

Hormonas primera parte

Auxinas y Giberelinas

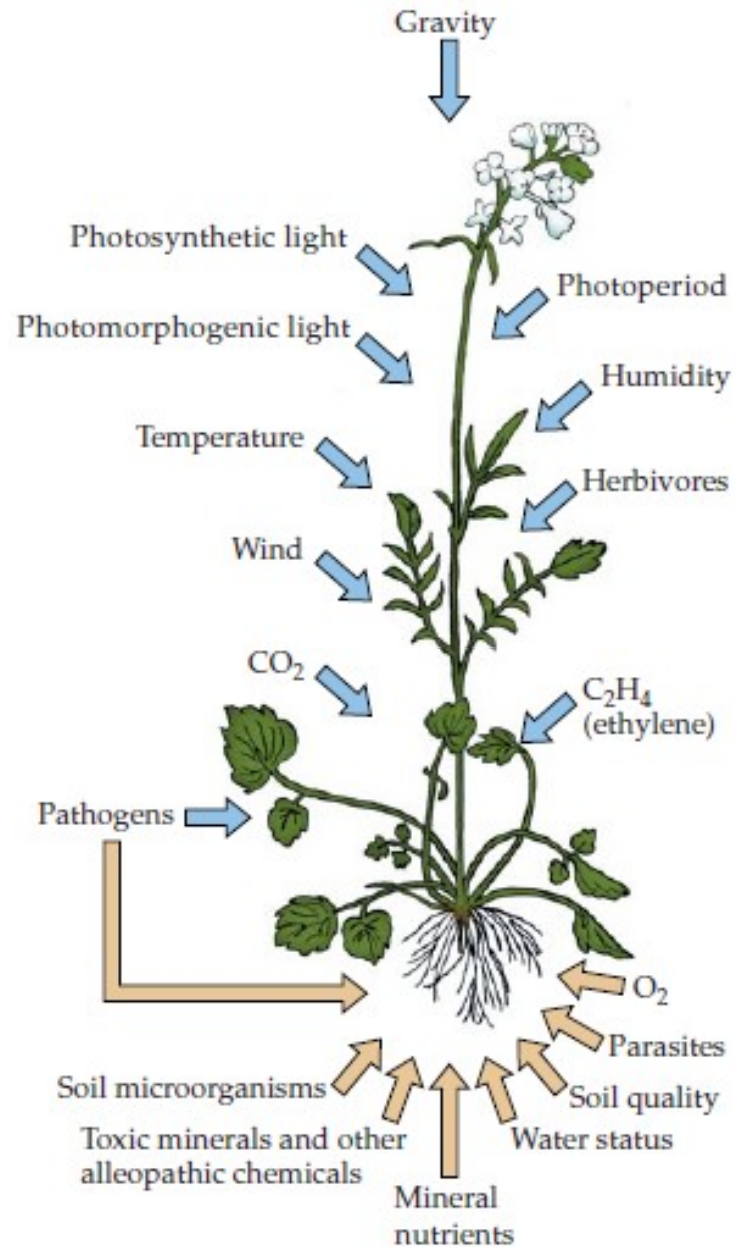
- Las hormonas vegetales son compuestos naturales, que actúan como mensajeros químicos y que poseen la propiedad de regular procesos fisiológicos en concentraciones muy bajas.

Julius von Sach (1832-1897)

- a través de su acción la actividad de ciertos órganos es coordinada con la de otros.

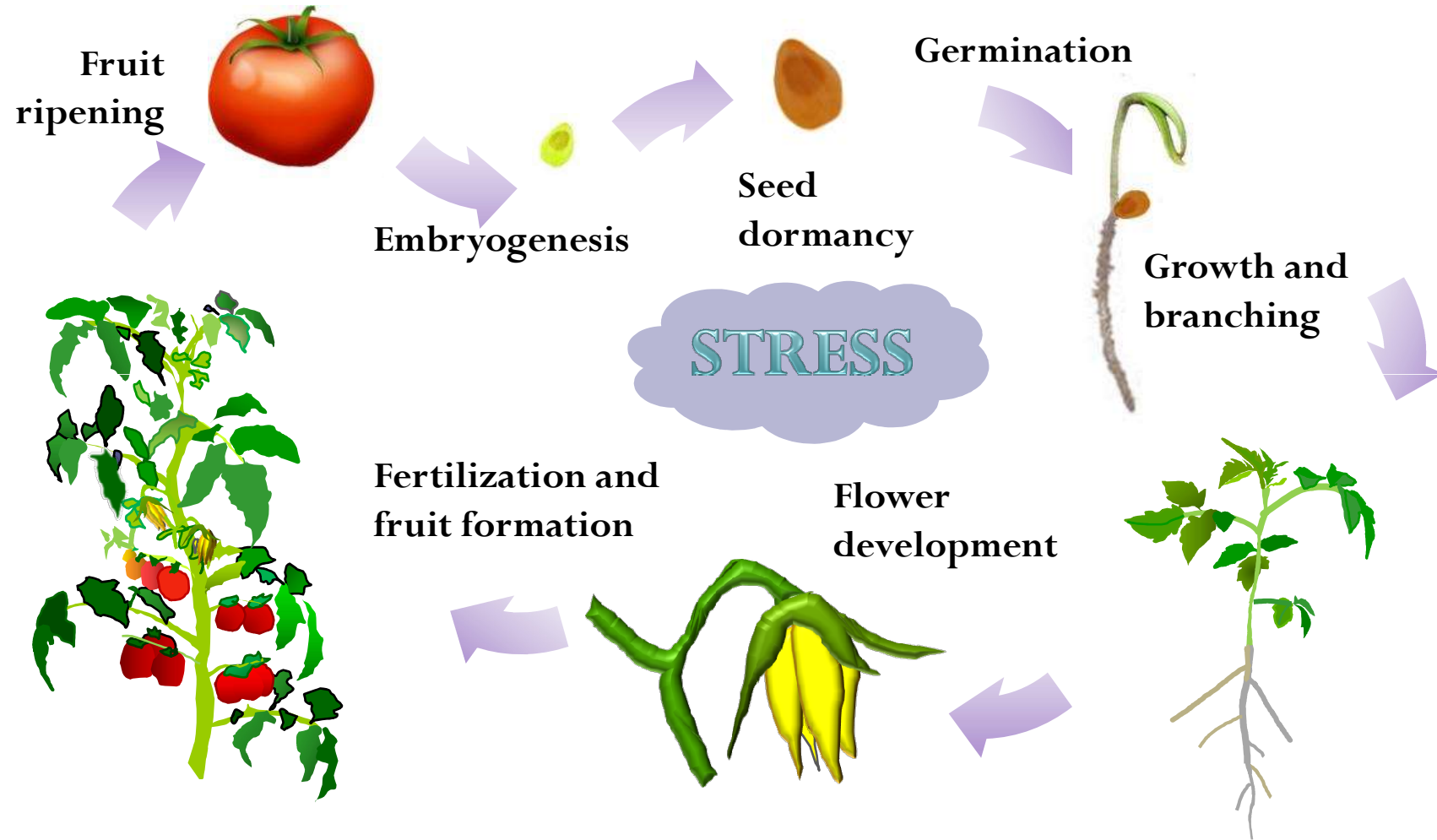
Frits Went, 1937

- En las plantas superiores la coordinación del metabolismo, crecimiento, y la comunicación eficiente entre tejidos y órganos depende de señales químicas.
- Las hormonas actúan como señales químicas, que percibidas por **receptores** especializados, activan una respuesta.



Los estímulos externos e internos afectan numerosos procesos biológicos en las plantas con la participación de las hormonas

Las hormonas participan en todas la etapas del ciclo vital



Hormonas y reguladores

- Las hormonas son compuestos naturales de bajo PM con efectos pleiotrópicos
 - Actúan a concentraciones muy bajas
 - Síntesis y traslado
 - No hay tejidos especializados para la síntesis
 - Balance con otras hormonas
 - Concentración y sensibilidad del tejido
- Los reguladores de crecimiento son sintetizados artificialmente y tienen funciones similares a las hormonas
 - También se incluyen los inhibidores de la acción hormonal

Fenómenos de correlación

- Coordinación entre distintas partes de la planta, para percibir y responder a fluctuaciones en el ambiente. Una parte del vegetal influye sobre el crecimiento y morfogénesis de otra.

Ejemplos:

- Dominancia apical
- Senescencia de hojas y frutos
- Dormición de yemas



Hormonas

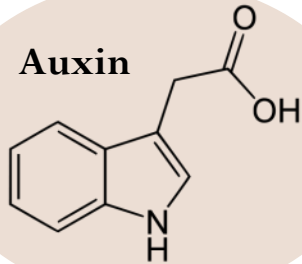
- **Auxinas**
- **Giberelinas**
- **Etileno**
- **Citocininas**
- **ABA**
- Jasmónico y salicílico
- Fitoalexinas
- Brasinosteroides
- Poliaminas
- Estrigolactonas

Reguladores

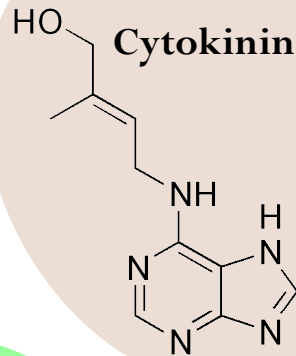
- Tipo auxínicos (AIA; AIB; AIP; 2,4D; 2,4 DB)
- Giberelinas
- Etileno (Ethephon o Ethrel)
- Citocininas (Cinetina, BA, BAP)
- Inhibidores (Cycocel o CCC, ALAR o B9, HM, C1IPC)

Fitohormonas, clásicas y “recientes”

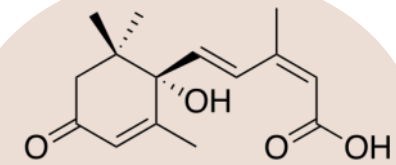
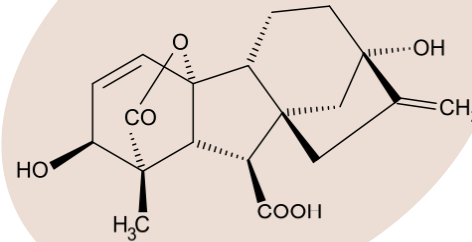
Auxin



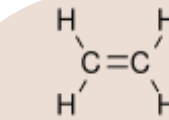
Cytokinins



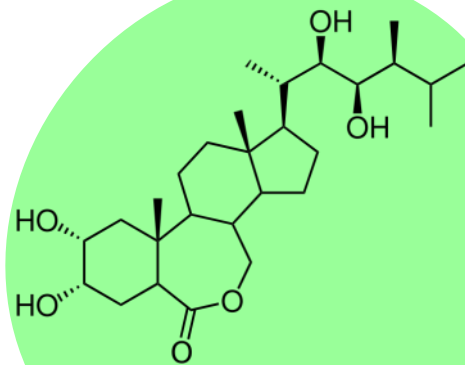
Gibberellins



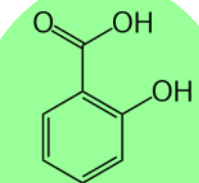
Absciscic Acid



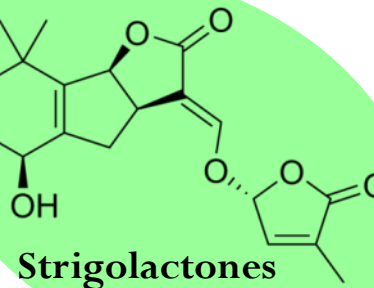
Ethylene



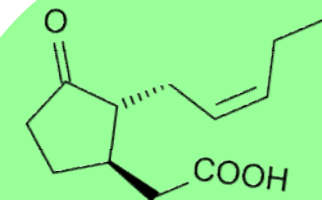
Brassinosteroids



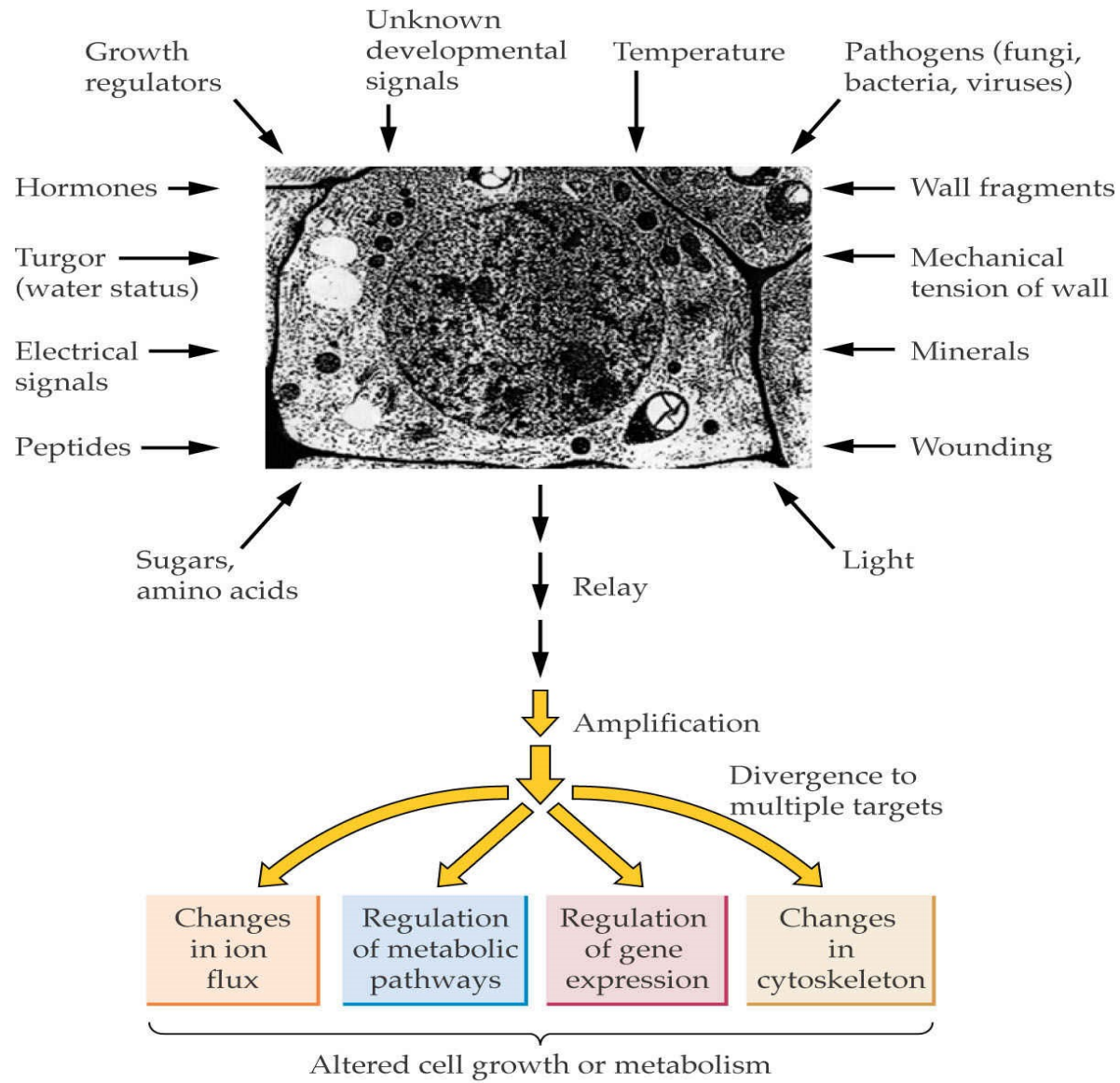
Salicylates



Strigolactones



Jasmonates

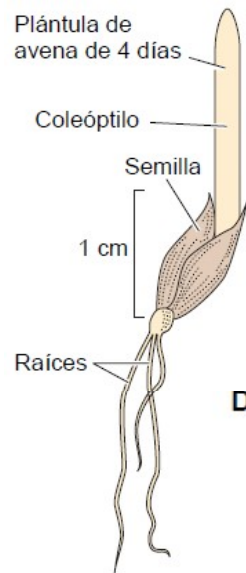


AUXINAS

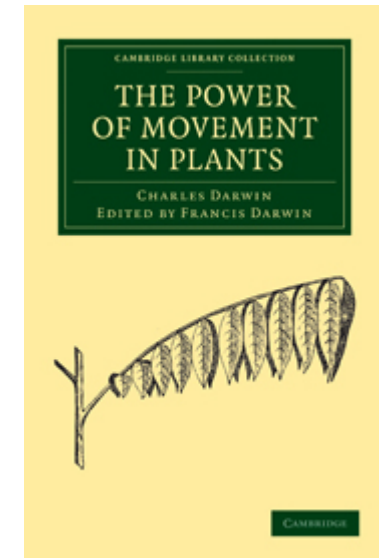
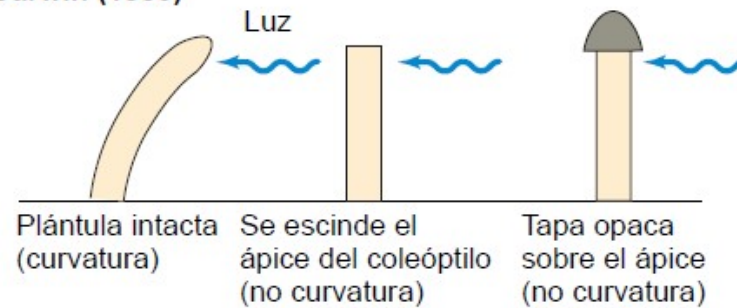
del griego «incrementar» «crecer»

...las hormonas del crecimiento

Descubrimiento



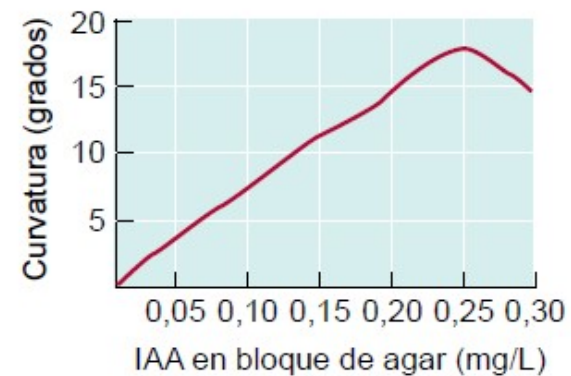
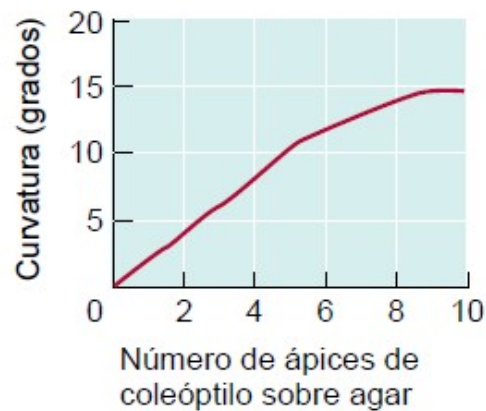
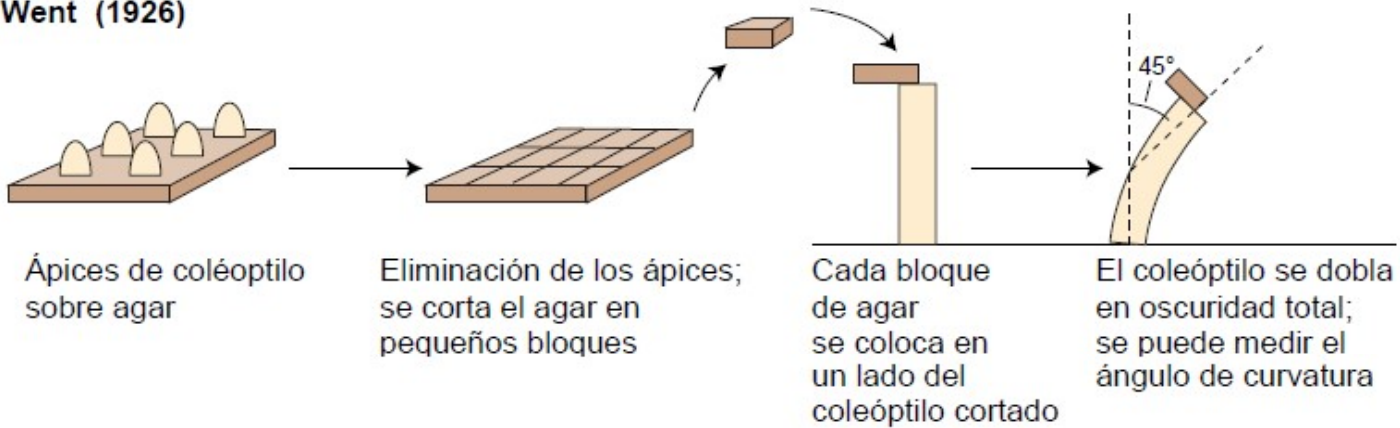
Darwin (1880)



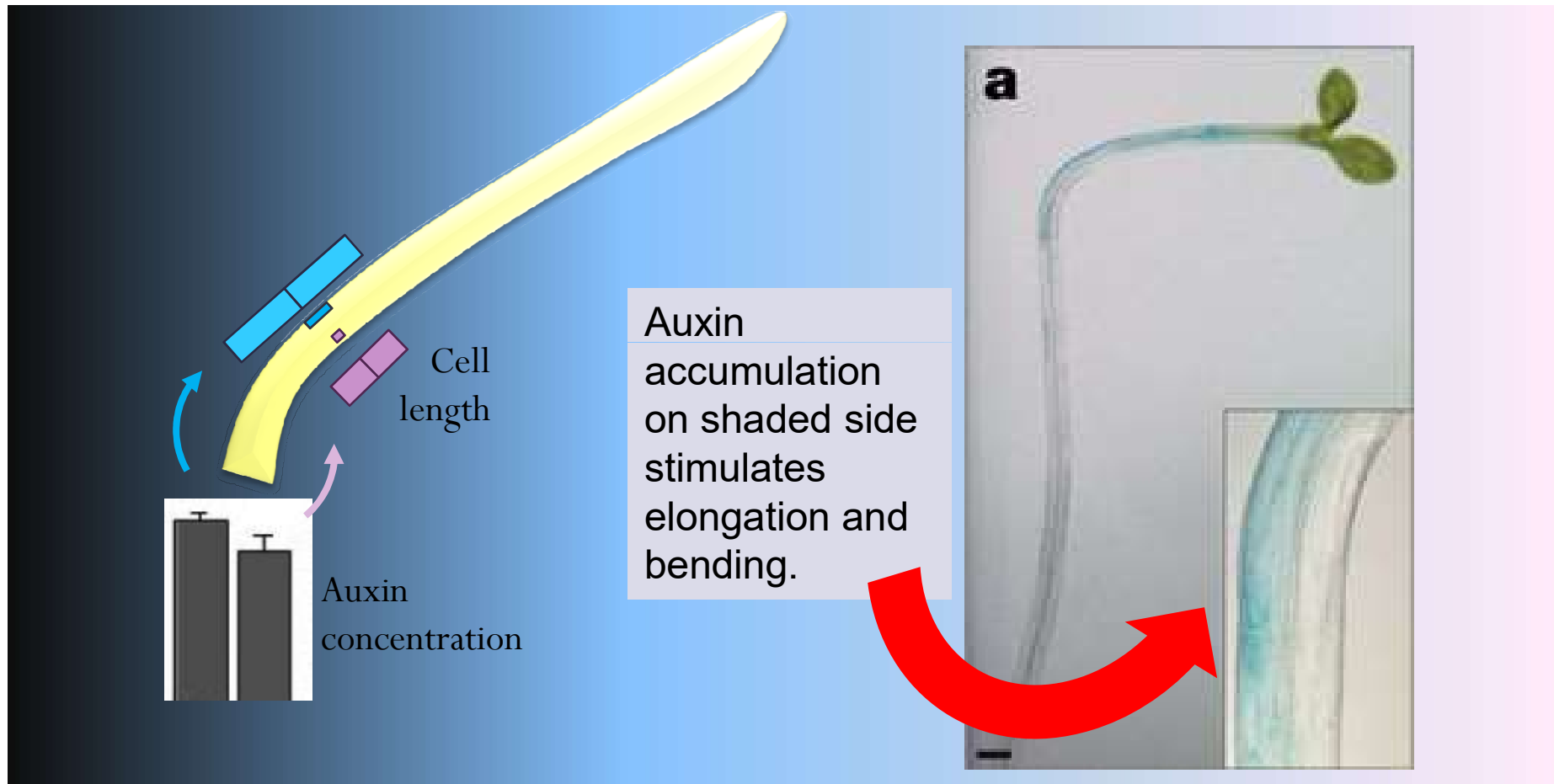
De los experimentos sobre fototropismo en coleóptilo, Darwin concluyó en 1880 que en el ápice del coleóptilo se produce un estímulo del crecimiento que es transmitido a la zona de crecimiento.

Bioensayo «*curvatura del coleoptilo de Went*» permite análisis cuantitativos.

Went (1926)

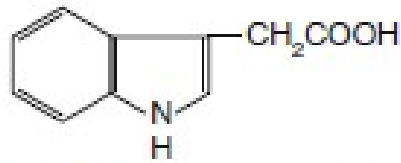


El crecimiento diferencial es el resultado de la acumulación auxina en el lado sombreado



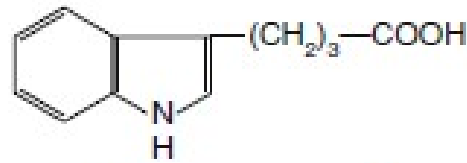
Esmon, C.A. et al. (2006) A gradient of auxin and auxin-dependent transcription precedes tropic growth responses. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 103: [236-241](#).
Friml, J., et al. (2002) Lateral relocation of auxin efflux regulator PIN3 mediates tropism in *Arabidopsis*. *Nature* 415: [806-809](#).

Naturally occurring auxins



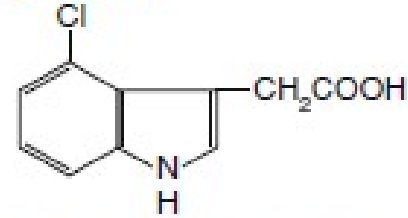
Indole-3-acetic acid
(IAA)

En todas las plantas



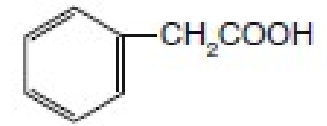
Indole-3-butyric acid
(IBA)

Mostaza y maíz



4-Chloroindole-3-acetic acid

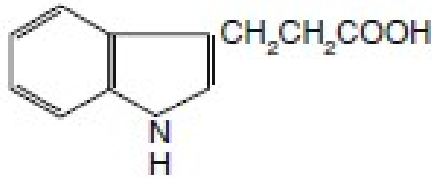
Leguminosas



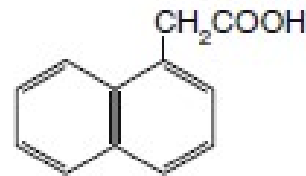
Phenylacetic acid
(PAA)

Tomate y girasol

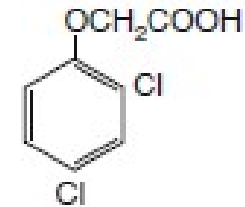
Synthetic auxins



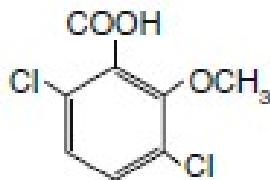
Indole-3-propionic acid
(IPA)



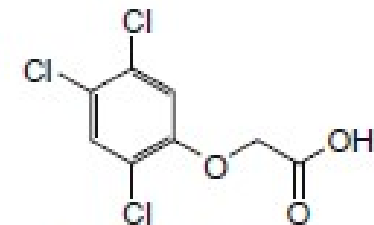
α -Naphthalene
acetic acid (α -NAA)



2,4-dichlorophenoxyacetic acid
(2,4-D)



2-Methoxy-3,6-
dichloro-benzoic acid
(Dicamba)



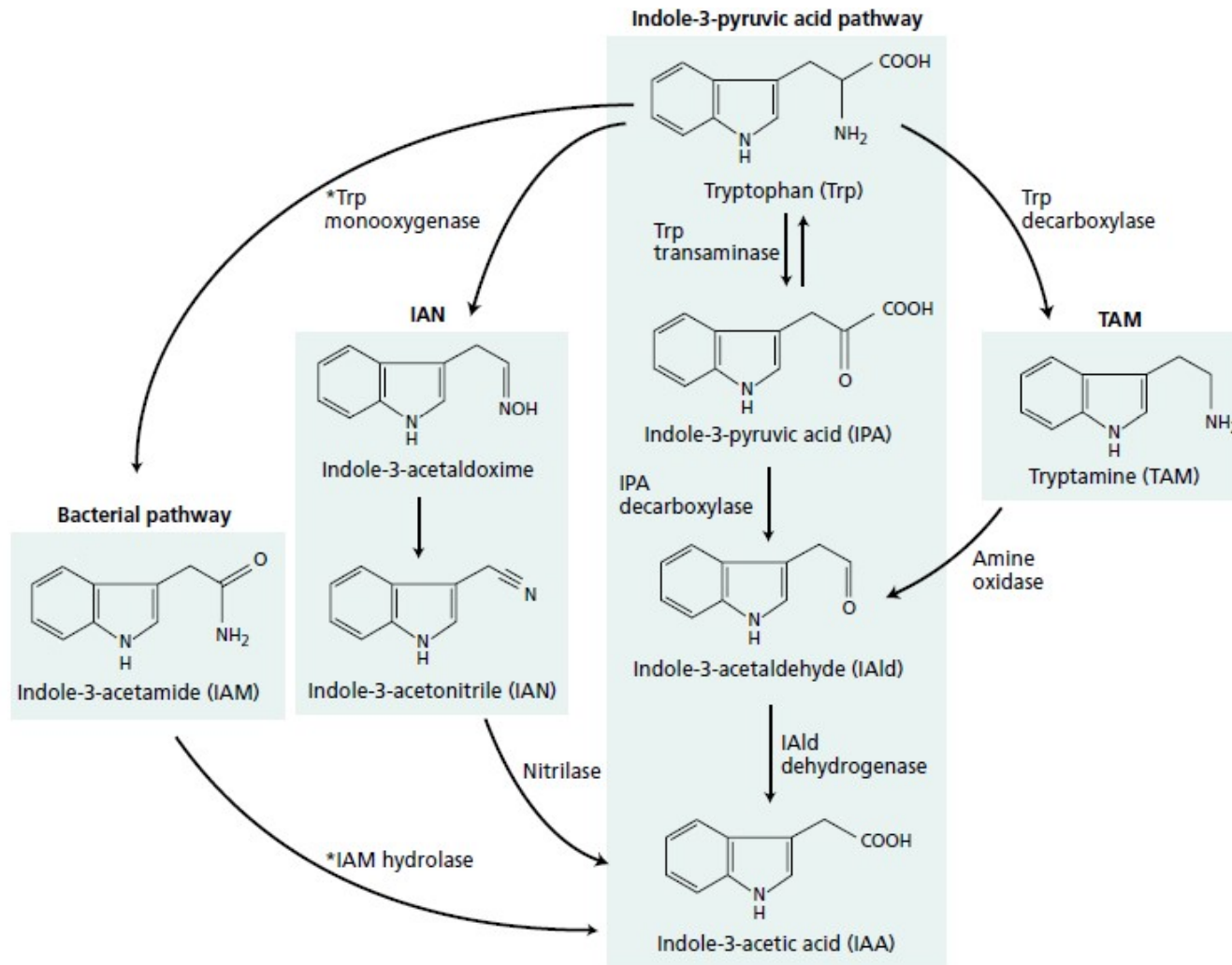
2,4,5-Trichlorophenoxyacetic
Acid (2,4,5-T)

Síntesis

- Meristemas apicales
- Ápices de coleótilos
- Tallos y hojas jóvenes en expansión
- Frutos en desarrollo
- Semillas
- Tejidos en rápido crecimiento y división

Síntesis. Vías dependientes de triptofano

(también existen vías independientes del Trp)

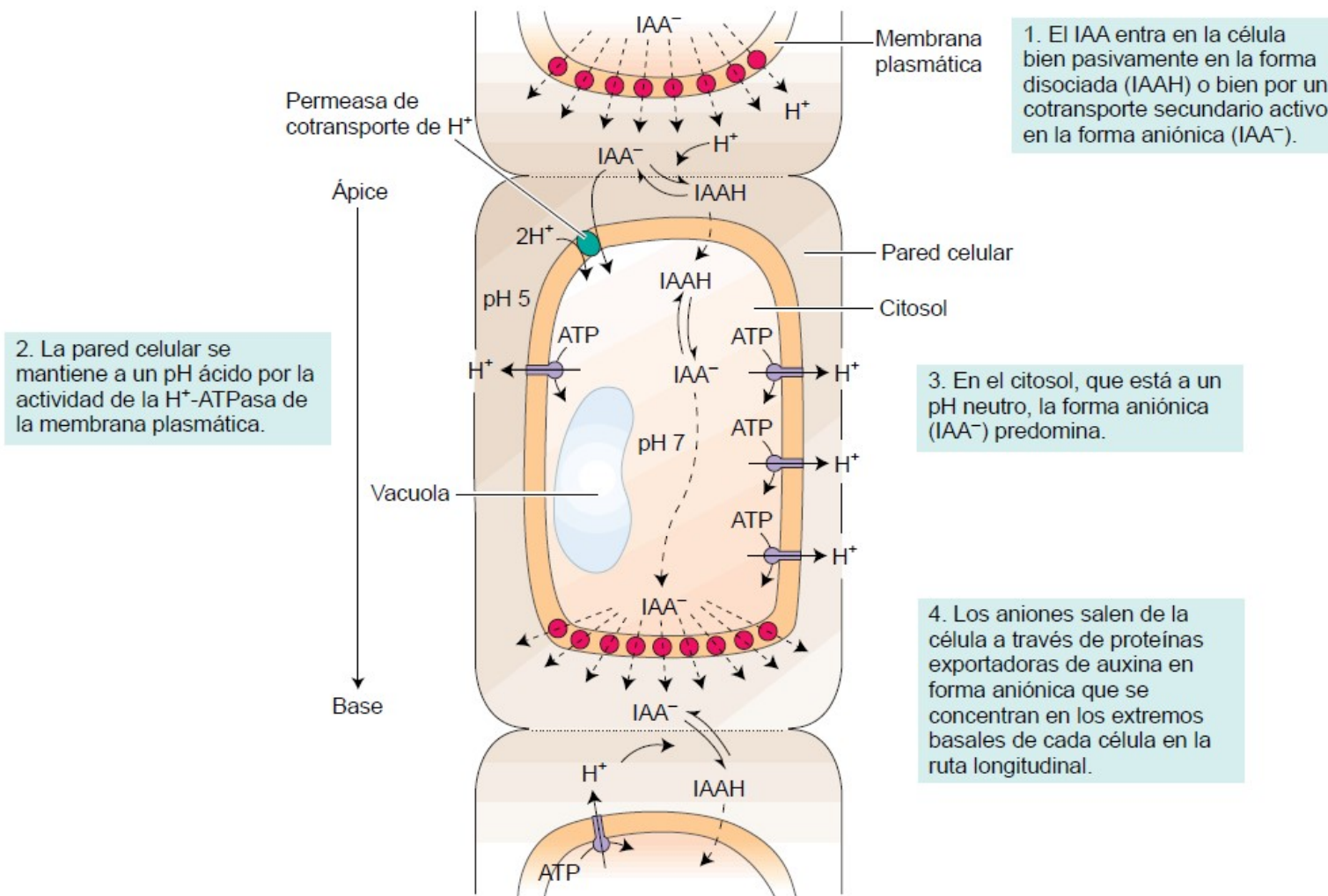


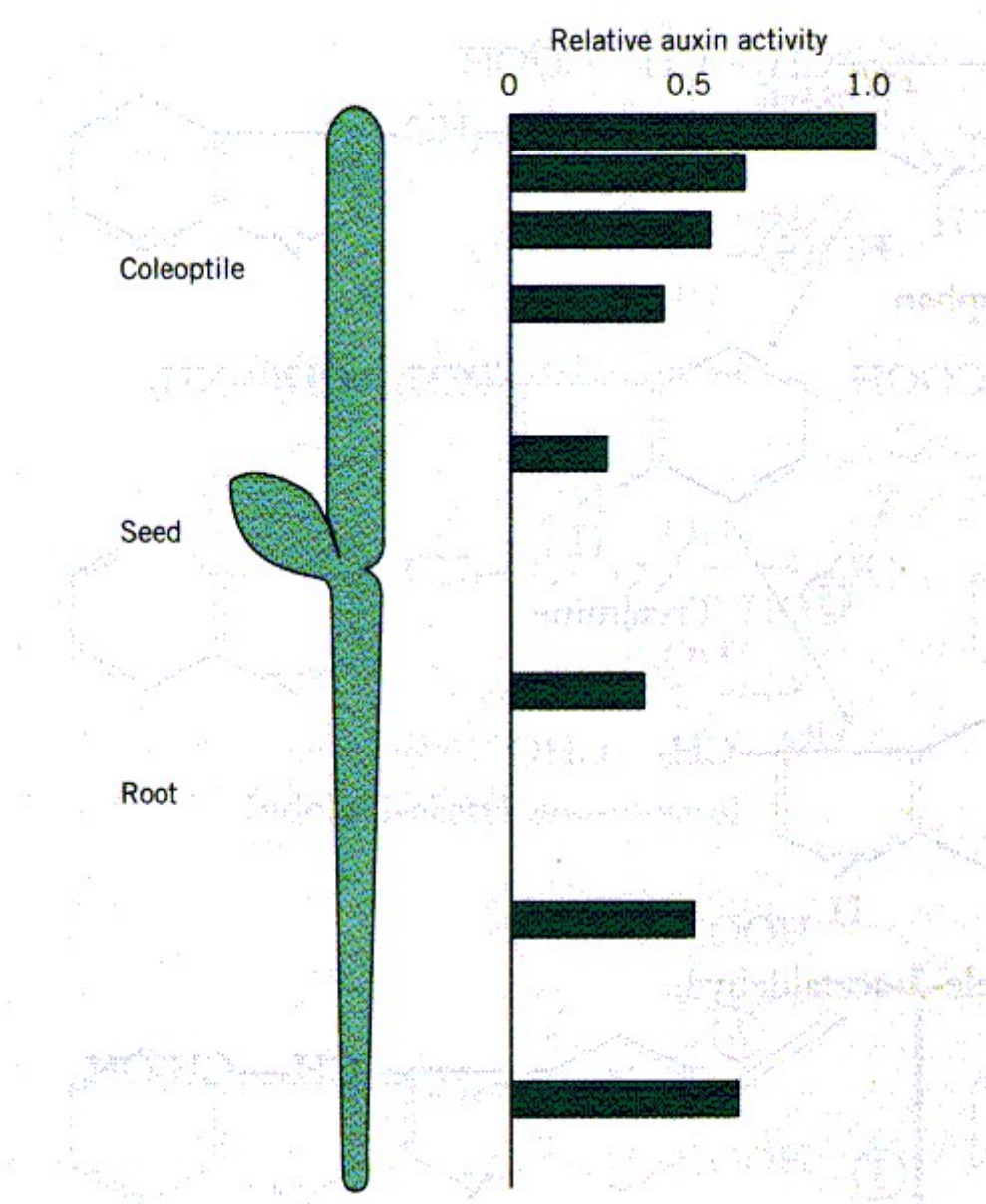
Auxinas, transporte polar

- Las auxinas son transportadas por medio de un mecanismo dependiente de energía, desde el ápice hasta la base.

transporte polar

(polaridad en el sentido del movimiento)

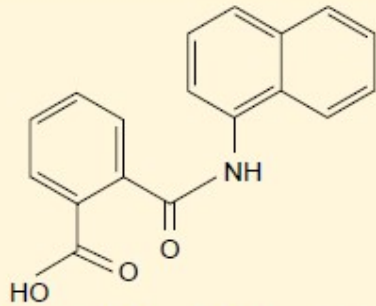




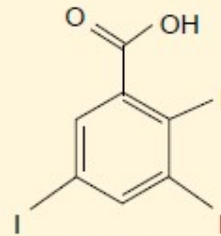
Concentración
relativa de
auxina

Inhibidores del transporte de auxinas

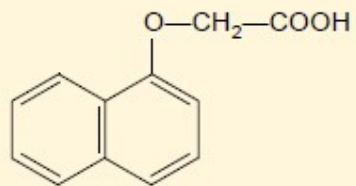
Inhibidores del transporte de auxina que no se encuentran en plantas



NPA (Ácido 1-N-naftilftalámico)

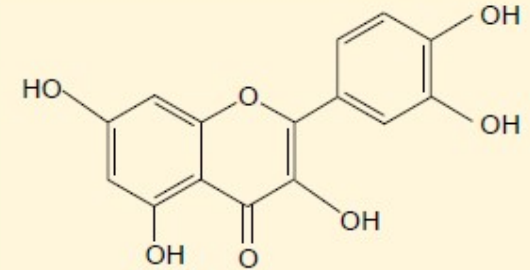


TIBA (Ácido 2,3,5-triyodobenzoico)

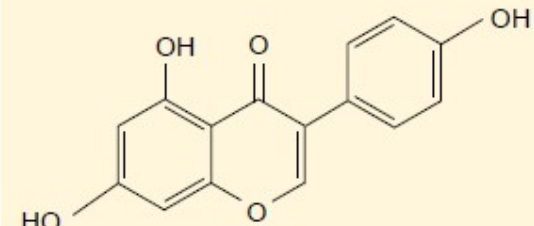


1-NOA (Ácido 1-naftoxiacético)

Inhibidores del transporte de auxina que son producidos naturalmente



Quercetina (flavonol)



Genisteína

Funciones principales

- Participan en todo el ciclo vital de la planta: polinización, fertilización, crecimiento vegetativo, floración.
- **Crecimiento celular**, expansión celular.
- Inhibición del desarrollo de las yemas laterales, favoreciendo el de las apicales. **Dominancia apical.**
- Promueven la iniciación de las raíces en los esquejes de los tallos (**raíces adventicias**).
- Desarrollo de raíces laterales.
- Tropismos en respuesta a luz, gravedad y tacto.

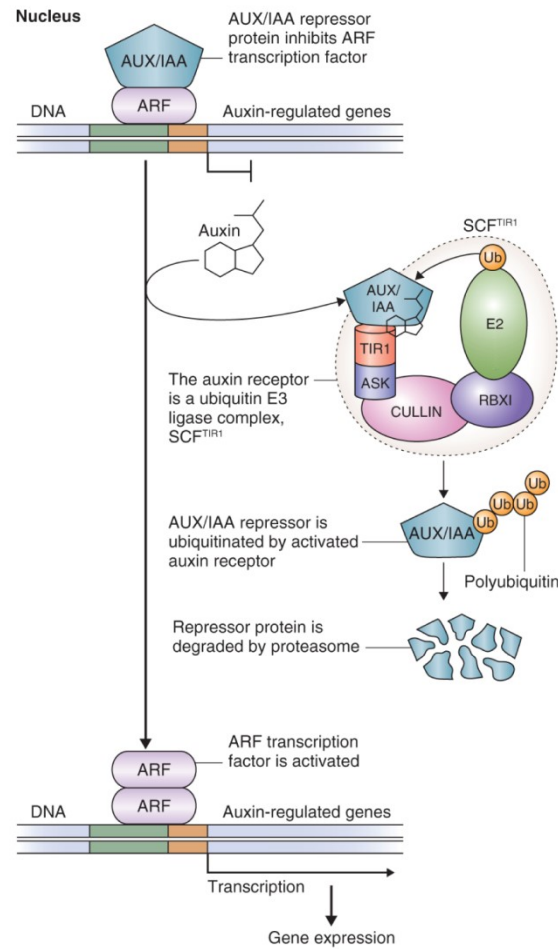


Figure 10.11

Model showing signal transduction during the response to auxin. In the absence of IAA, AUX/IAAs repress auxin-regulated genes by complexing with auxin response factors (ARFs). In the presence of IAA, AUX/IAA proteins become ubiquitinated by SCF^{TIR1} E3 ligase complex and are broken down by the proteasome. ARF can then function, often forming ARF–ARF dimers that allow the transcription of auxin-responsive genes.

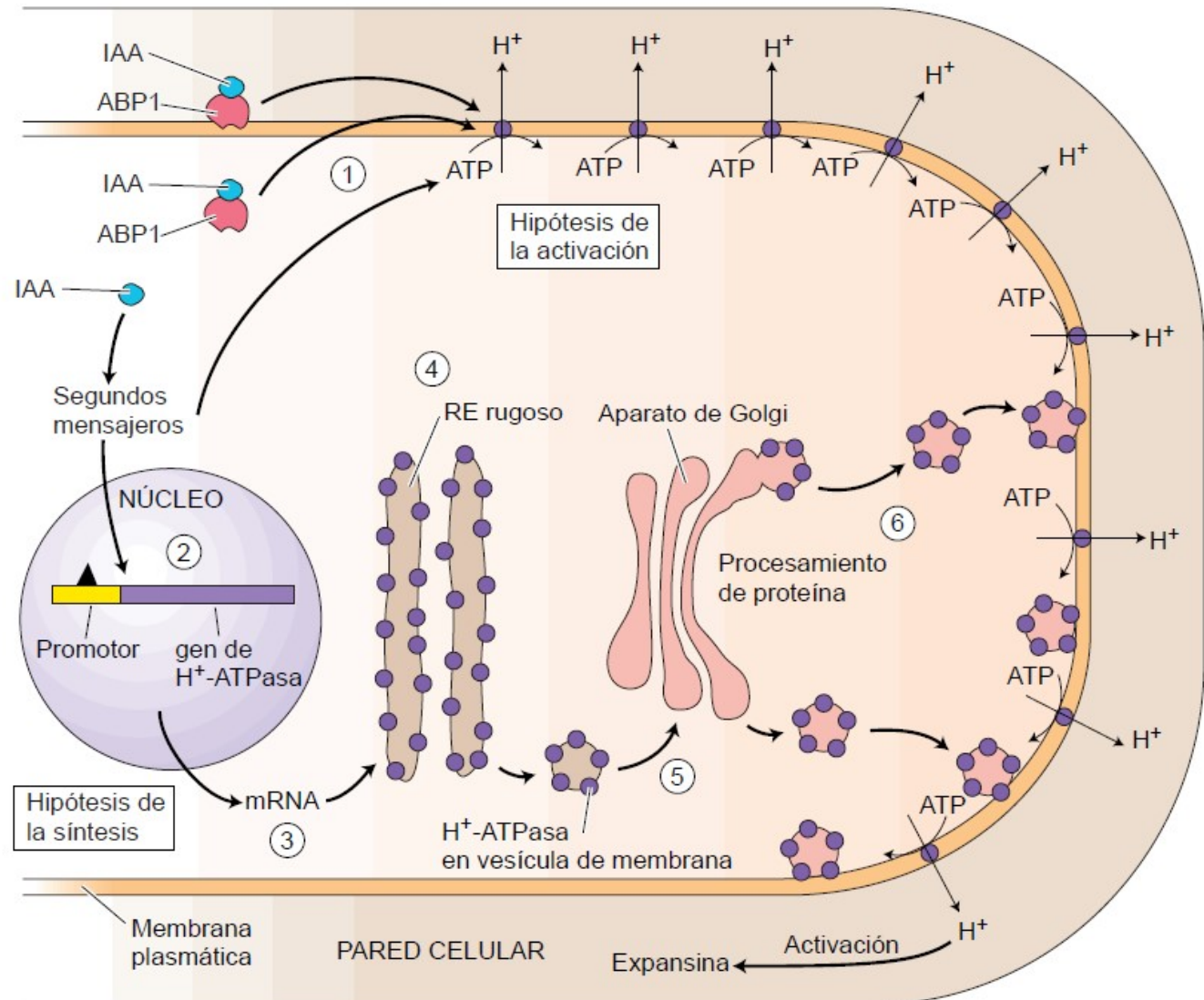
Auxinas, mecanismo de acción

Hipótesis de la activación:

La auxina se une a una proteína de unión a la auxina (ABP1) localizada bien en la superficie celular o bien en el citosol. Entonces ABP1-IAA interacciona directamente con la H^+ -ATPasa de la membrana plasmática para estimular el bombeo de protones (etapa 1). También podrían estar implicados segundos mensajeros, como el calcio o el pH intracelular.

Hipótesis de la síntesis:

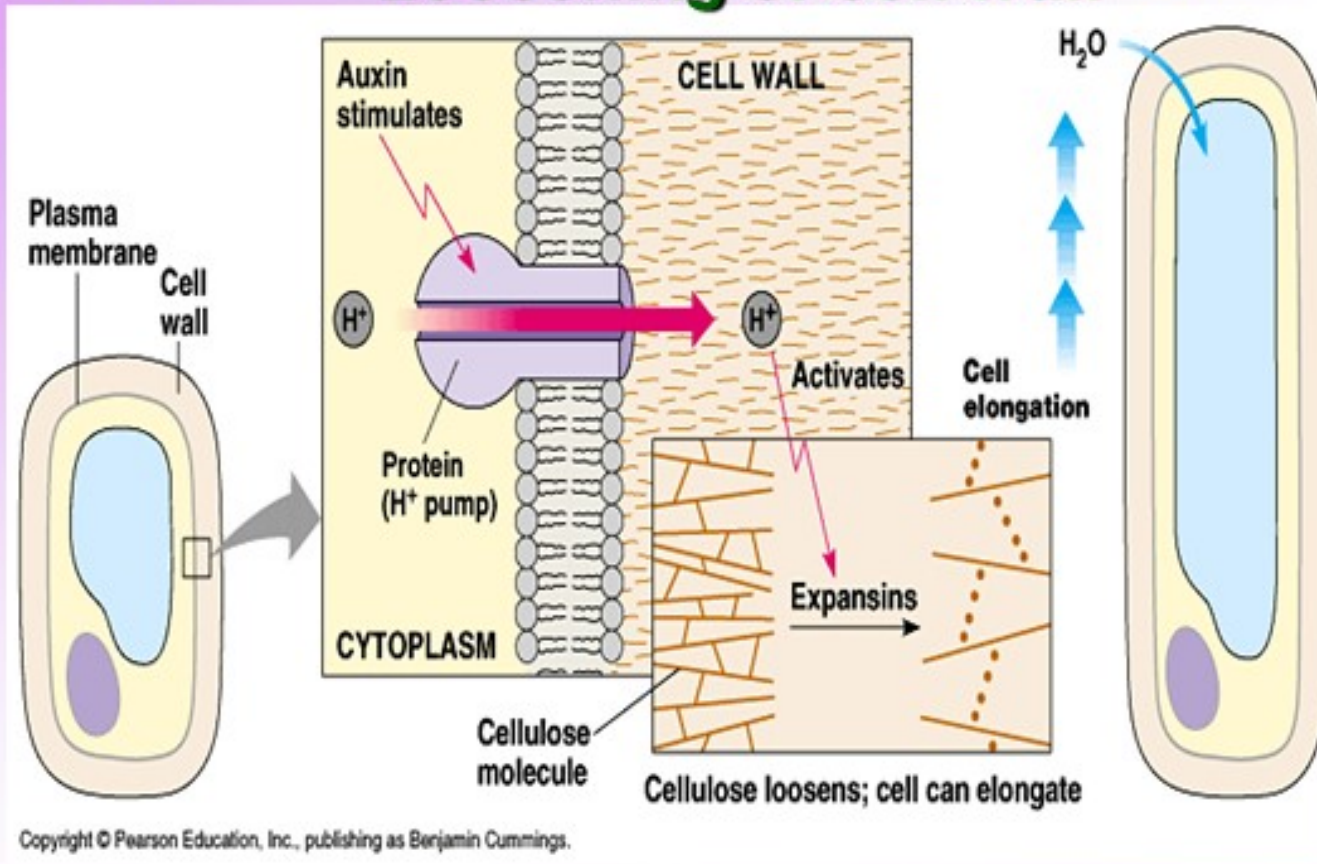
Un segundo mensajero inducido por IAA activa la expresión de genes (etapa 2) que codifican una H^+ -ATPasa de la membrana plasmática (etapa 3). La proteína se sintetiza en el retículo endoplásmico rugoso (etapa 4) y se dirige a la membrana plasmática a través de una ruta secretora (etapas 5 y 6). El aumento de la salida de protones resulta del aumento del número de bombas de protones en la membrana.



Caso A

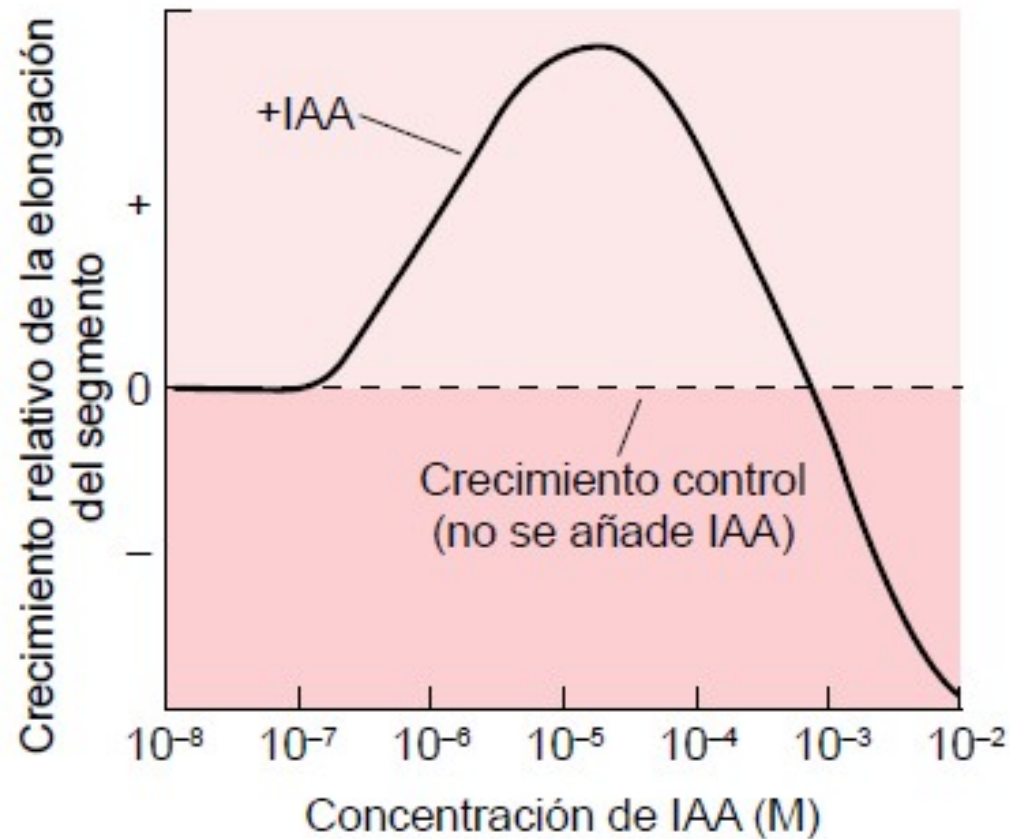
Loosening of cell wall

Caso B

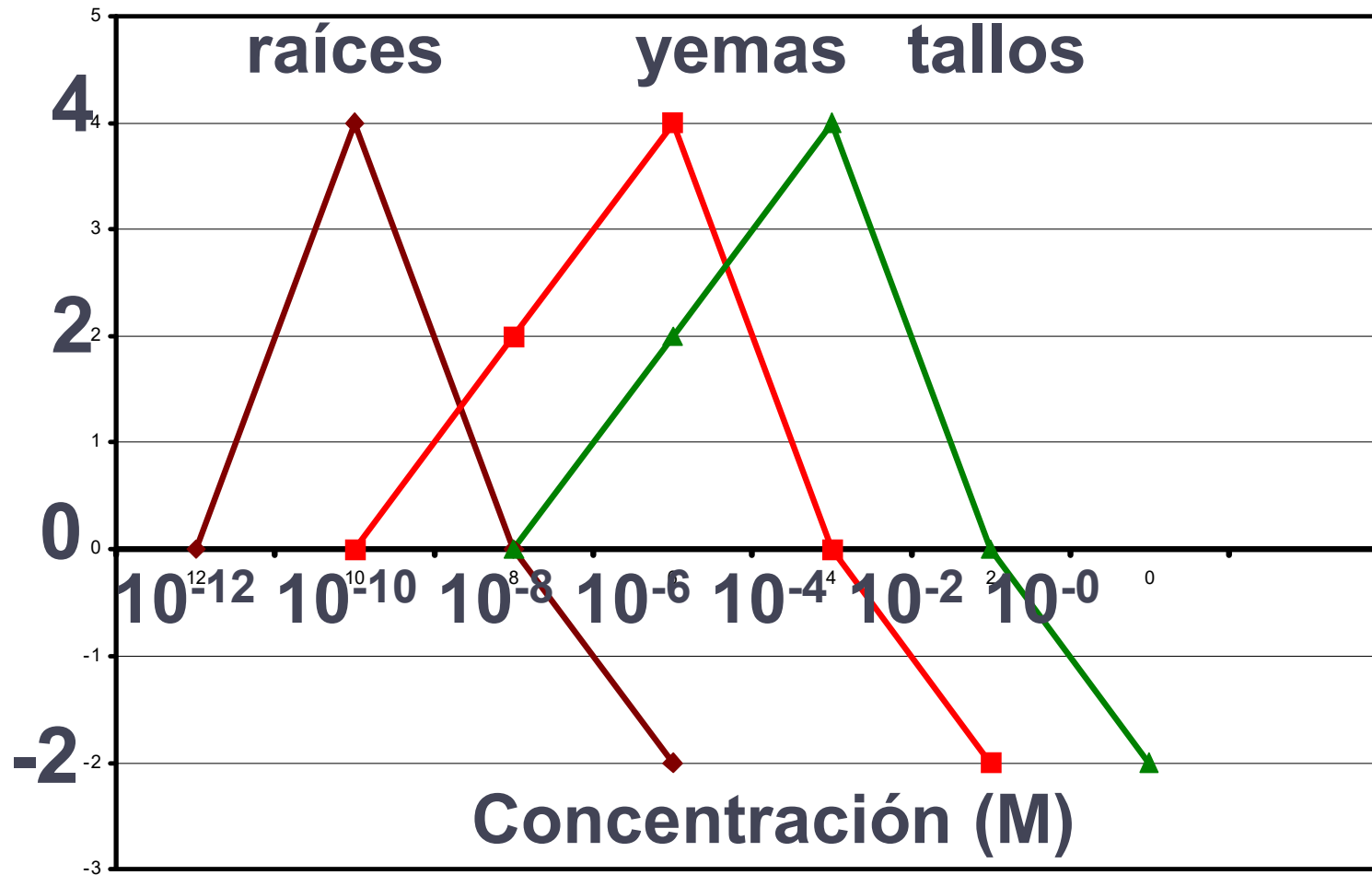


Actividad biológica: elongación celular.

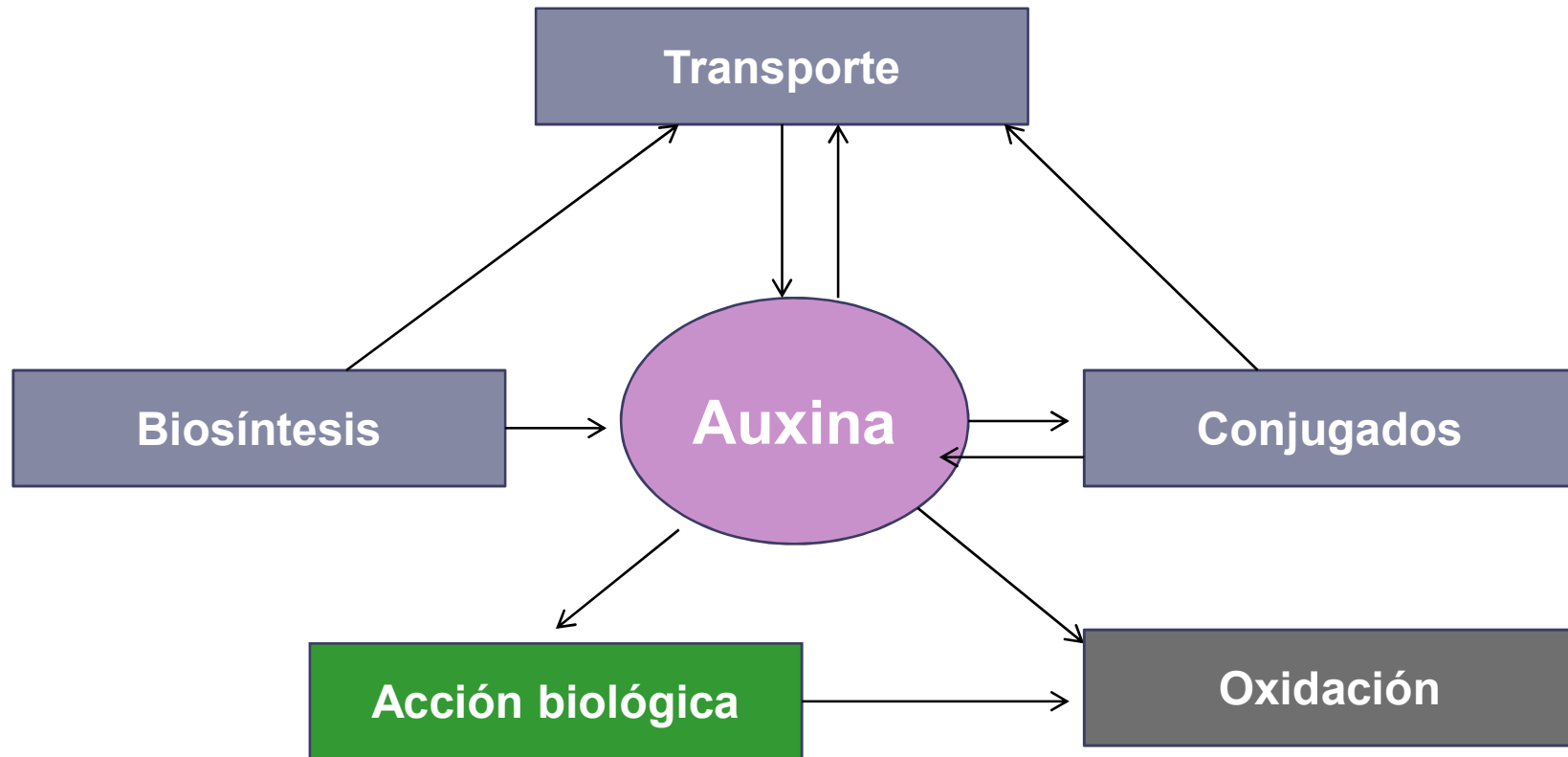
Promueven el crecimiento de tallos y coleoptilos, mientras que inhiben el crecimiento en raíces



Actividad de auxinas



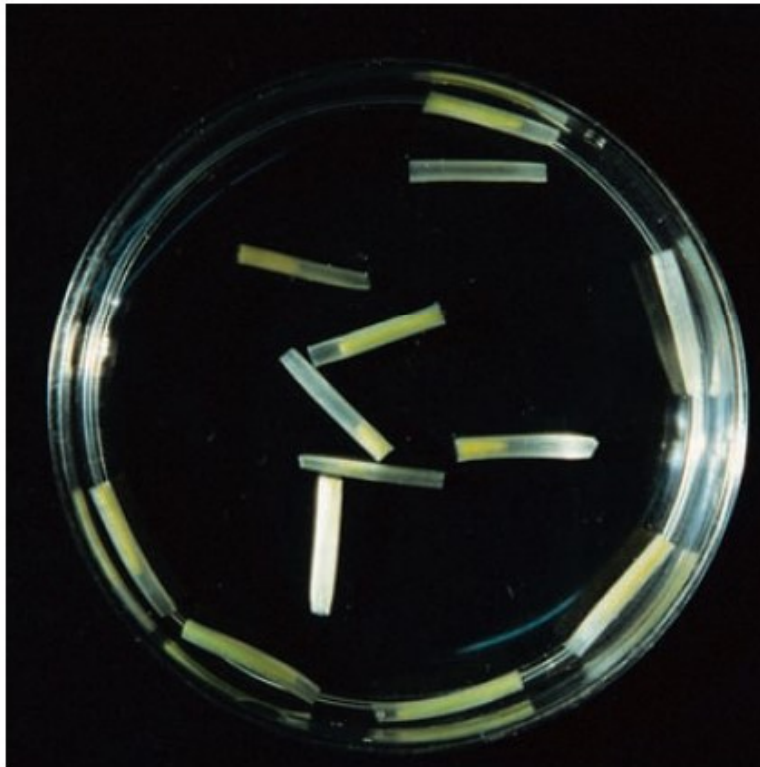
Mecanismos para mantener la concentración óptima



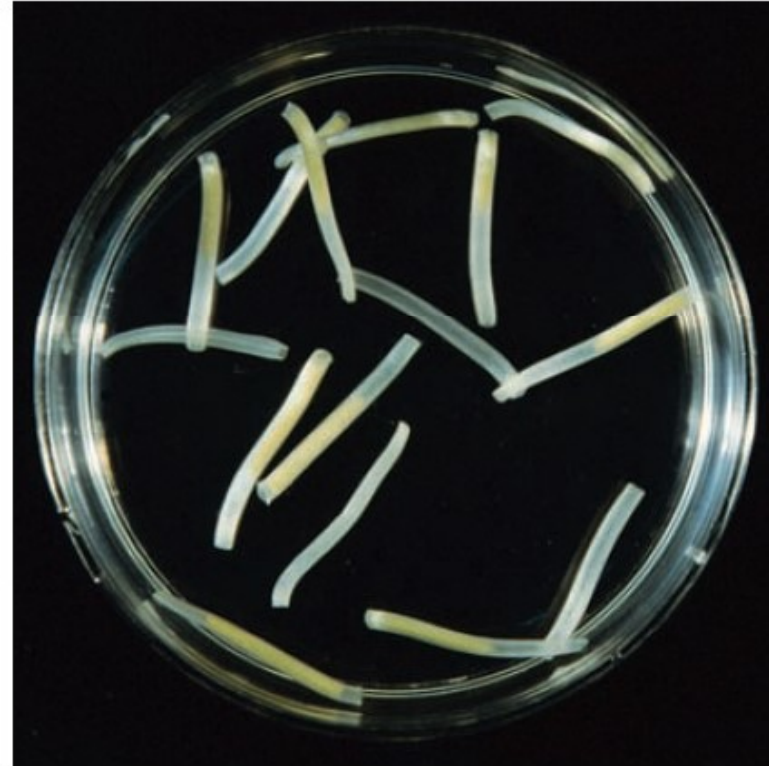
Efectos fisiológicos

Elongación de coleoptilos

(A)



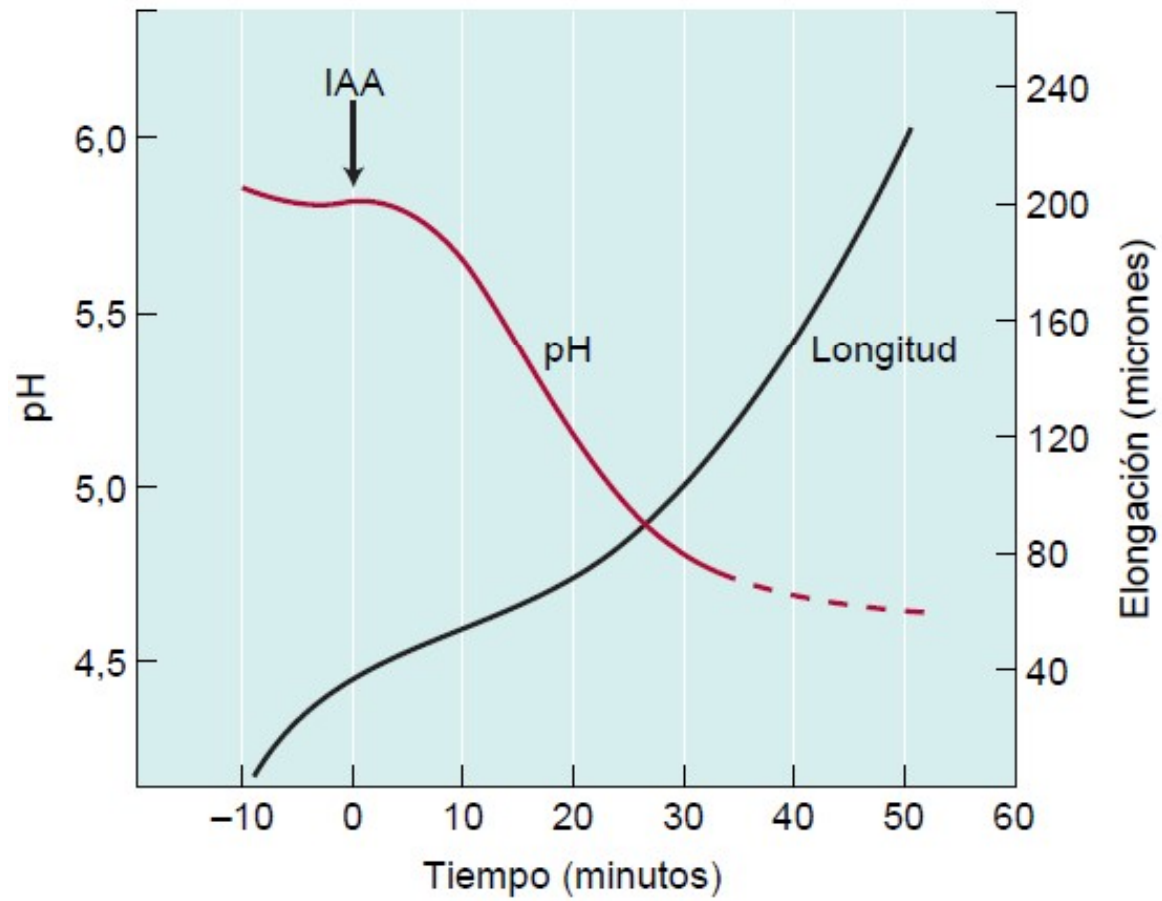
(B)



Coleoptilos de avena incubados en agua (A) o en presencia de auxina (B).

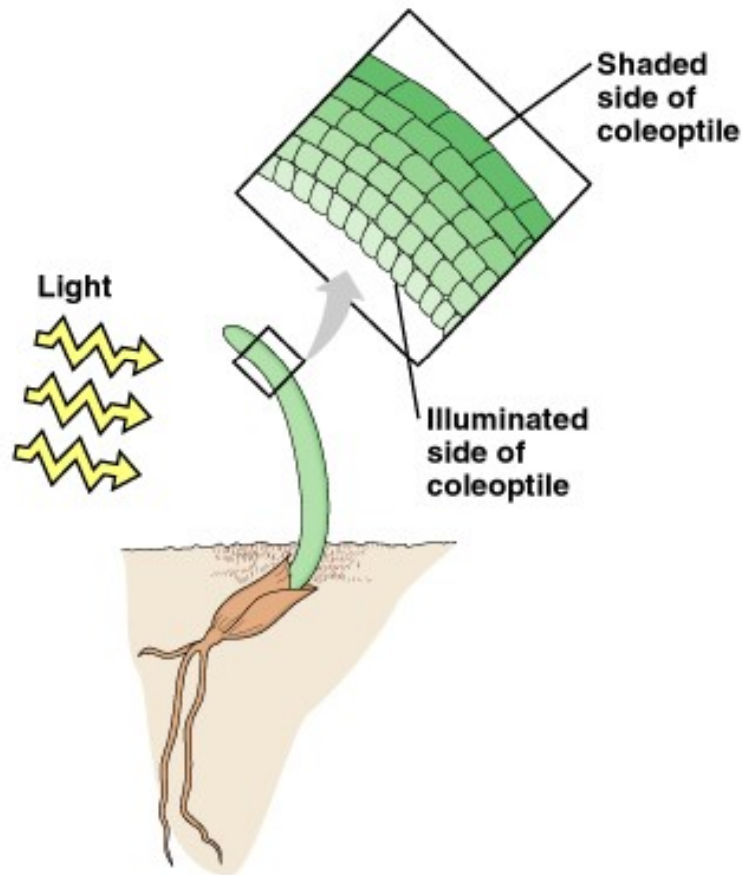
Efectos fisiológicos

Extensibilidad de la pared celular



Efectos fisiológicos

Fototropismo



En respuesta a un estímulo lumínico direccionado, las auxinas se producen en el ápice y, en lugar de ser transportadas en forma basípeta, son transportadas en forma lateral hacia el lado sombreado.

Efectos fisiológicos

Dominancia apical

(A)



(B)



(C)



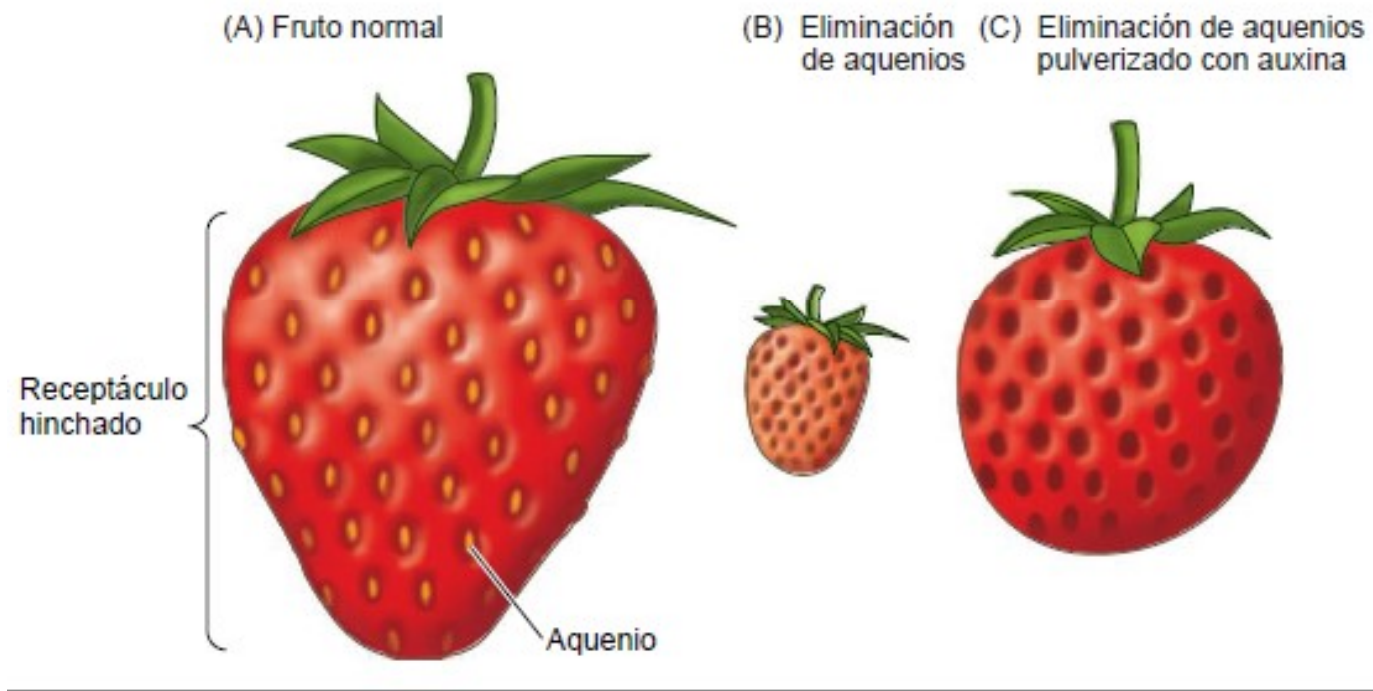
A. Las yemas axilares se encuentran inhibidas en la planta intacta debido a la dominancia apical.

B. La aplicación de AIA en pasta de lanolina, en la superficie cortada, inhibe el desarrollo de las yemas axilares.

C. La remoción de la yema terminal libera las yemas axilares de la dominancia apical.

Efectos fisiológicos

Regulan el desarrollo de frutos



Aplicaciones comerciales

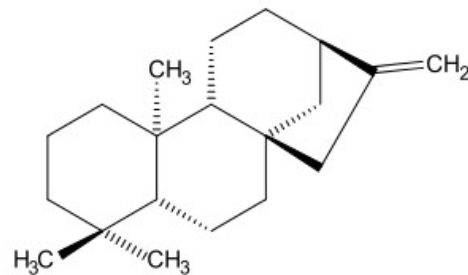
- **Inducción de partenocarpia en frutos**
- **Enraizamiento y propagación de estacas**
- **Acción herbicida**
- **Inhibición de brotación de yemas en tubérculos de papa**
- **Floración sincronizada (ananá)**
- **Regulación del crecimiento del fruto**
- **Retarda la caída de hojas y frutos, según dosis**

Giberelinas



Giberelinas,

- Aisladas por primera vez a partir del hongo *Gibberella fujikuroi*, que provoca un crecimiento excesivo de los entrenudos en plantas de arroz.
- Existe una gran variedad de giberelinas producidas en las plantas.
- Son una familia de moléculas que derivan de la estructura:



ent-kaureno

Giberelinas,

- Son compuestos isoprenoides que proceden del ácido mevalónico y forman parte del grupo de las hormonas reguladoras del crecimiento.
- Existen varios tipos de giberelinas, siendo los más comunes: **GA₁, GA₃, GA₄**, GA₇ y GA₉.
- Se encuentran en todos los órganos de las plantas superiores, siendo más abundantes en tejidos de rápido crecimiento y desarrollo como los meristemas apicales.

Los genes que controlan la síntesis de GAs son importantes en la “revolución verde”

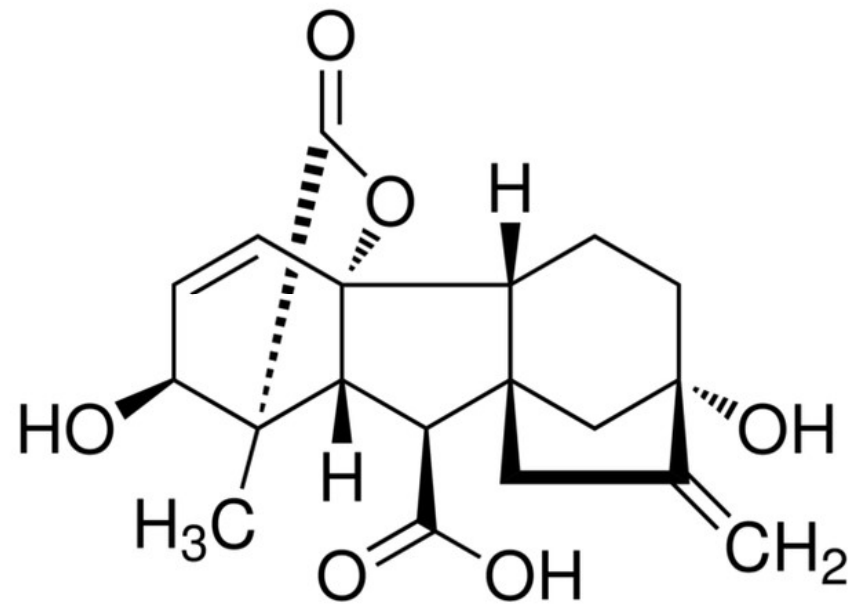


Distinguished plant breeder and Nobel Laureate
[Norman Borlaug](#) 1914-2009

Tremendous increases in crop yields (the Green Revolution) during the 20th century occurred because of increased use of fertilizer and the introduction of semidwarf varieties of grains.

The semidwarf varieties put more energy into seed production than stem growth, and are sturdier and less likely to fall over.

Estructura química del ácido giberélico (GA_3)



Son diterpenos

Las giberelinas son sintetizadas en tres etapas

- La síntesis involucra los plástidos, el retículo endoplásmico y el citosol
- Ocurre a través de la vía de síntesis de terpenoides
- El precursor es el geranil-geranil difosfato

Giberelinas

- Las giberelinas son sintetizadas en los primordios apicales de las hojas, en puntas de las raíces y en semillas en desarrollo.
- Son las promotoras de la activación enzimática en el proceso de germinación, y se encuentran en diferentes concentraciones dependiendo de los estadios de las semillas.

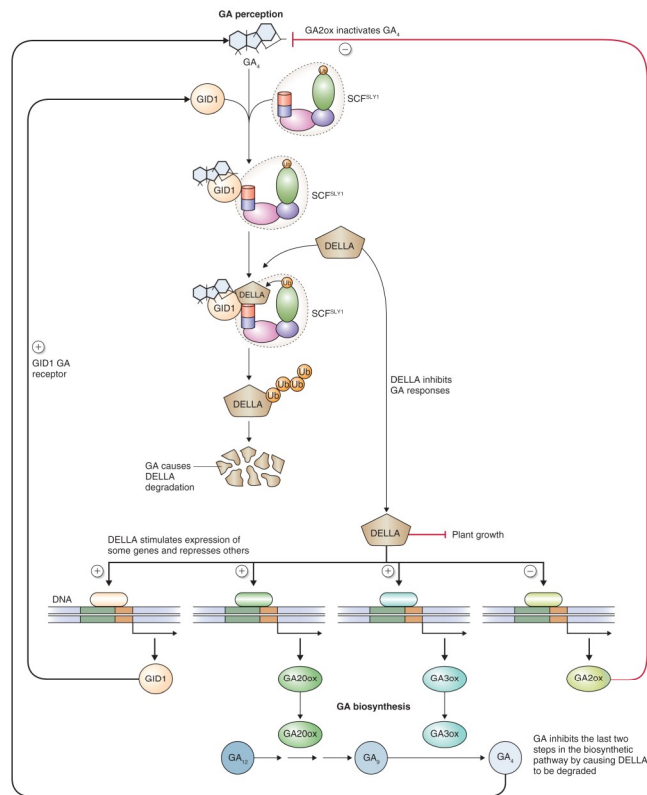


Figure 10.17

Model of the gibberellin (GA) signal transduction pathway in rice showing the central role of DELLA domain proteins as repressors of transcription of GA-regulated genes. DELLA proteins are degraded by the proteasome after they are ubiquitinated by the E3 ligase SCF^{SLY1}. GA binds to the GA receptor GID1. The hormone–receptor complex then interacts with SLY1, the F-box protein of SCF^{SLY1} and together they bind DELLA domain proteins allowing them to be ubiquitinated for subsequent proteolysis by the proteasome. Removal of DELLA proteins allows the transcription of GA-regulated genes to proceed. Among the genes that are upregulated by DELLA are those involved in GA perception (*GID1*) and biosynthesis (*GA20ox* and *GA3ox*). An example of a gene downregulated by DELLA domain proteins is *GA2ox*.

Giberelinas, funciones

- Incrementan el crecimiento de los tallos (elongación de entrenudos) e inducen la brotación de yemas
- Interrumpen el período de latencia de las semillas
- Promueven el desarrollo de los frutos
- Promueven la división del cambium (luego del reposo)
- Incrementan el crecimiento de escapo floral en alcaucil y pedúnculo en vid
- Revierten el enanismo genético
- Inducción de floración, en plantas que requieren día largo o frío
- Inducen la formación de flores masculinas en espinaca y pepino
- Partenocarpia (vid, ciruela, durazno)

Lugares principales de formación

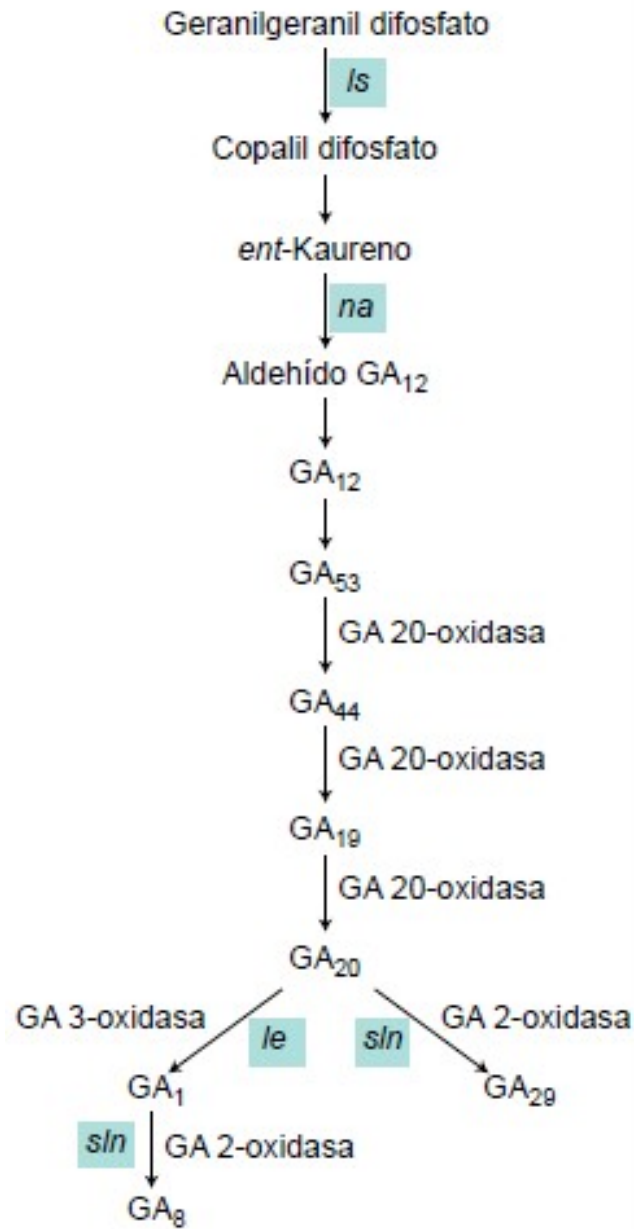
- Meristemas primarios.
- Semillas y frutos inmaduros.
- Hojas jóvenes.
- Factores ambientales como el fotoperíodo y la temperatura alteran la síntesis de GAs.

Transporte en la planta

- Vía floema

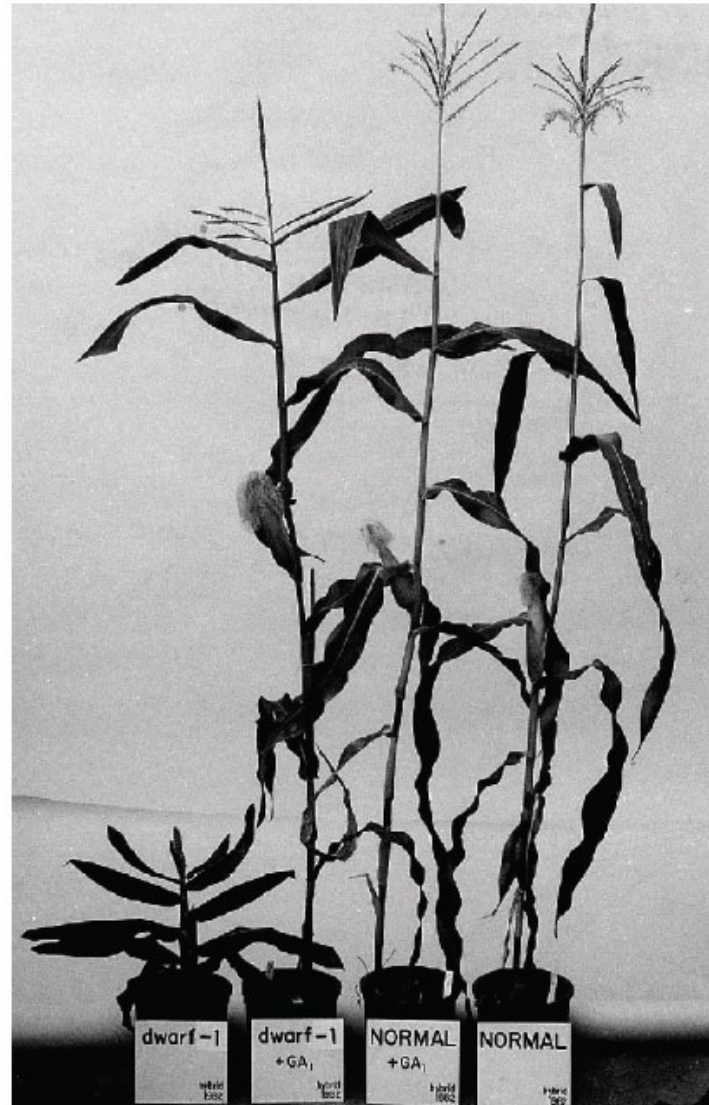
Fenotipos y genotipos de plantas de arveja que difieren en el contenido de giberelinas.



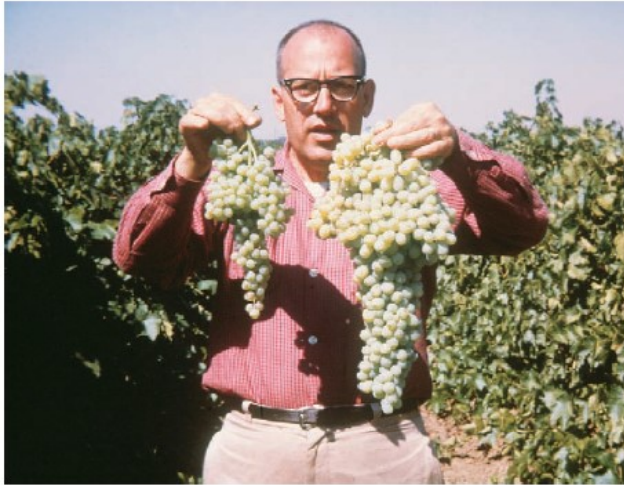


Parte de la ruta biosintética de GAs mostrando las abreviaturas y ubicaciones de los genes mutantes que bloquean la síntesis en arveja.

Efecto de GA₁ exógena agregada a plantas de maíz enana y normal.

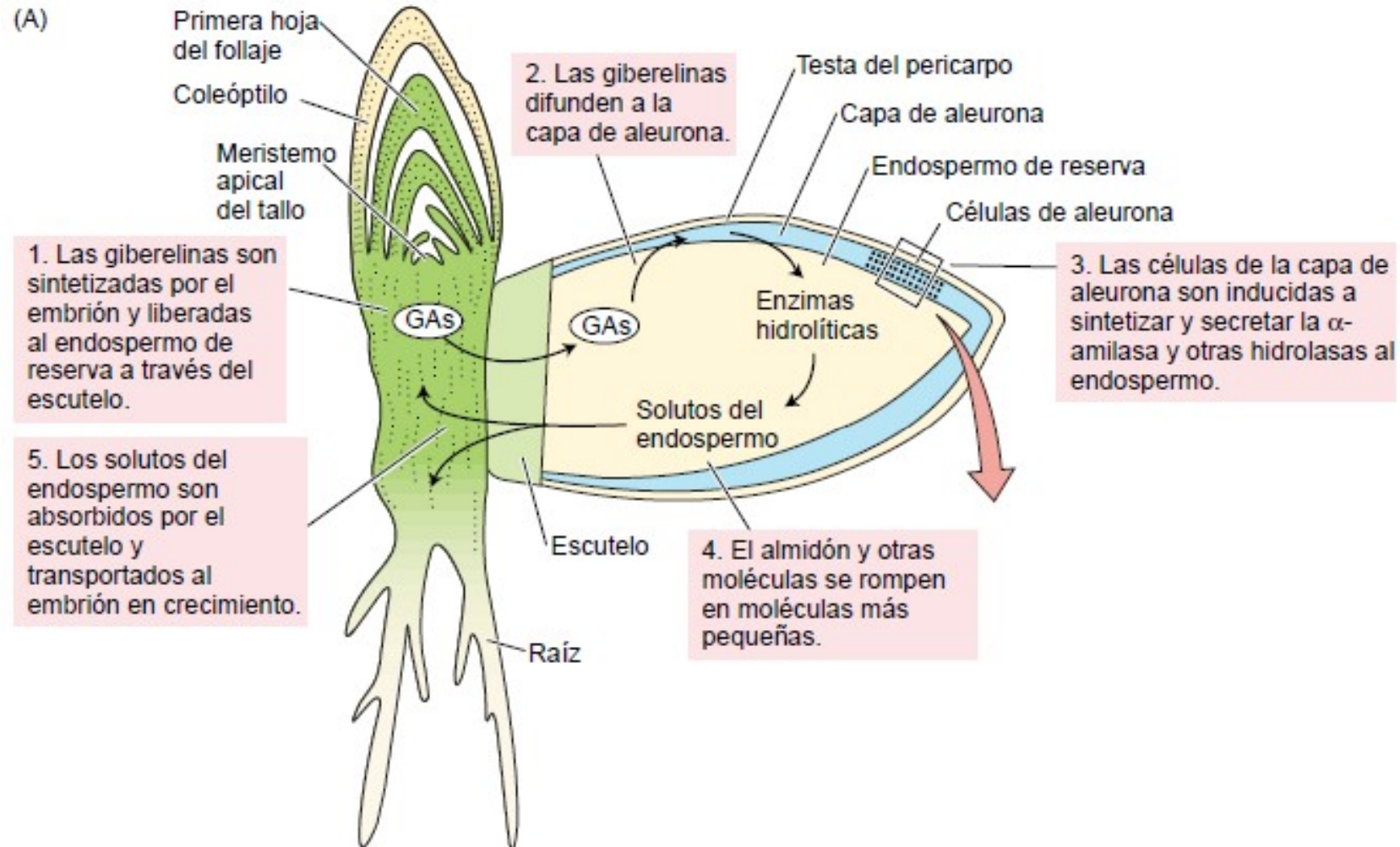


Enana-1 Enana-1 Normal Normal
 + GA₁ + GA₁



Las giberelinas inducen el crecimiento de uvas sin semillas. El racimo de la derecha fue rociado con GAs durante el desarrollo de los frutos.

Estructura del grano de cebada y función de los tejidos durante la germinación



Germinación en cereales



- 1 Activación del embrión. Liberación de giberelinas
- 2 Inducción de genes por las giberelinas en la capa de aleurona.
- 3 Producción y liberación de enzimas hidrolíticos.
- 4 Acción de las enzimas sobre los materiales de reserva del endospermo.
- 5 Liberación de nutrientes (monómeros)
- 6 Absorción de nutrientes por el embrión.

Giberelinas, usos en agricultura

- Promoción de partenocarpia en frutos.
- Retrasa la senescencia en cítricos.
- Promoción de la brotación en yemas durmientes (reemplaza requerimientos de bajas temperaturas y/o días largos).
- Promoción de la germinación en semillas (reemplaza requerimientos de bajas temperaturas).
- Alargamiento de escapo floral en algunas especies.
- Inducción de floración en algunas especies (reemplaza el período de vernalización).
- Degradación de sustancias de reserva en el endosperma de cereales (fabricación de cerveza).