


Tema 14: Reguladores del Crecimiento

1. Las auxinas



ÍNDICE

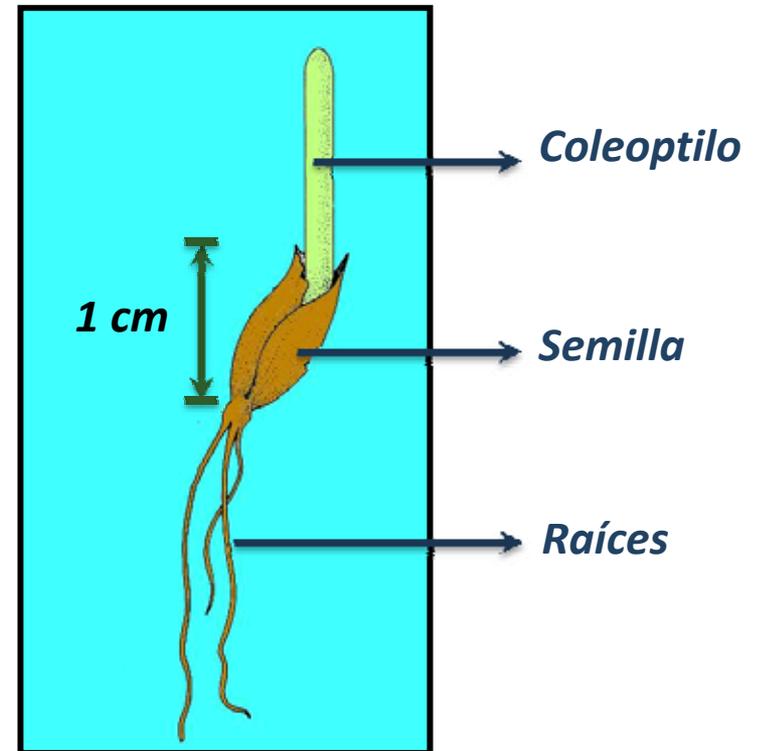
□ Las Auxinas:

- Descubrimiento de la auxina
- Composición química de la auxina
- Efectos fisiológicos de la auxina
- Forma de acción

□ Iconos

Descubrimiento de la *auxina*

- Experiencias de los [Darwin](#) (1880), de [Boysen-Jensen](#) (1913), de [Paal](#) (1919) y de [Went](#) (1926) con los coleoptilos de avena.





Composición química de la auxina (1)

- Es el ácido indol-3-acético (AIA).
 - Otras auxinas.
 - Auxinas sintéticas. Herbicidas auxínicos.



Composición química de la auxina (2)

- Es el ácido [indol-3-acético](#) (AIA).
- [Biosíntesis](#): a partir del triptófano. Tres mecanismos:
 - El **triptófano** es convertido en **ácido indolpirúvico** a través de una reacción de transaminación. El ácido indolpirúvico se convierte en **indolacetaldehído** mediante una reacción de descarboxilación. La etapa final implica la oxidación de esta molécula para dar el **ácido indolacético**.
 - El **triptófano** sufre una descarboxilación dando **triptamina**. Esta es oxidada y desaminada para producir **indolacetaldehído**; finalmente este compuesto se oxida hasta **ácido indolpirúvico**.
 - Hay un tercer mecanismo independiente del triptófano, poco conocido todavía.



Composición química de la auxina

- Es el ácido [indol-3-acético](#) (AIA).
- Biosíntesis: a partir del triptófano.
- Lugares de síntesis: ápices de coleoptilos de las gramíneas, en meristemas apicales de tallos y, en menor proporción, de las raíces. También en embriones y en hojas jóvenes, flores y frutos.



Efectos fisiológicos de la auxina

- Elongación celular en tallos y coleoptilos.
- La dominancia apical.
- Efectos sobre el fototropismo y el gravitropismo.
- La auxina y la diferenciación celular.
- Activación del cámbium vascular.
- Crecimiento de la raíz: enraizamiento.
- Crecimiento del fruto.
- Inhibición de la abscisión.
- Control de malas hierbas (herbicida).





Forma de acción de la auxina

- Ablandamiento de la pared celular.
 - El AIA incrementa la biosíntesis de celulasa.
 - Hipótesis ácida.
- Efectos a corto y largo plazo.
 - Corto plazo: hipótesis ácida.
 - Largo plazo: regulación expresión génica.
- Esquema (flash)



Elongación celular en tallos y coleoptilos.

- La auxina incrementa la extensibilidad de la pared celular: [hipótesis del crecimiento ácido](#).



La dominancia apical

- Efecto inhibitor sobre el desarrollo de las yemas laterales.
 - Flujo unidireccional: la fitohormona se transporta activamente desde su lugar de síntesis (zona de crecimiento) hacia la base de la planta (movimiento basipetal).
 - Se transporta a través de las células según un modelo quimiosmótico.



Efectos sobre el fototropismo y el gravitropismo

- **Fototropismo:** experiencias con coleoptilos.
- **Gravitropismo:** los estatólitos de las células de la caliptra.



La auxina y la diferenciación celular.

□ Experiencias:

- *Callo + yema = diferenciación vascular.*
- *Callo + auxina y azúcar = diferenciación vascular.*
 - Baja concentración de sacarosa (1.5 a 2.5 %) se favorece la formación de xilema.
 - Alta concentración de sacarosa (4%): favorece formación de floema.
 - Concentraciones medias: ambos tipos de tejidos.
- Efectos con las citoquininas: cultivo de tejidos.



Activación del cámbium vascular

- El AIA induce la formación de xilema.
- Efectos del AIA junto con las giberelinas.



Crecimiento de la raíz: enraizamiento

- En pequeñísimas cantidades estimula el [crecimiento radical](#). En cantidades mayores lo inhibe: desarrollo de raíces laterales.



Crecimiento del fruto

- Promueven los frutos partenocárpicos.
- Las semillas son fuente de auxinas: experiencias con fresas.



Inhibe la abscisión de hojas y frutos

- Previene la abscisión. A bajas concentraciones es antagonista de la acción del etileno. A altas concentraciones estimula la acción del etileno.
 - Usos: cítricos, acebo, ...



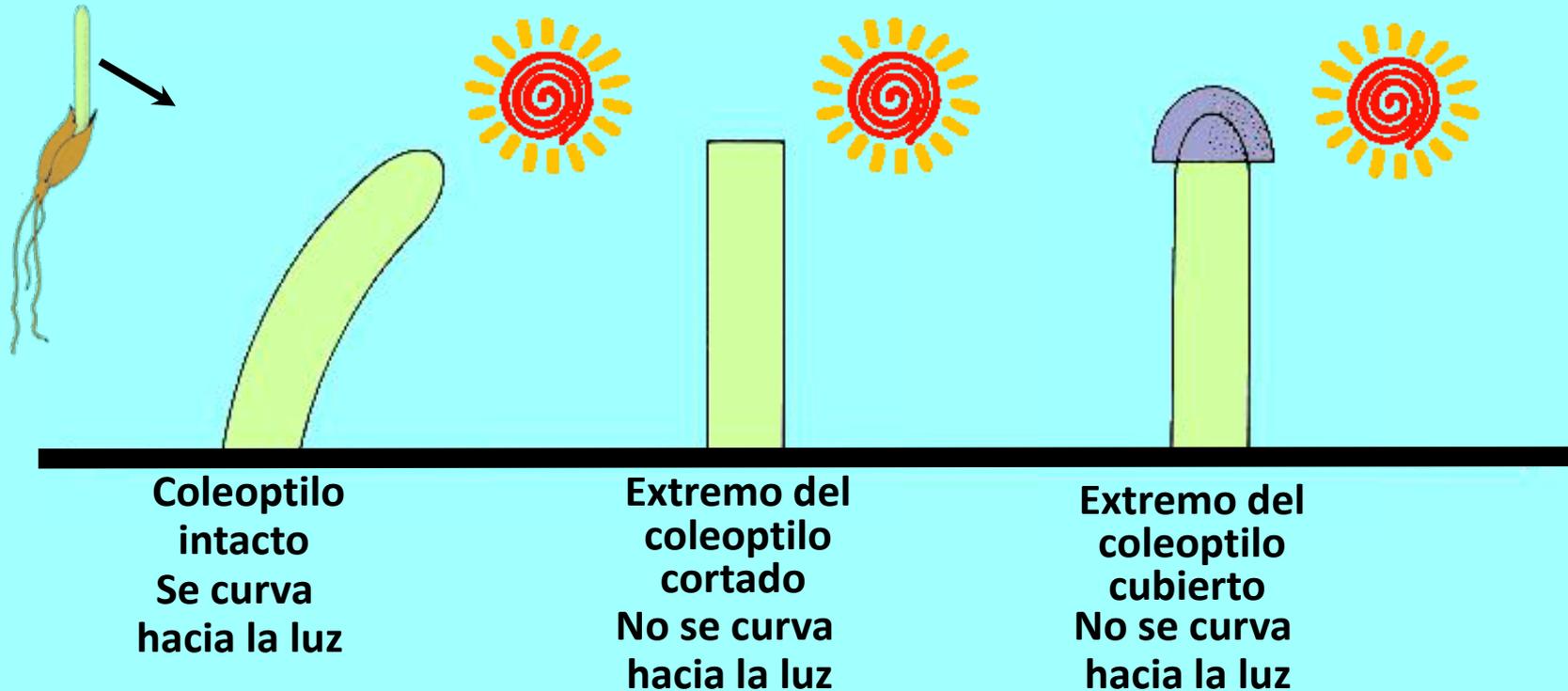
Control de las malas hierbas (herbicida)

- Auxinas sintéticas: 2,4-D, ácido naftalenacético (ANA), etc....

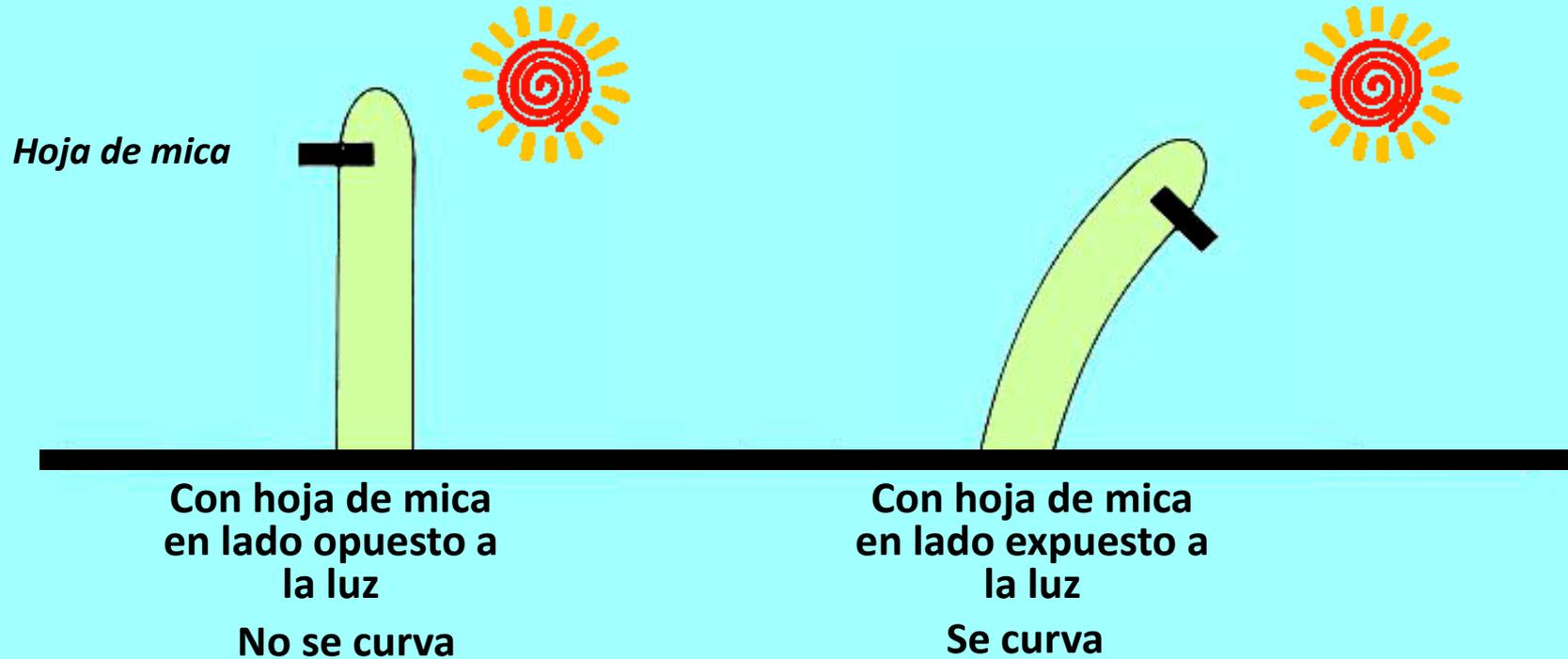


Esquemas y Figuras

Experiencias de Darwin (1880)



Experiencias de Boysen-Jensen (1913) -1



Experiencias de Boysen-Jensen (1913) -2

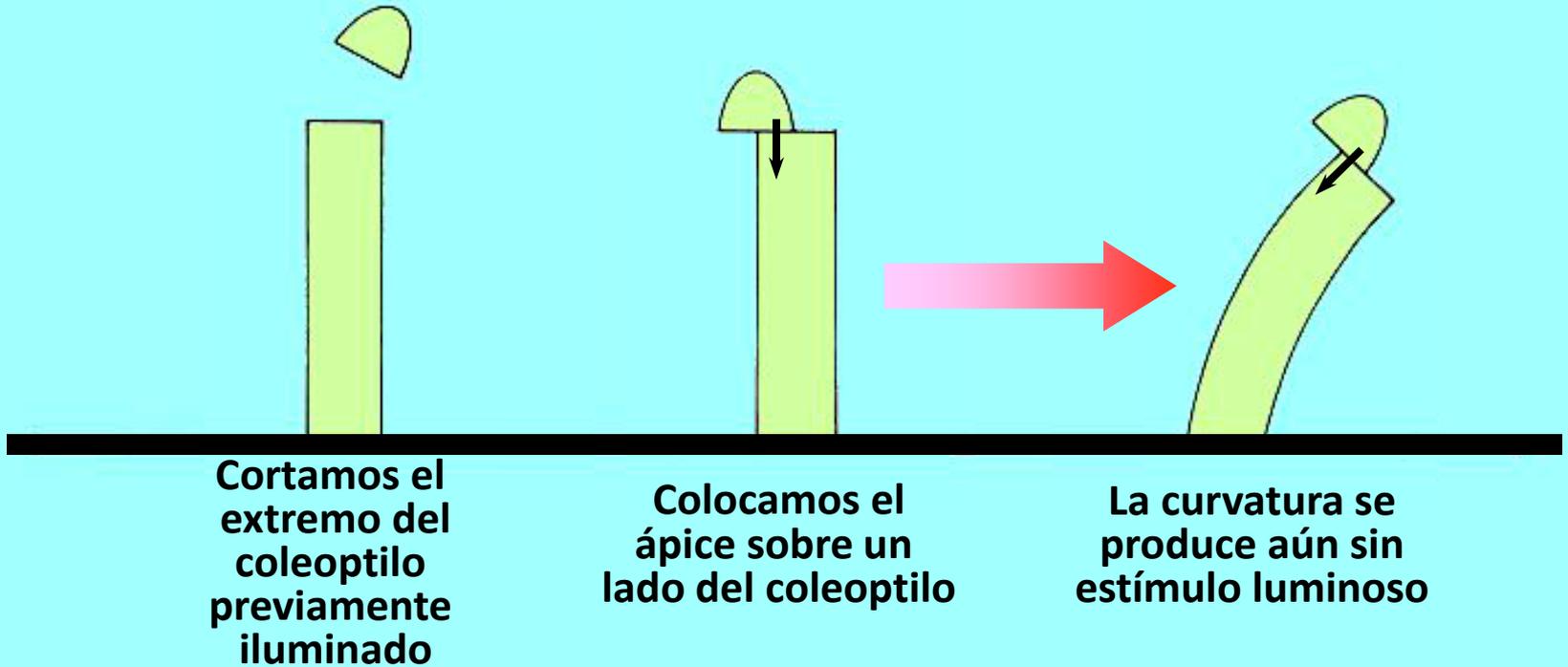


Cortamos el extremo del coleoptilo

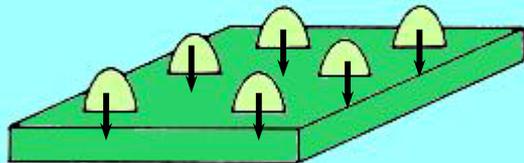
Colocamos un pan de gelatina entre el ápice y el coleoptilo

El coleoptilo se curva normalmente

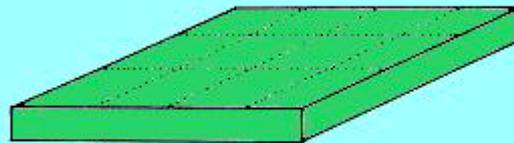
Experiencias de Paal (1919)



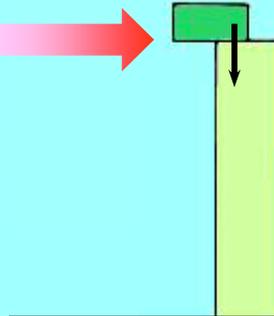
Experiencias de Went (1926)



Colocamos ápices de coleoptilos previamente iluminados sobre agar y los dejamos un tiempo



Desechamos los ápices y cortamos el agar en trozos.

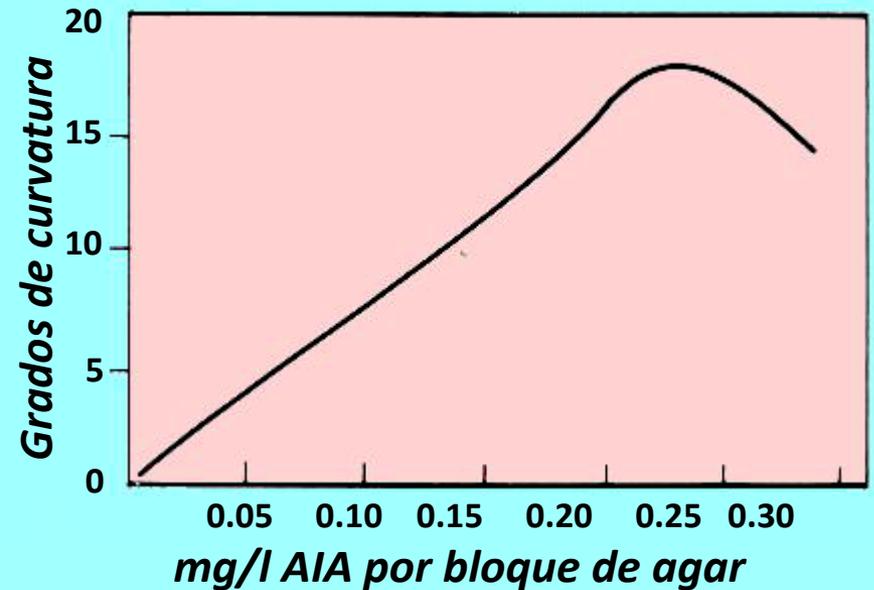
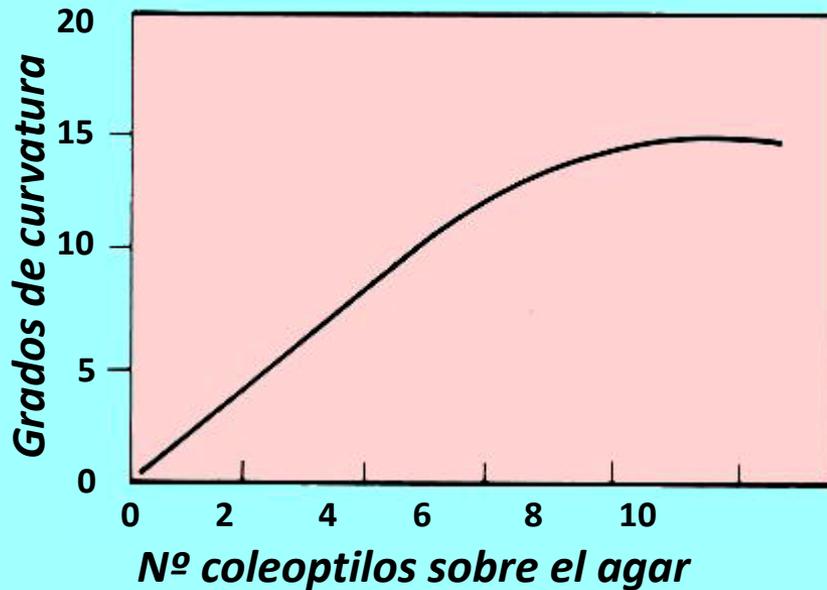


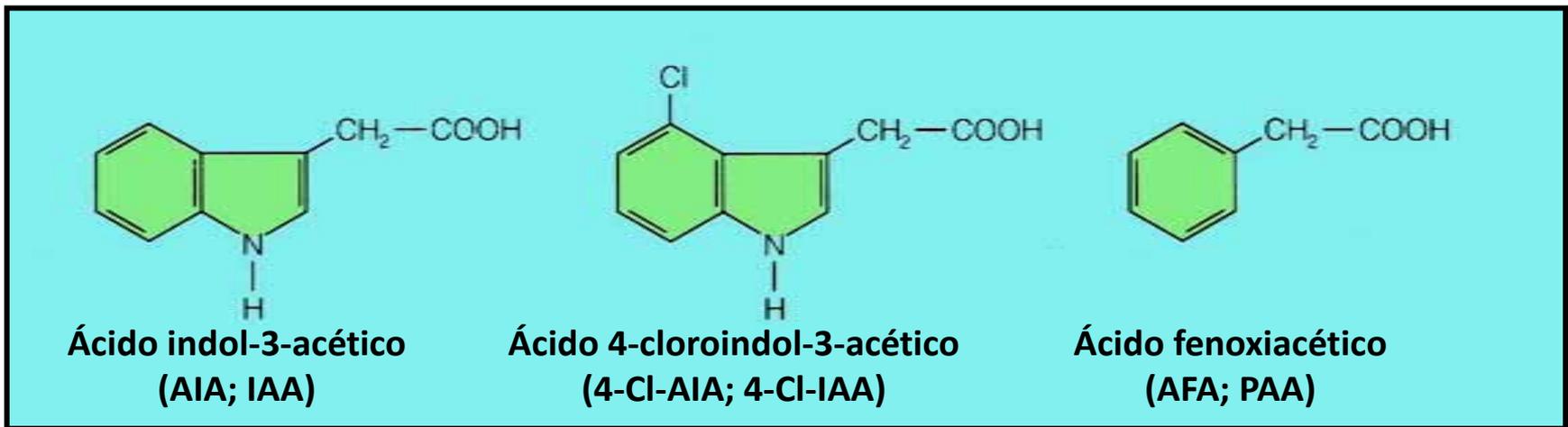
Cada bloque de agar se coloca sobre el extremo de un coleoptilo sin ápice.



El coleoptilo se curva en ausencia de luz. Podemos medir el ángulo de curvatura.

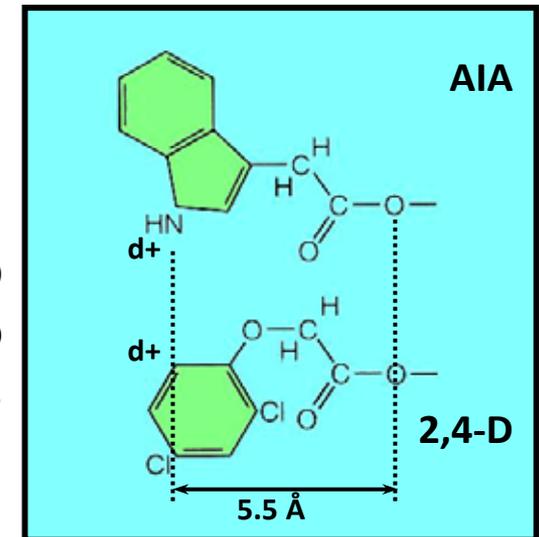
Experiencias de Went (1926)

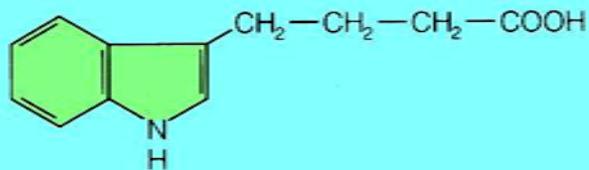




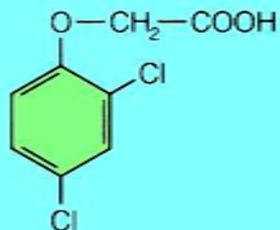
Estructura de algunas auxinas naturales. Aunque el ácido **indol-3-acético (AIA)** se encuentra en todas las plantas, hay otros compuestos en las mismas que tienen también actividad auxínica. El guisante, por ejemplo, contiene ácido **4-cloroindol-3-acético**. Otros compuestos que no son indoles, como el **ácido fenoxiacético (AFA)**, también poseen actividad auxínica.

Las formas disociadas del AIA y de la auxina sintética 2,4-D muestran las cargas negativas presentes sobre el grupo carboxilo y la cargas positivas sobre el anillo, separadas entre si 5.5 Å.

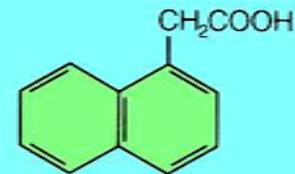




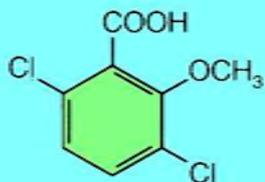
**Ácido indol-3-butírico
(AIB; IBA)**



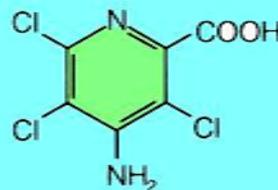
**Ácido 2,4-Diclorofenoxiacético
(2,4-D)**



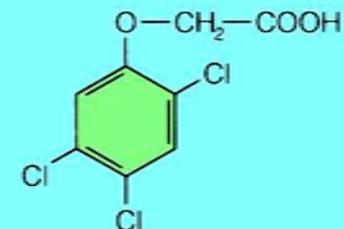
**Ácido α -Naftalenacético
(ANA; α -NAA)**



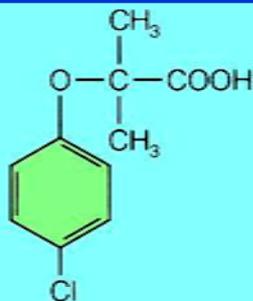
**Ácido 2-Metoxi-3,6-diclorobenzoico
(Dicamba)**



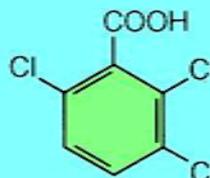
**Ácido 4 Amino-3,5,6-
tricloropicolínico
(Tordon o Picloram)**



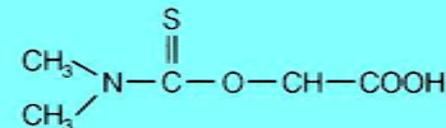
**Ácido 2,4,5-Triclorofenoxiacético
(2,4,5-T)**



**Ácido α -(*p*-Clorofenoxi)isobutírico
(PCIB, una antiauxina)**



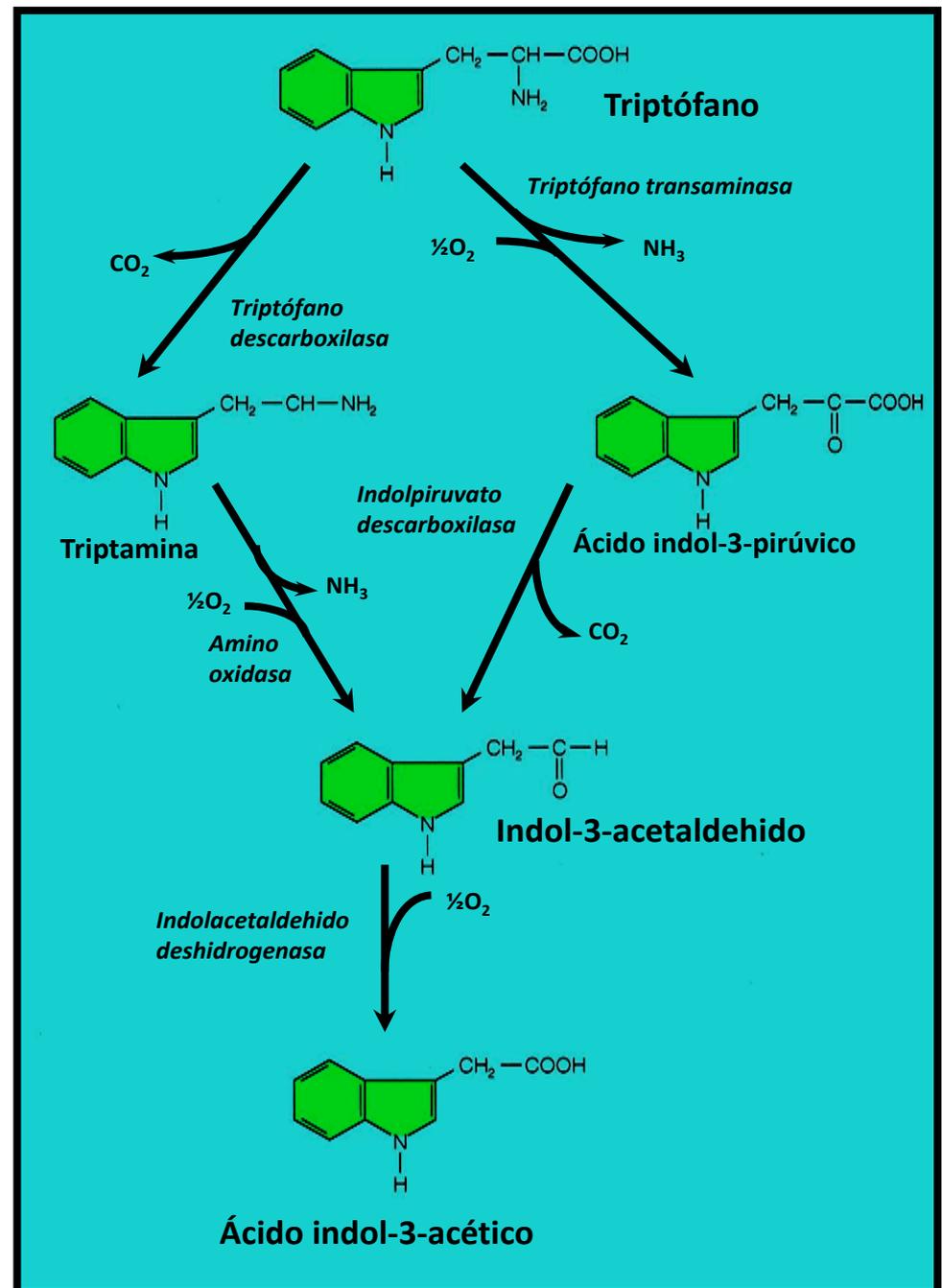
Ácido 2,3,6-Triclorobenzoico

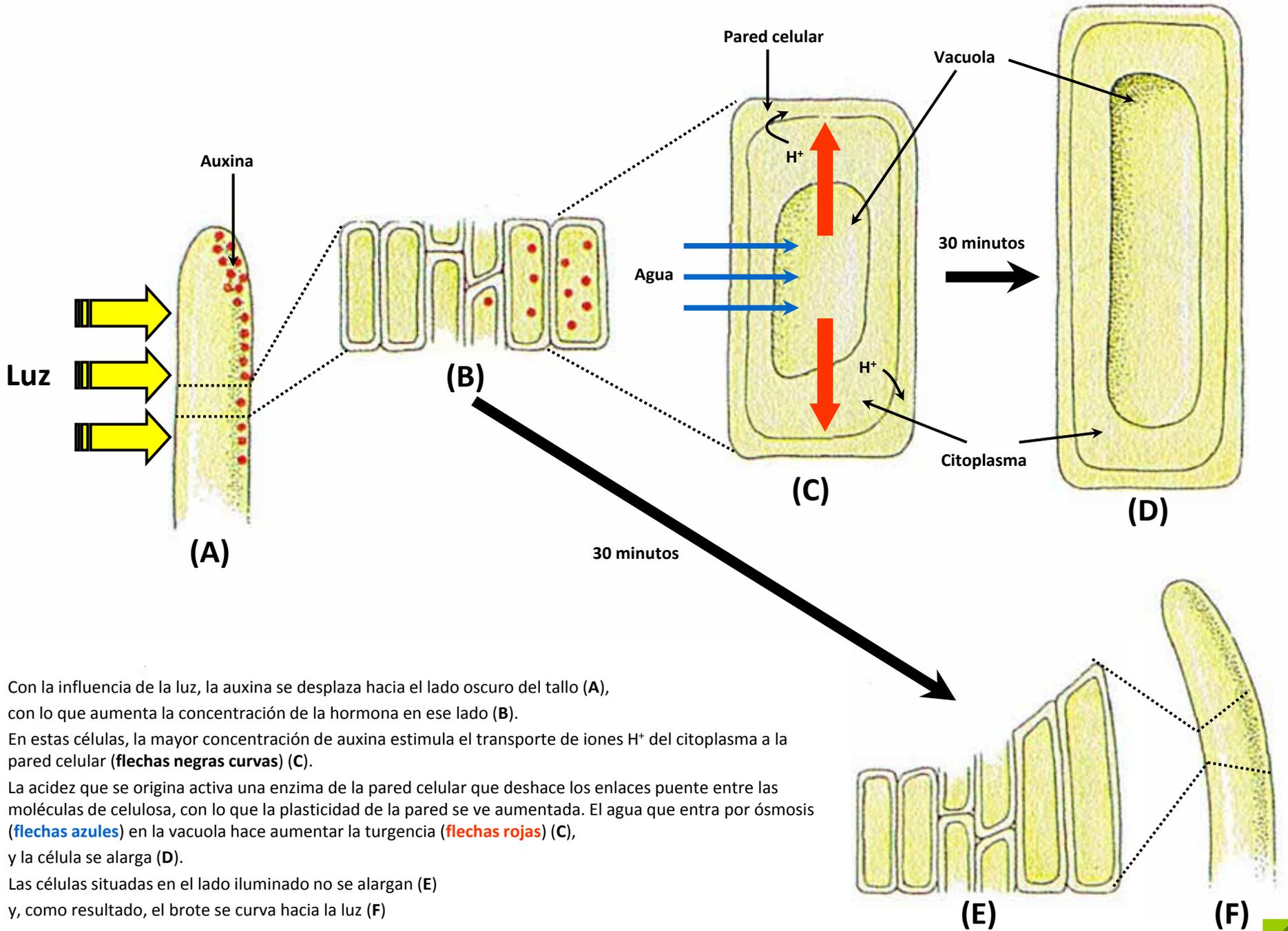


**Ácido N,N-Dimetiltil
tiocarbamato**

Rutas Biosintéticas del AIA

Rutas metabólicas de biosíntesis del AIA a partir del triptófano. Hay al menos dos rutas metabólicas en las plantas en las que el aminoácido triptófano se convierte en AIA. Cada ruta conduce por separado al **indol-3-acetaldehído**, el presumible compuesto precursor inmediato del AIA.





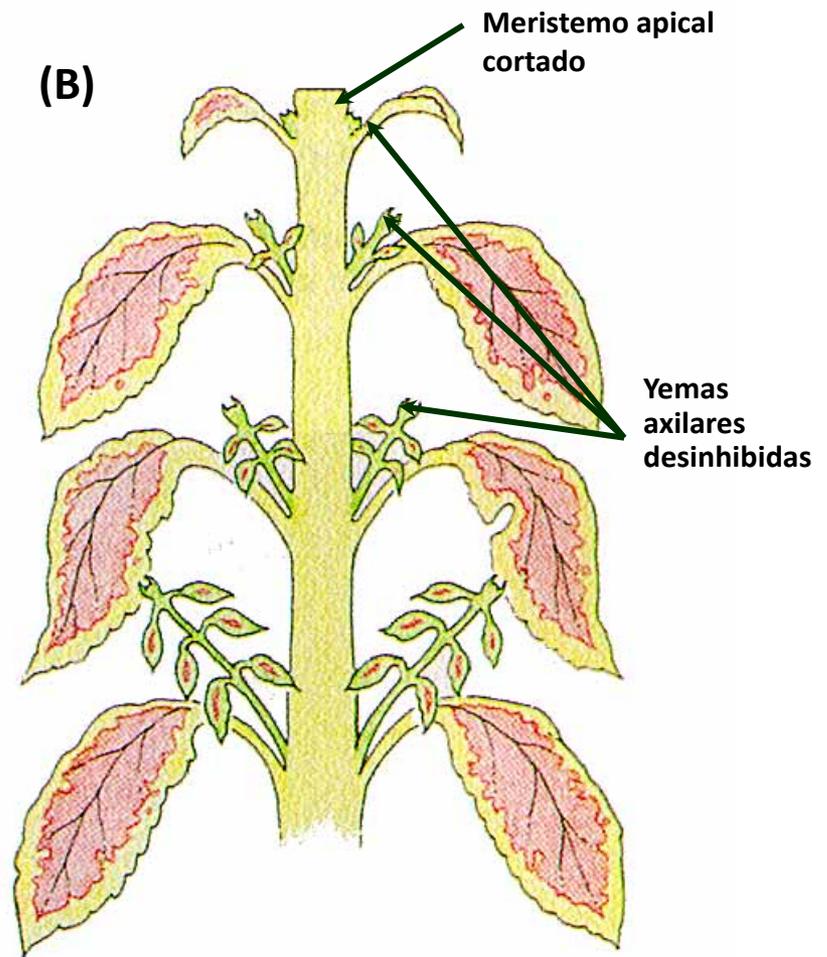
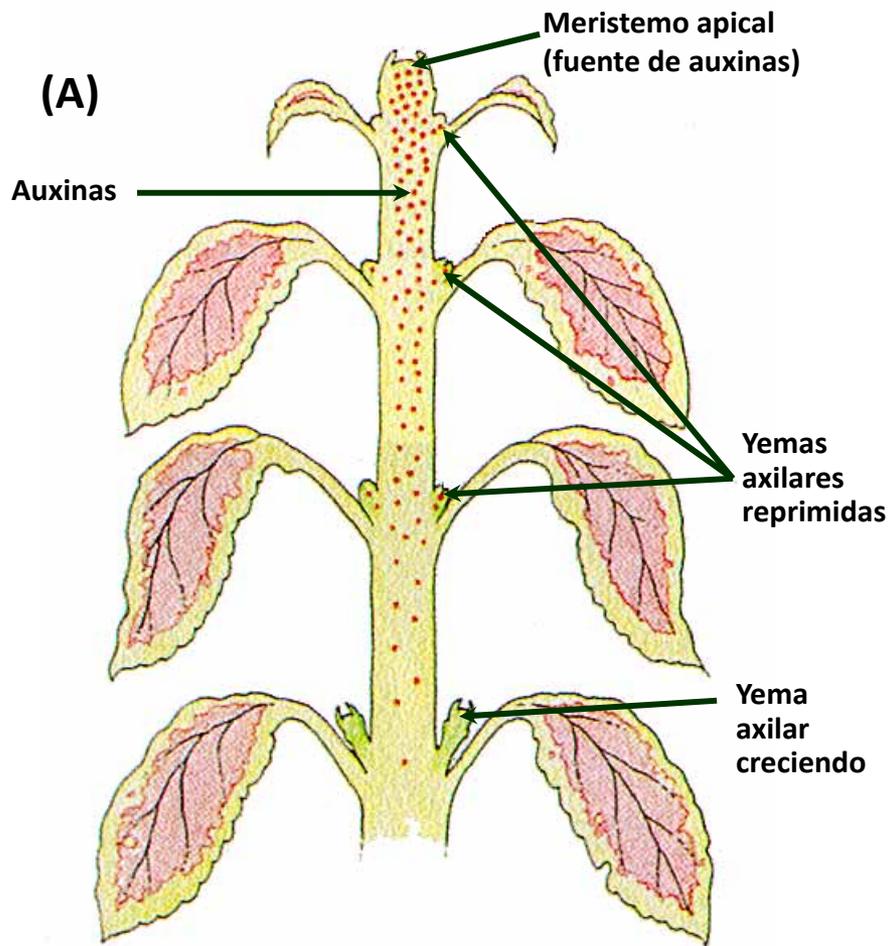
Con la influencia de la luz, la auxina se desplaza hacia el lado oscuro del tallo (A), con lo que aumenta la concentración de la hormona en ese lado (B).

En estas células, la mayor concentración de auxina estimula el transporte de iones H^+ del citoplasma a la pared celular (flechas negras curvas) (C).

La acidez que se origina activa una enzima de la pared celular que deshace los enlaces puente entre las moléculas de celulosa, con lo que la plasticidad de la pared se ve aumentada. El agua que entra por ósmosis (flechas azules) en la vacuola hace aumentar la turgencia (flechas rojas) (C), y la célula se alarga (D).

Las células situadas en el lado iluminado no se alargan (E) y, como resultado, el brote se curva hacia la luz (F)





Dominancia apical en *Coleus*. (A) La auxina que se produce en el meristemo apical del tallo se difunde hacia abajo, reprimiendo el crecimiento de las yemas axilares. Cuanto mayor sea la distancia entre el ápice y la yema axilar, menor será la concentración de auxina, y menor será la represión sobre la yema. (B) Si el meristemo apical se corta, eliminándose la producción de auxina, las yemas axilares quedan desinhibidas y comienzan a crecer vigorosamente.



Esquema hipotético del transporte polar de las auxinas.

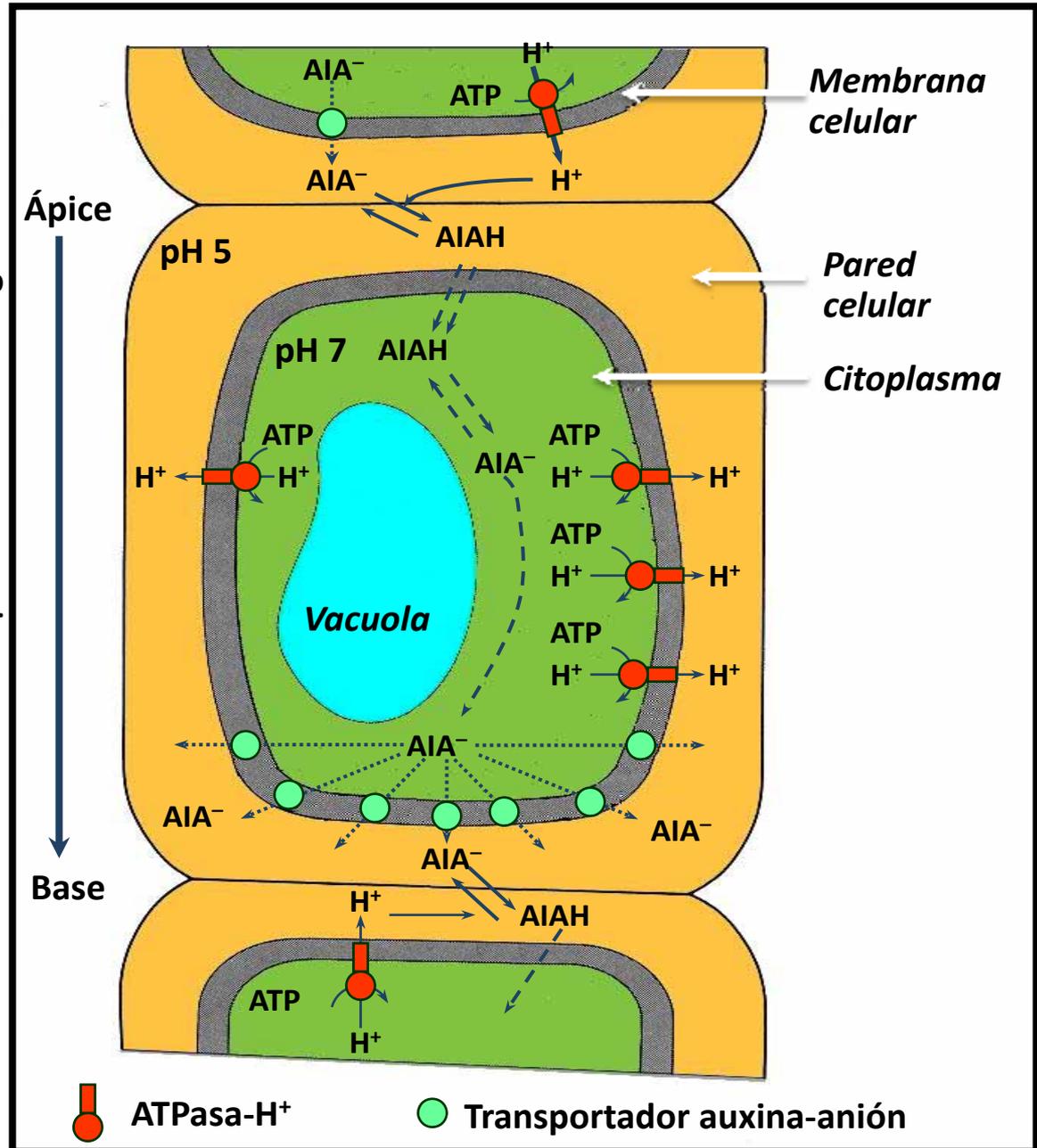
El modelo quimiosmótico del transporte polar de las auxinas se muestra en una columna de células situadas en un ápice de coleoptilo.

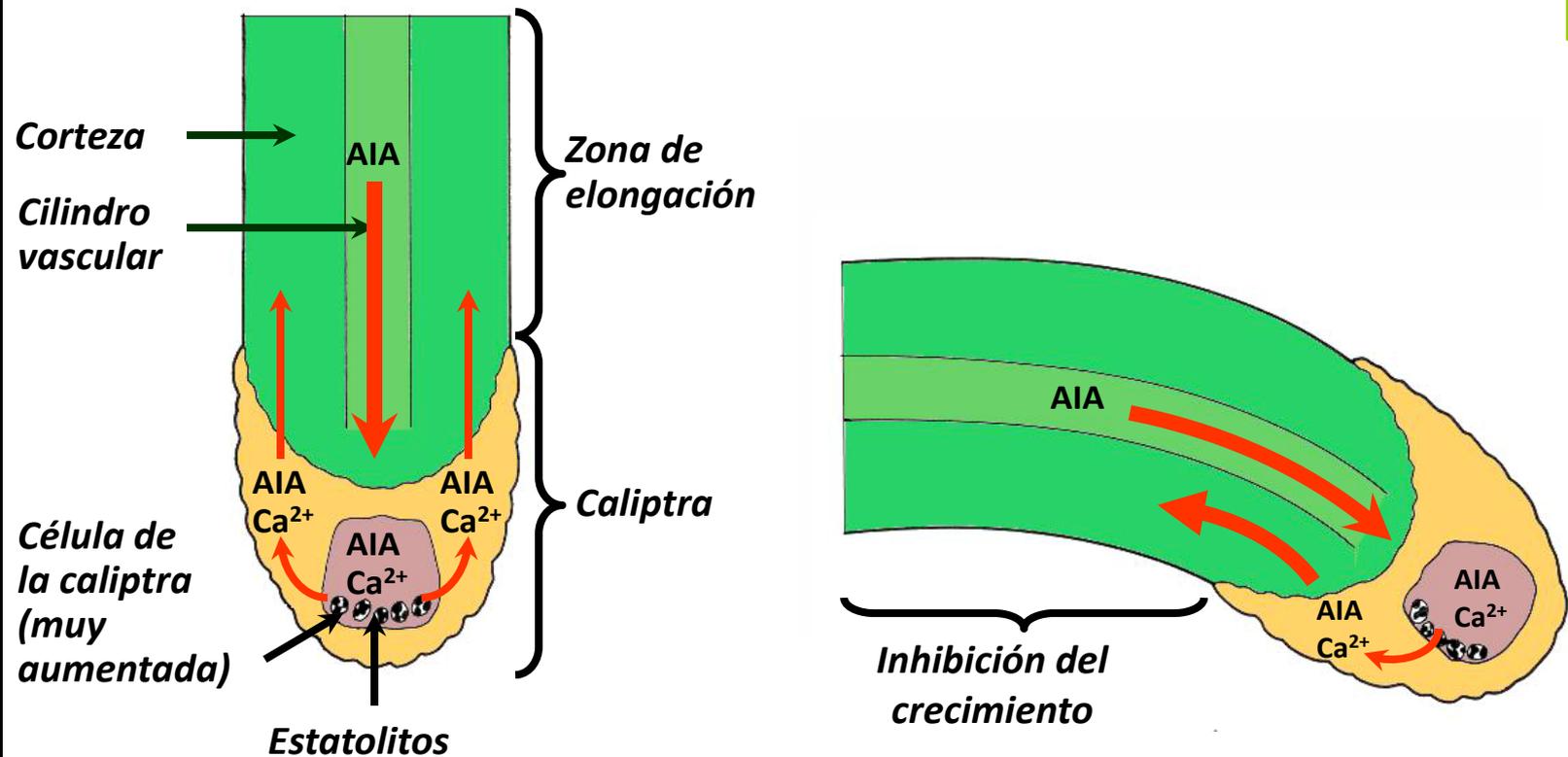
Las bombas ATPasa- H^+ usan la energía de los ATP para mantener un adecuado gradiente de protones y de pH entre el citoplasma y la pared celular.

Esto conduce a que la pared tenga un pH ácido (5) y por tanto un exceso de cargas positivas.

Ambos factores juegan un papel fundamental en el modelo quimiosmótico del transporte auxínico. Observar como los transportadores de AIA^- se encuentran siempre en la zona polar basal de las células.

- - - - -> Difusión.
- > Bombeo activo
-> Difusión facilitada

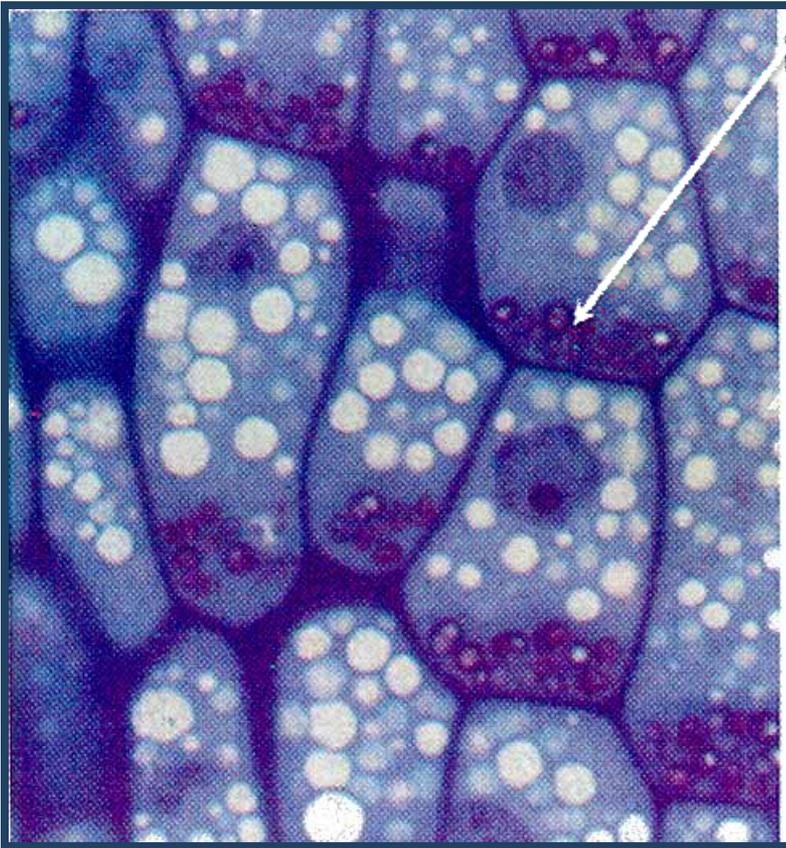




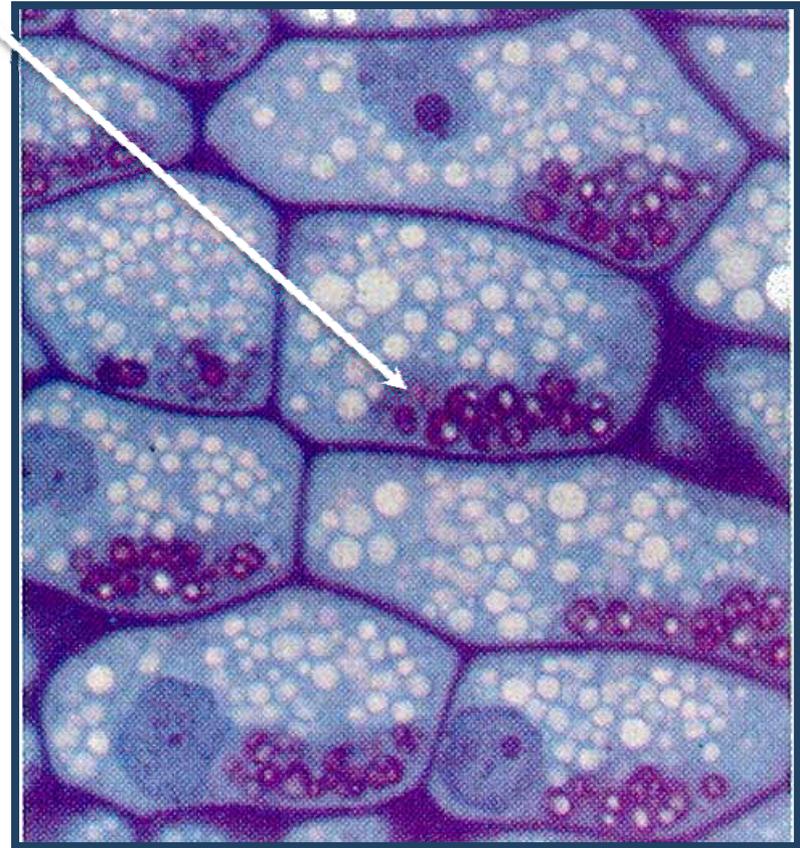
Modelo propuesto para la redistribución del calcio y de la auxina durante el gravitropismo en las raíces. El AIA es sintetizado en el tallo y transportado a la raíz vía sistema vascular. Cuando la raíz está vertical, los estatolitos se depositan en la parte basal de las células de la caliptra. Los iones Ca^{2+} y la auxina (que se transportan acropetalamente en la raíz) se reparten por igual dentro de la corteza en la zona de elongación, promoviendo la elongación. Cuando la raíz está horizontal, los estatolitos se caen por su peso hacia las paredes laterales de las células, lo que dispara el transporte de Ca^{2+} y la auxina hacia un sola mitad de la cofia. La llegada a la corteza de concentraciones muy elevadas de auxina produce la inhibición del crecimiento y provoca la curvatura de la raíz.



Estatolitos



(A)

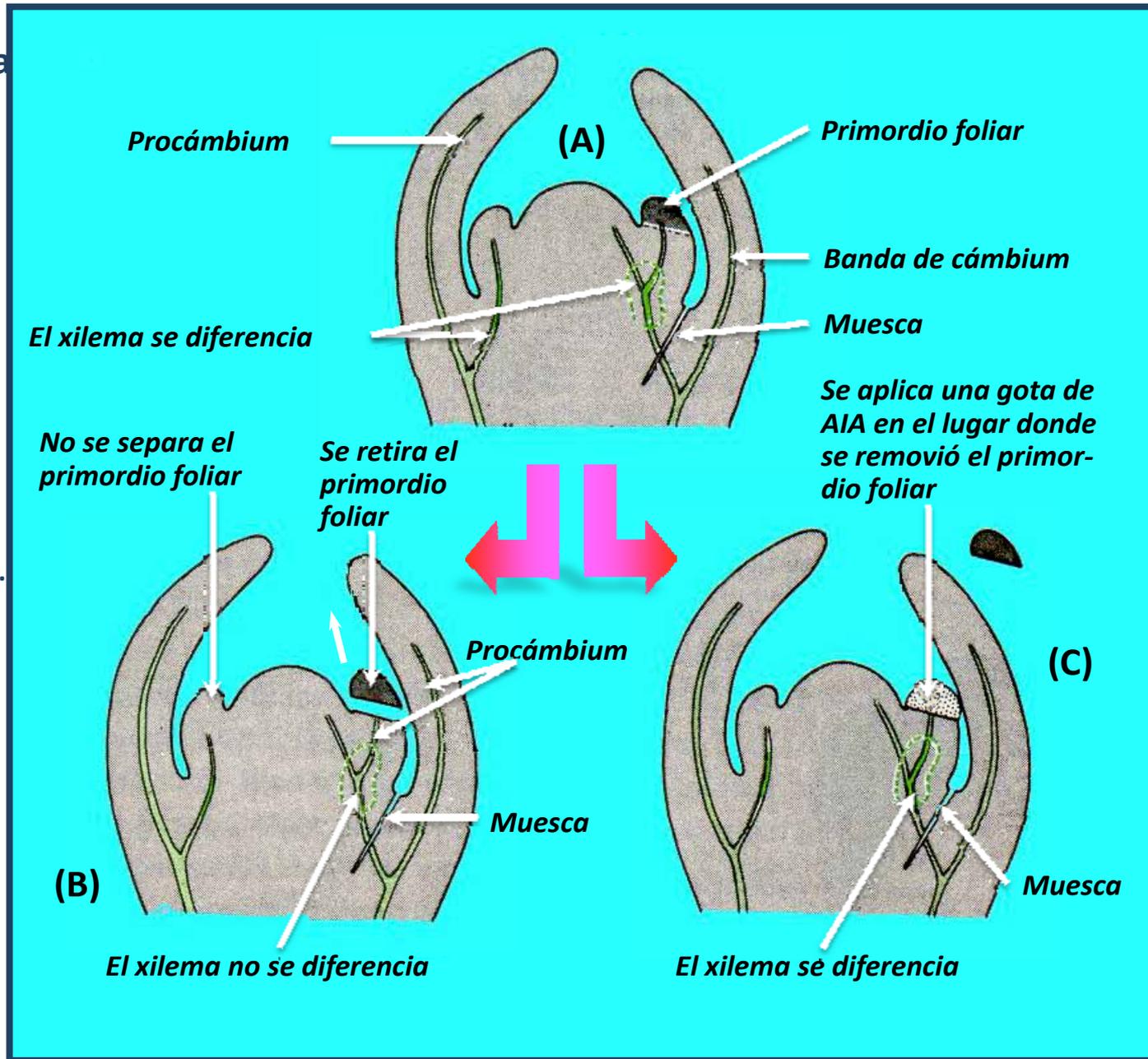


(B)

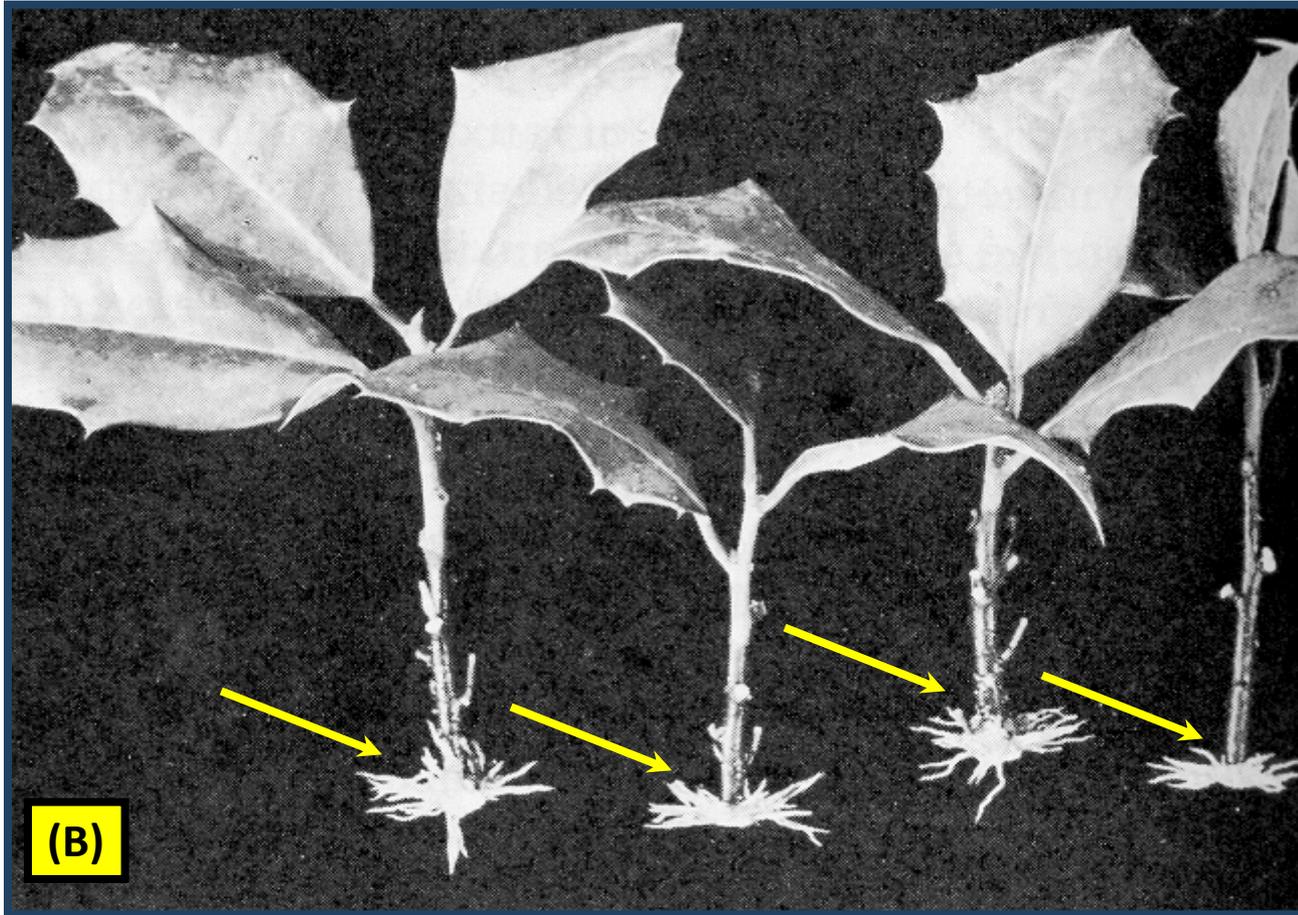
Células centrales de la caliptra. (A) En su orientación vertical normal.

(B) Después de que la raíz se haya colocado horizontalmente. Los cuerpos globulares oscuros que contienen almidón son los amiloplastos (estanolitos). Se observa como su posición en la célula cambia al variar la posición de la raíz.

Esquema de un experimento que muestra cómo un primordio foliar proporciona un estímulo para la diferenciación del xilema en el procámbium. La muesca que separa el procámbium aísla el tejido de interés por encima de él. **(A)** control con un primordio foliar intacto. **(B)** Se ha retirado el primordio foliar. **(C)** Se ha retirado el primordio foliar y se ha reemplazado con una gota de auxina. La auxina es el sustituto efectivo del estímulo del primordio.



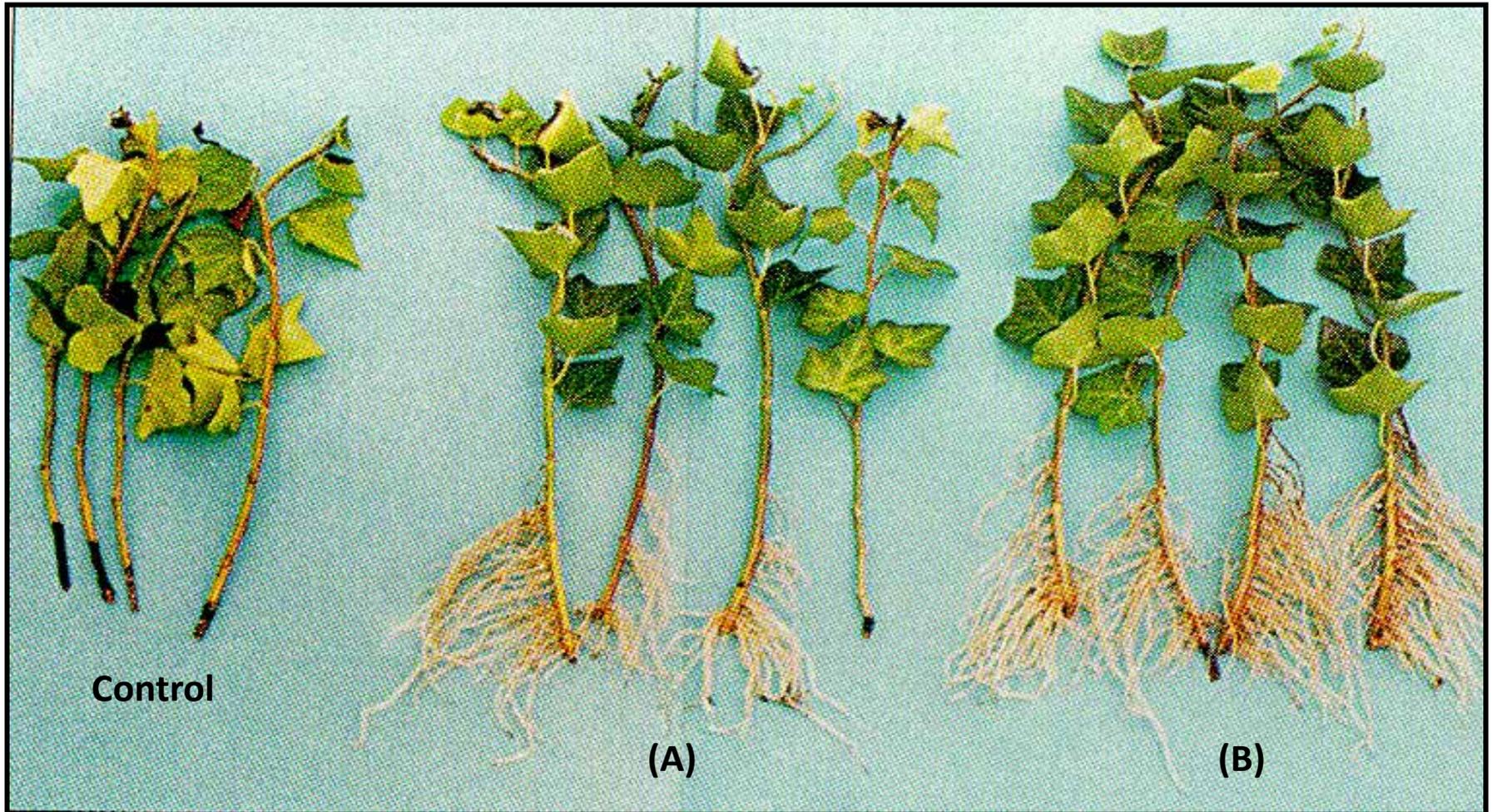
Enraizamiento de esquejes



Esquejes de Flor de Pascua. (A) Esquejes cortados después de 21 días; no han desarrollado raíces.

(B) Esquejes cortados después de 21 días; que han sido tratados con auxinas. Han desarrollado raíces adventicias.

Enraizamiento de esquejes



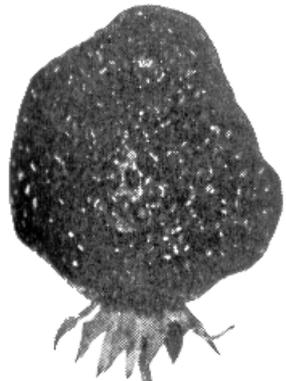
Esquejes de flor de Pascua (*Ilex opaca*). Desarrollan fácilmente raíces en el extremo de los tallos cuando sus bases son tratadas con auxinas. El extremo de los tallos se sumerge durante 5 segundos en soluciones conteniendo 50% de etanol y 0.01% (A) y 0.5% (B) de **ácido naftalénacético, NAA** (una auxina sintética). Luego fueron cultivados en vermiculita húmeda durante 2 semanas.

Enraizamiento de esquejes



El pecíolo de la hoja de saintpaula (izquierda) se ha colocado en una solución de auxina sintética durante 10 días antes de tomar la fotografía. El pecíolo de la hoja de la derecha ha estado en agua pura. Se observa el crecimiento de raíces adventicias en el pecíolo de la izquierda. Los jardineros emplean preparados de hormonas inductoras de enraizamiento que contienen auxinas para estimular el desarrollo de las raíces.

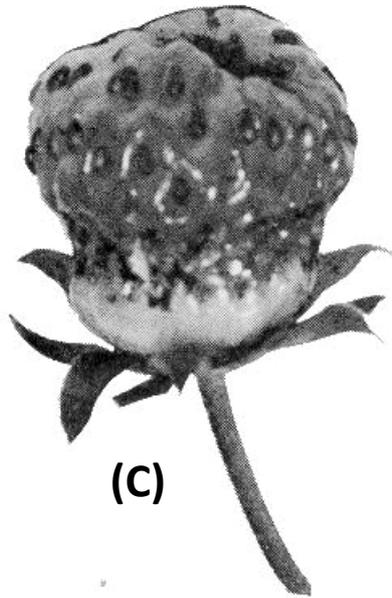
Desarrollo de los frutos



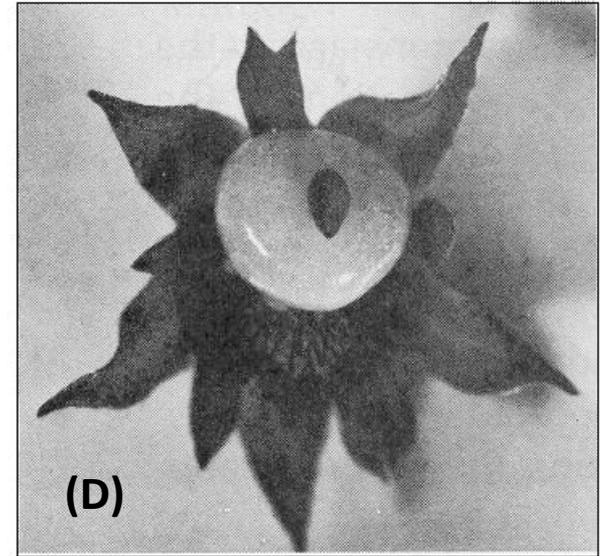
(A)



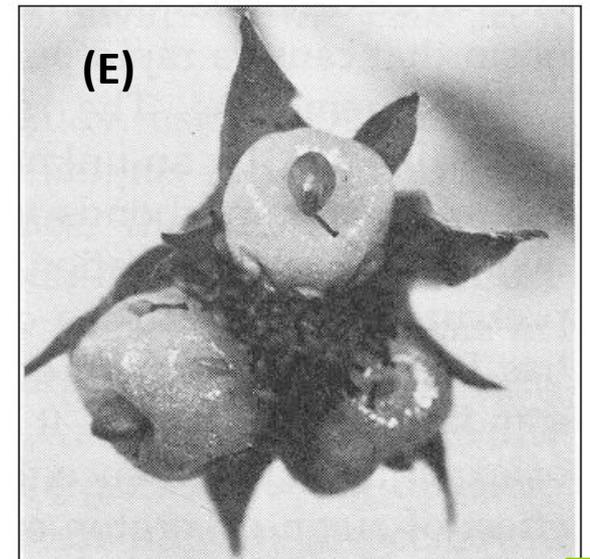
(B)



(C)



(D)



(E)

(A) Fresa normal (*Fragaria ananassa*).

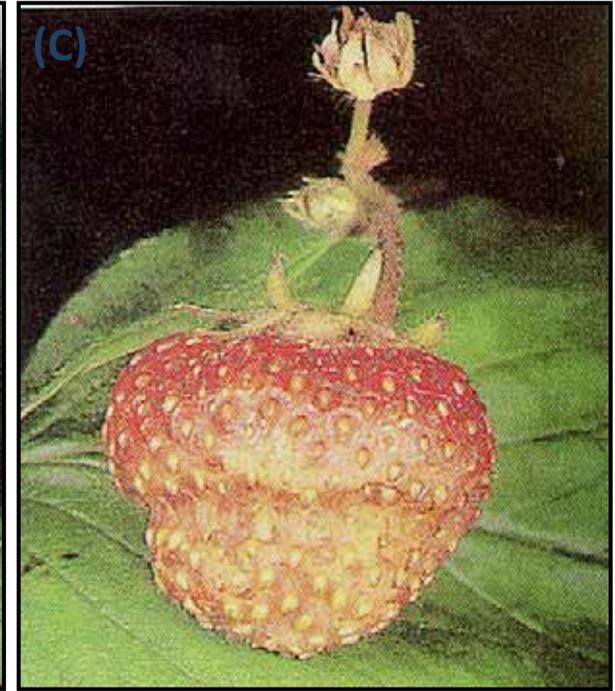
(B) Fresa a la que se le han retirado todas las semillas (**aquenos**). No se desarrolla el receptáculo carnoso.

(C) Fresa a la que se le han quitado los aquenos excepto en tres hileras. El receptáculo se desarrolla sólo en esas zonas.

(D) Crecimiento inducido por un solo aquenio.

(E) Crecimiento inducido por tres aquenos. Si a una fresa sin aquenos se le aplica auxina exógena el receptáculo se desarrolla normalmente.

Desarrollo de los frutos

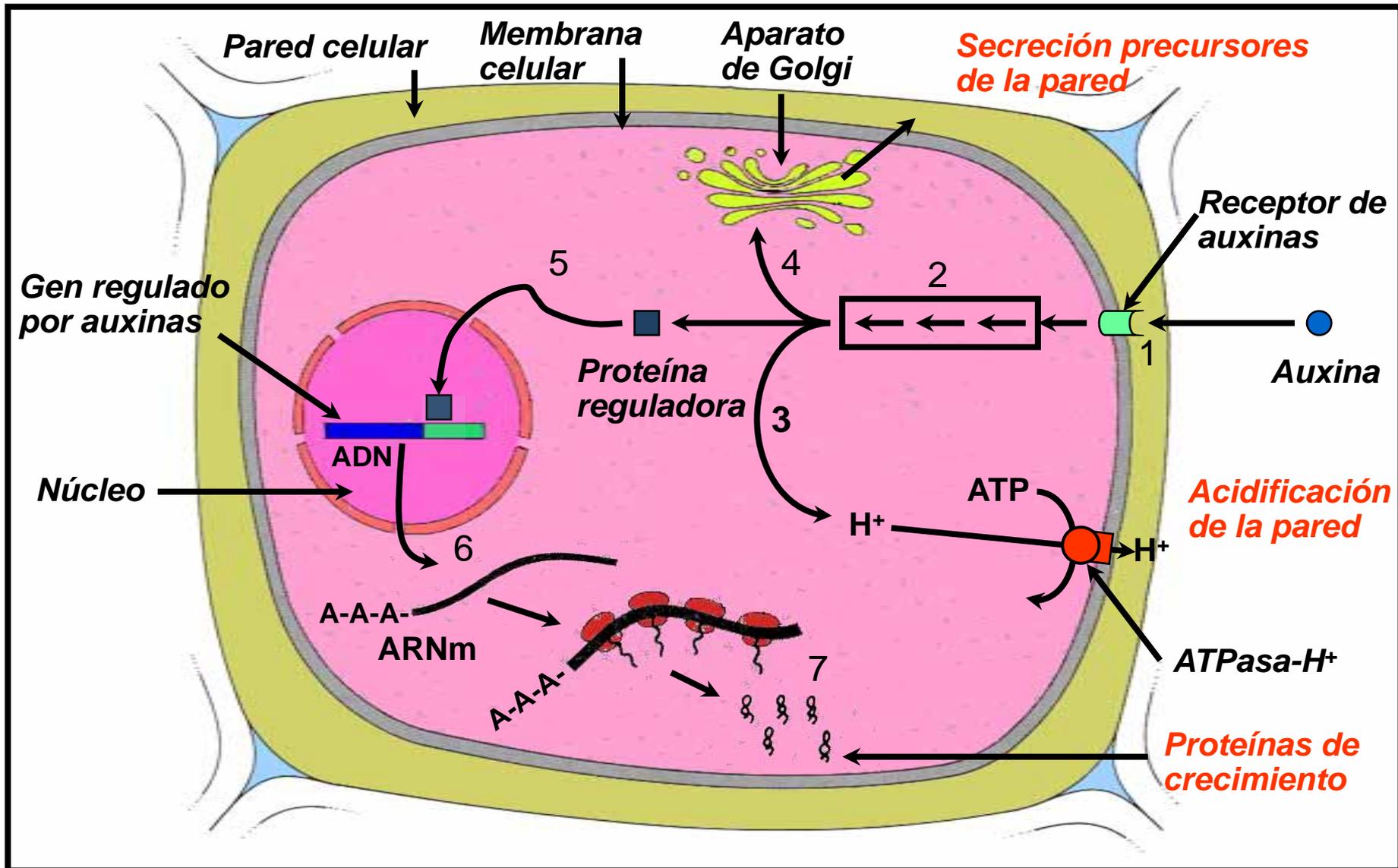


La auxina producida por el embrión que se está formando promueve la maduración de las paredes del ovario y el desarrollo de los frutos. (A) Fresa normal.

(B) Fresa en la que se han extraído todos los frutos (aquenios). Si se hubiera aplicado una pasta conteniendo auxinas, el crecimiento de la fresa hubiera sido normal.

(C) Fresa a la que se han extraído una tira horizontal de aquenios.

Mecanismo de acción de las auxinas



TIRI
(Auxin
Receptor)

Waiting for
the signal...

In the absence of auxin,
plant growth genes are in a
repressed, or "off" state.

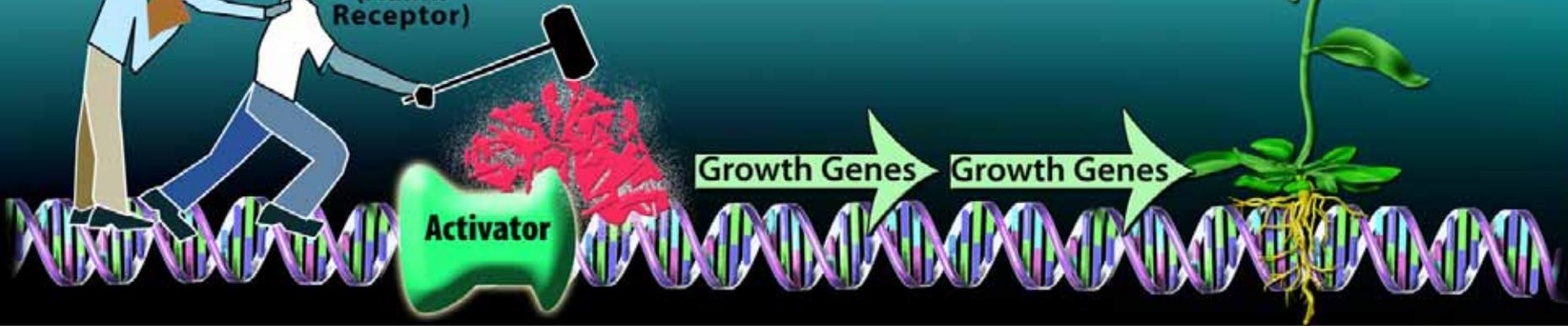


Auxin
(growth
hormone)

Grow! Destroy the
repressor

TIRI
(Auxin
Receptor)

In the presence of auxin, the
repressor is destroyed, and
growth genes are turned on.



Auxin and Auxinic Herbicide Mechanisms of Action

Developed by:

Jeremy Steele

Smitha Kasinadhuni

Loading: **AUXIN**

Content direction and edits provided by:

Tracy Sterling - New Mexico State University

Deana Namuth - University of Nebraska-Lincoln



Copyright protected by the University of Nebraska, 2002.



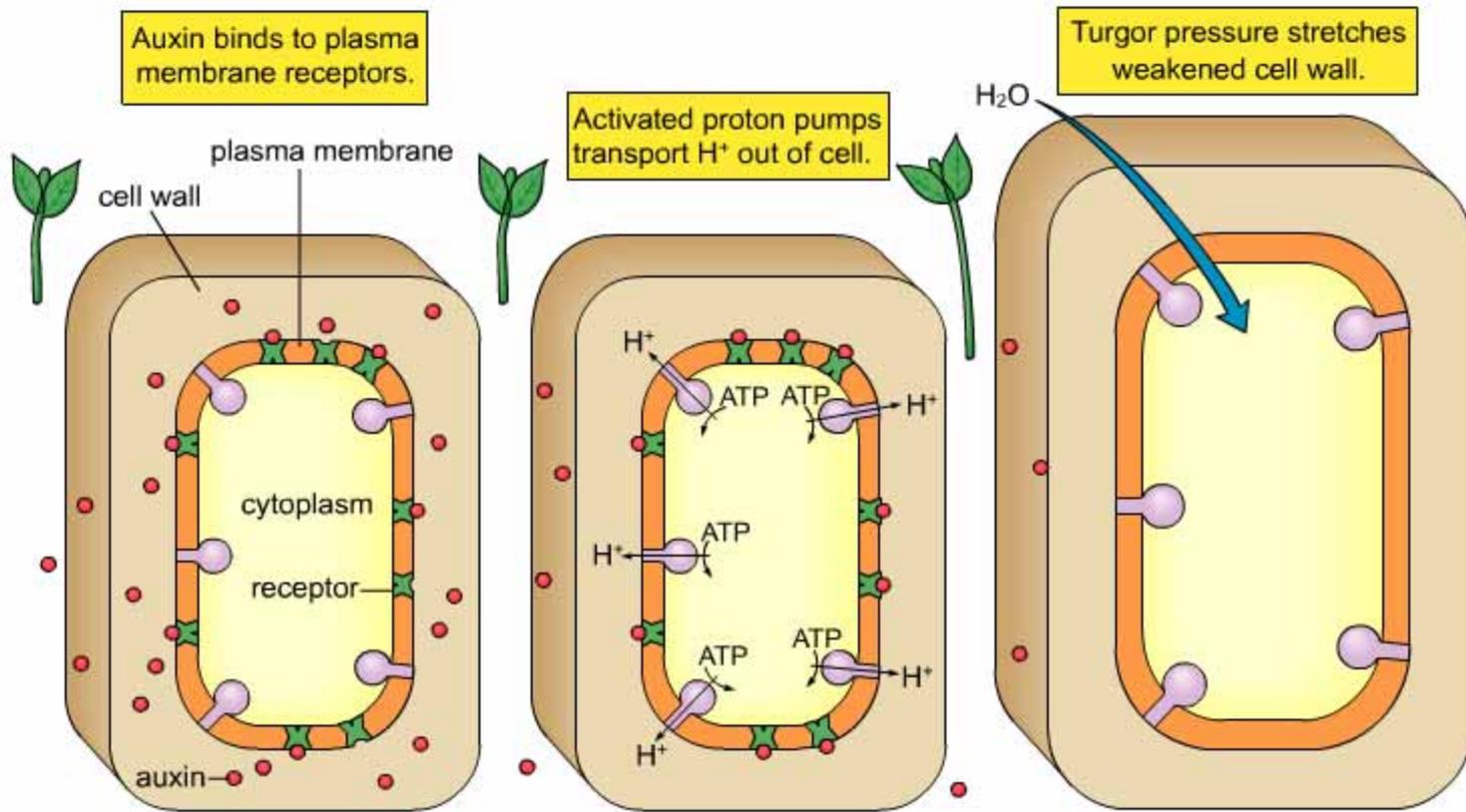
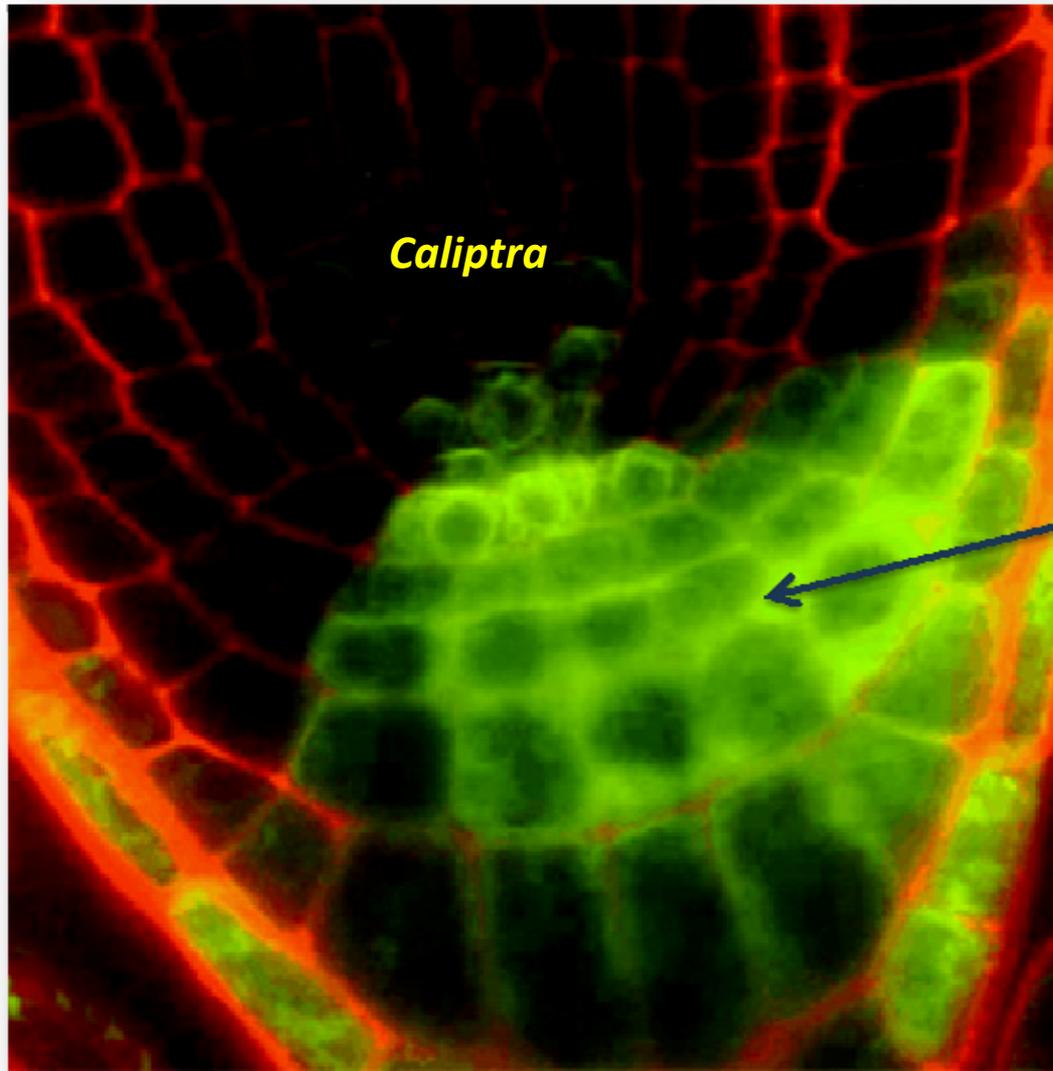


Figure 38.09
Auxin mode of action.







Iconos

-  Diapositiva siguiente.
-  Diapositiva anterior.
-  Volver a la última diapositiva mostrada.
-  Ir a la última diapositiva del tema actual.
-  Ir a la primera diapositiva del tema actual.
-  Ir al índice general de temas de la Parte I y II
-  Ir al índice general del tema actual.
-  Información.
-  Activar video.
-  Hacer click con el ratón para continuar.
-  Hacer click sobre el icono para ver aumentado.
-  Ver fotografía.

