, una hormona vegetal puede estimular el desarrollo de un amplio rango de respuestas dependientes del tipo de órgano o tejido en el cual esté actuando. Por las razones antes discutidas las hormonas vegetales han sido frecuentemente referidas con otros nombres tales como: fitohormonas, reguladores de crecimiento, sustancias de crecimiento u hormonas de crecimiento. En general se ha adoptado el término de hormona vegetal y se ha definido como "una sustancia orgánica distinta a un nutriente, activa en muy pocas cantidades ( $< \mu\text{M}$ ) la cual es formada en ciertas partes de la planta y usualmente es translocada a otros sitios donde estimula específicas respuestas bioquímicas, fisiológicas y/o morfológicas". En tanto que un regulador de crecimiento es aquel que promueve efectos similares pero que ha sido artificialmente elaborado. Esto nos lleva a concluir que las hormonas vegetales y las sintéticas se puedan considerar reguladores de crecimiento pero no todos los reguladores de crecimiento son hormonas vegetales.

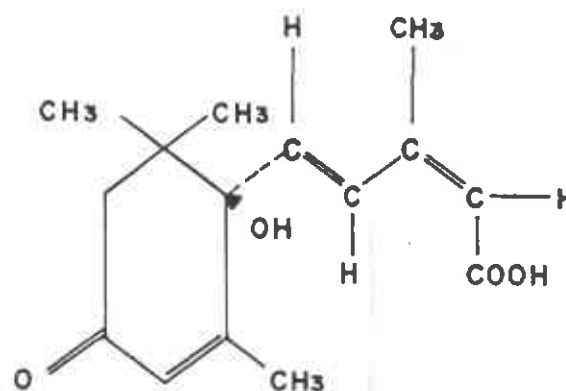
### AUXINAS

La base del conocimiento moderno de las auxinas se fundamenta en el trabajo publicado por Charles Darwin hace un siglo titulado "**El poder del movimiento en las plantas**". Darwin investigó el fenómeno del fototropismo que consiste en el doblamiento de las plantas en respuesta a la iluminación proveniente de un solo sentido. La conclusión fue

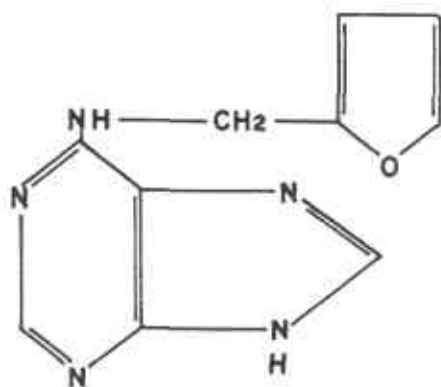
# FRUTAS TROPICALES



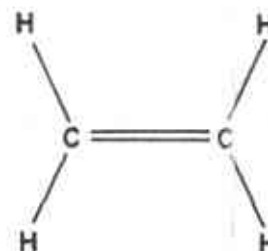
**GA<sub>3</sub> (ACIDO GIBERELICO)**



**(S) ACIDO ABSCISICO**



**FURFURILAMINO PURINA (KINETINA)**



**ETILENO**

Estructura química de promotores y reguladores del crecimiento.

Fuente: Wareing, P.F. and D.J. Phillips. 1986. Growth & differentiation in plants. New York.

que cuando una plántula era expuesta a la luz unilateral alguna influencia es transmitida desde la parte superior a la inferior, causando el doblamiento. Años mas tarde se estableció que esta influencia era ejercida por una sustancia que se le llamó, *Auxina* un término derivado del griego "auxein" el cual significa crecer. Hoy se considera que auxina es un nombre genérico para toda sustancia orgánica que se caracteriza por su capacidad para inducir elongación en las células del tallo; sin embargo, se acepta también que puede estar relacionada con otras actividades de crecimiento y diferenciación en la planta. El ácido indolacético (AIA) es la mayor, quizá la única auxina natural, aunque se reconoce que hay otros compuestos en las plantas que poseen actividad auxínica; por ejemplo, el ácido indolpropiónico y el ácido indolbutírico. Esta circunstancia motiva que cuando se habla de la actividad hormonal de las auxinas se refiere a ellas en plural y no en el singular auxina ya que se estaría ignorando la existencia de otros compuestos naturales que tienen efecto similar.

Pero además de los naturales hay otros compuestos sintéticos que pueden llamarse auxinas ya que exhiben una acción fisiológica similar al AIA. Entre las auxinas sintéticas mas conocidas están el 2, 4D, el 2, 4, 5T, y el picloran (nc. Tordon) uno de los mas poderosos herbicidas selectivos existentes en el mercado.

## Efectos fisiológicos de las auxinas

El crecimiento es un requisito indispensable para la síntesis de AIA y éste se da principalmente en los ápices en desarrollo, hojas en expansión y otros tejidos con actividad meristemática. La Tabla 1 lista un número de respuestas inducidas por AIA. Estas respuestas consideran: división celular, elongación celular y diferenciación celular. Se ha establecido que esta actividad celular está asociada con un aumento en la síntesis de ADN Y ARN y consecuentemente a la síntesis de proteínas que debe acompañar al crecimiento. Es decir la acción de la auxina está regulada genéticamente ya que el ADN es el portador de la información genética de la célula.

## GIBERELINAS

El descubrimiento de un grupo de hormonas vegetales ahora identificadas como *Giberelinas* se inició en la década del 20 cuando Kurosawa un investigador japonés investigaba el "Bakanae", una enfermedad del arroz conocida como gigantismo causada por el hongo *Gibberella fujikori*. Un síntoma que caracteriza la enfermedad es que las plantas infectadas por el hongo presentan un excesivo crecimiento de los tallos y las hojas. Hoy está plenamente establecido que *Gibberella fujikori* secreta una sustancia que estimula la elongación del tallo y las hojas. Este mismo componente fue encontrado en plantas sanas y se acordó identificarlo como ácido giberélico o GA<sub>3</sub>. A la fecha se han caracterizado químicamente 82 compuestos los cuales producen efectos similares a los inducidos por ácido giberélico.

## Efectos fisiológicos de las giberelinas

Las giberelinas se sintetizan en muchas partes de la planta, pero mas especialmente en las áreas de activo crecimiento como los embriones o los tejidos meristemáticos o en desarrollo. La tabla 1 lista un número de respuestas inducidas por GA<sub>3</sub>. Al igual que las auxinas estas respuestas consideran división celular, elongación celular y diferenciación celular. El ácido giberélico también se relaciona con el metabolismo de los ácidos nucleicos ya que se ha encontrado que acelera la síntesis de ARN y proteínas en frutos y semillas. Además cumple un papel importante en la síntesis de enzimas, efecto particularmente evidente en la germinación de semillas de cebada y trigo.

Se conocen varios compuestos sintéticos que impiden la acción de las giberelinas, entre los que se incluyen los reguladores de crecimiento AMO-1618, Cycocel y Fosfon-D.

## CITOCININAS

El trabajo que concluyó al aislamiento e identificación de la primera sustancia que promueve división celular fue liderado por Skoog en experimentos hechos en tallos de tabaco. El compuesto inicialmente obtenido se llamó *Cinetina* pero para evitar confusión con otro término similar empleado en

# FRUTAS TROPICALES

bioquímica animal se reemplazó por el de *Citocinina* el cual se basó en el hecho en la propiedad de la sustancia de producir división celular o citocinesis en presencia de auxina.

Las citocininas no se mueven en la planta con la misma facilidad que lo hacen las auxinas y giberelinas. De particular interés es el hecho de que las citocininas son aparentemente sintetizadas en las raíces y translocadas a los tallos y hojas vía xylema; sin embargo, se han encontrado también en el floema. Estas aparentemente conflictivas observaciones no son ilógicas. Las citocininas presentes en los tejidos vasculares se mueven pasivamente con otros solutos de acuerdo a la relación fuente:demanda. La mayor demanda de citocininas son las zonas meristemáticas de las plantas o aquellas áreas que tienen potencial para crecer como hojas jóvenes, yemas, internodos jóvenes, semillas en desarrollo y frutos, consecuentemente son las áreas de mayor producción de citocininas junto con los crecimientos apicales de las raíces.

La cinetina es una citocinina sintética que no se presenta de manera natural en las plantas. Otras sustancias similares son la benzyladenina (BA) y la tetrahidropiraniilbenzyladenina (PBA). Aunque cinetina, BA y PBA nunca se han encontrado en las plantas, otros compuestos que producen efectos iguales han sido aislados en tejidos jóvenes tales como agua de coco, frutos inmaduros de manzana y banana o en mazorcas tiernas de maíz. A estas sustancias de ocurrencia natural junto con las artificialmente desarrolladas se les ha llamado de manera genérica citocininas, las que se definen como compuestos los cuales en combinación con auxinas, estimulan división celular en plantas o interactúan con auxinas para determinar la dirección hacia la cual la diferenciación celular debe dirigirse.

## Efectos fisiológicos de las citocininas

La Tabla 1 lista un número de respuestas inducidas por citocininas. Como las auxinas, las giberelinas y otras hormonas vegetales, las citocininas tienen diversos efectos fisiológicos sobre el desarrollo de las plantas; además se ha encontrado que son constitu-

yentes del ARN y como las giberelinas estimula síntesis de enzimas.

## ÁCIDO ABSCISICO

El descubrimiento del Ácido abscísico (ABA) como inhibidor natural del crecimiento de las plantas, ocurrió a través de investigaciones independientes de diferentes fenómenos fisiológicos, en dos laboratorios diferentes. Estos trabajos fueron liderados por Addicott en Estados Unidos y Wareing en Inglaterra a comienzos de la década del 60. Una variedad de métodos se han usado para demostrar que el ABA está presente en todas las plantas vasculares, éstas incluyen dicotiledóneas, monocotiledoneas, gymnospermas y helechos.

El ABA ha sido encontrado en raíces, sabia del floema y xylema, hojas, polen, pétalos, frutos y semillas. Estudios sobre los sitios de síntesis del ABA sugieren que la hormona es formada en las hojas verdes maduras y los frutos. El ABA puede ser translocado de las hojas a otras regiones tales como los ápices de las ramas e inhibir el crecimiento o inducir la dormancia de las yemas. También hay evidencias experimentales que indican que los cloroplastos pueden ser centros de síntesis de ABA.

## Efectos fisiológicos del ácido abscísico

Como otras hormonas vegetales, ABA tiene múltiples efectos fisiológicos en el crecimiento y desarrollo de las plantas; pero se reconocen cuatro eventos en los cuales ABA tiene un rol especial, estos son: regulación de la apertura de los estomas, dormancia de las yemas, dormancia de la semilla y abscisión de hojas y frutos. Se ha establecido que ABA controlando la apertura de los estomas desarrolla un mecanismo de protección hacia la deficiencia de agua. A través de la dormancia las plantas de las zonas templadas se preparan para sobrevivir durante las bajas temperaturas del invierno. También la dormancia permite que algunas semillas germinen solo hasta cuando las condiciones de humedad, temperatura, y oxígeno sean favorables para el crecimiento.

**TABLA 1. Respuestas fisiológicas a la aplicación exógena de reguladores de crecimiento.**

## **AUXINAS**

Formación de órganos (interactúa con Citocininas)  
Organización de tejidos  
Estimula división celular (interactúa con Citocininas)  
Estimula elongación celular  
Relajación de la pared celular  
Síntesis de ARN y proteínas  
Dirección del transporte  
Efectos enzimáticos  
Producción de etileno  
Dominancia apical  
Prevención de la abscisión

## **GIBERELINAS**

Elongación celular  
División celular  
Inducción de enzimas  
Floración (en plantas de días largos)  
Contraresta el letargo (antagoniza ABA)  
Inhibe la formación de órganos

## **CITOCININAS**

División celular (inducción y promoción)  
Elongación celular  
Formación de órganos (interactúa con Auxinas)  
Contraresta el letargo  
Liberación de dominancia apical  
Prevención de la senescencia  
Movilización de nutrientes  
Regulación de los polirribosomas

## **ETILENO**

Estimula la maduración de los frutos carnosos  
Estimula la abscisión de las hojas  
Inhibe el crecimiento de la raíz  
Estimula la formación de raíces adventicias  
Estimula la floración en piña  
Interfiere en transporte polar de las Auxinas

Otro mayor efecto es la inhibición de la síntesis de ARN y de proteínas. ABA contraresta muchos de los efectos del ácido giberélico y algunos de los efectos de auxinas y citocininas.

## **ETILENO.**

Etileno es una sustancia muy simple para ser considerada una hormona. Es una molécula muy sencilla en comparación con las más complejas de giberelinas, citocininas y ácido abscísico. En 1930 se reconoció que etileno tenía una amplia variedad de efectos sobre las plantas, hoy se tiene establecido que etileno es un producto natural resultado del me-

tabolismo de las plantas el cual es producido por tejidos sanos, enfermos o en senescencia. Sus interacciones con otras hormonas vegetales son numerosas y complejas.

De todas las actividades de etileno, la producción de éste por los frutos en maduración es la más documentada.

Muchas clases de frutos carnosos tienen marcados cambios en la tasa de respiración; después de que llegan a madurez fisiológica, estas alteraciones en la respiración son controladas por etileno.

# FRUTAS TROPICALES

---

## Efectos fisiológicos del etileno

El etileno tiene un amplio rango de efectos, desde fuertemente estimulantes hasta muy inhibitorios. En la Tabla 1 se listan diversos efectos fisiológicos del etileno. Para destacar aquellos que tienen relación con la maduración de los frutos, en los que se consideran dos eventos principales.

1. Cambios en la permeabilidad de las membranas.
2. Liberación de enzimas asociadas con el proceso de maduración como respiración, degradación de ácidos y constituyentes de la pared celular.

## OTRAS SUSTANCIAS QUE INFLUYEN EN EL DESARROLLO

Existen otras sustancias no consideradas hormonas que influyen considerablemente en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Se ha establecido que la acetilcolina que actúa sobre las membranas animales también afecta la membrana celular y las de las mitocondrias en las plantas, aumentando el transporte de iones, favoreciendo la absorción de oxígeno y la utilización de ATP. La mayoría de las drogas colinérgicas son de origen vegetal; por ejemplo, la atropina y la escopolamina. Es posible que estas drogas y otros compuestos fisiológicamente activos, tales como los terpenos, alcaloides, y taninos, tengan una función importante en la regulación del crecimiento de las plantas o en la mediación de efectos fisiológicos ya conocidos. A éstos se suman otro grupo de sustancias llamadas las morfictinas que afectan el transporte de AIA inhibiendo las respuestas trópicas y la denominación apical. También afectan la actividad promotora del ácido giberélico.

Existen otras hipótesis sobre la presencia de sustancias cuya caracterización química aún está por establecer pero que se consideran están seleccionadas con eventos fisiológicos particularmente de floración. A estos hipotéticos compuestos se les conoce como florígeno, vernalina, antesina y rizocalina. Este último asociado con la emisión de raíces en estacas.

En conclusión los eventos de morfogénesis y de organización de la planta están controlados por las hormonas vegetales o afectados por ellas. Estos eventos requieren de un balance entre dos o más hormonas, con diversos tipos de actividad y diversas propiedades fisiológicas, actuando juntas sobre células específicas en sitios específicos de la planta.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **Bidwell, R. G. S.** 1983. La planta viviente. CECSA Editores. México D. F., México. 272 p.
2. **Canny, M. J.** 1987. Translocation of nutrients and hormones. In: M. B. Wilkins (ed.). Advanced plant physiology. John Willey and Sons, Inc., New York, USA. 514 p.
3. **Ray, P. M.** 1983. La planta viviente. CECSA Editores. México D. F., México. 272 p.
4. **Wareing, P. F. and D. J. Phillips.** 1986. Growth & differentiation in plants. Pergamon Press. New York, USA. 343 p.