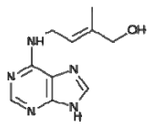
Fisiología Vegetal

Citoquininas



Dra. Karen Peña-Rojas

Citoquininas (CKs)

- Haberlant (1913): Descubrió sustancia que promovía la división celular.
- Miller y Lethan (1964): Descubren la Zeatina en granos de maíz.
- Posteriormente se descubre la Adenina en extracto de levadura y después la Purina.
- La biosíntesis de CKs está asociada con regiones con actividad meristemática (meristemos apicales y cámbium). Pero los ápices radicales serían los más importante.
- Sus concentraciones en los diferentes tejidos vegetales son muy inferiores al resto de las otras fitohormonas.
- Actualmente se emplean especialmente en la tecnología de cultivo *in vitro*.
- Muchos efectos fisiológicos de las citoquininas pueden explicarse por su interacción con las auxinas.

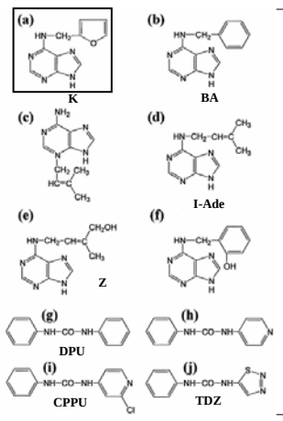
Las CKs naturales pueden definirse estructuralmente como moléculas derivadas de la adenina con una cadena lateral unida a un grupo amino 6 del anillo purínico.

La cadena lateral puede ser de naturaleza isoprenoide o aromática.

Dentro de las citoquininas isoprenoides se encuentra la zeatina, la isopenteniladenina y la dihidrozeatina.

Entre las aromáticas se incluye la benciladenina, la kinetina y la topolina.

También se consideran CKs ciertos compuestos sintéticos derivados de la difenilurea como el tidiazuron.



Algunas moléculas con actividad como CKs:

(a) kinetina (K)

(b) Benciladenina (BA) o (BAP)

(d) isopentenil-Ade (I-Ade o 2-iP)

(e) *trans* – zeatin (Z o *t*Z)

(g) Difenilurea (DPU)

(i) forchlorfenuron (CPPU)

(j) thidiazuron (TDZ)

Biosíntesis y Transporte

Las CKs se sintetizan en cualquier tejido vegetal; tallos, raíces, hojas, flores, frutos o semillas, aunque principalmente o mayoritariamente en las raíces.

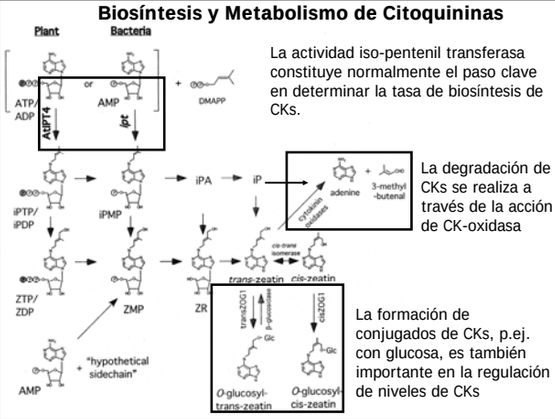
Generalmente hay mayor síntesis de CKs en sitios y momentos en los que ocurre un proceso de diferenciación celular o intensa división celular.

La aplicación externa de CKs a un tejido, que necesite la hormona, promueve en el tejido un mecanismo inductor de síntesis de CKs, pudiendo ejercer su función en otros tejidos al que fue aplicado.

La CKs producidas por las plantas puede transportarse hacia arriba o abajo del sitio de síntesis.

Se puede mover por el floema y xilema.

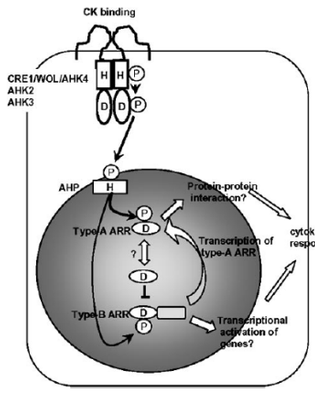
Biosíntesis y Metabolismo de Citoquininas



La actividad iso-pentenil transferasa constituye normalmente el paso clave en determinar la tasa de biosíntesis de CKs.

La degradación de CKs se realiza a través de la acción de CK-oxidasa

La formación de conjugados de CKs, p.ej. con glucosa, es también importante en la regulación de niveles de CKs



Esquema de percepción y transducción de señal de citoquininas en *Arabidopsis thaliana*

CRE1/WOL/AHK4, AHK2 y AHK3, son receptores de CKs, inician señalización hormonal, mediante transferencia de fosfato a proteínas que transducen la señal desde el citoplasma al núcleo para activar expresión génica.

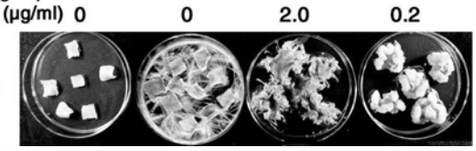
- Estimulación de la pérdida de agua por transpiración.
- Retraso de la senescencia de las hojas.
- Activación del crecimiento de las yemas laterales.
- Eliminación de la dormáncia que presentan las yemas y semillas de algunas especies.
- Inducción de la partenocarpia en algunos frutos (formación de frutos sin fecundación previa y son frutos sin semillas).
- Reducen la formación de raíces.
- Pueden sustituir requerimientos luminosos en procesos fisiológicos como la síntesis de pigmentos o el desarrollo de los cloroplastos.
- Regulan la expresión diferencial de genes involucrados en: división celular, fotosíntesis, resistencia a enfermedades, metabolismo de nutrientes y transición floral.

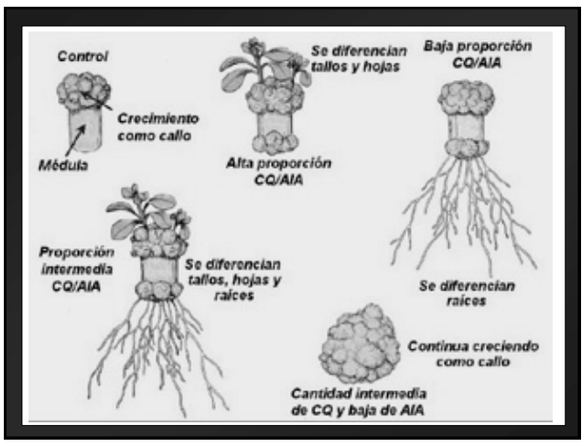
Organógenesis *in vitro* a partir de callos sin diferenciar depende de la proporción CKs:Auxinas

- Alta relación CKs:Auxinas determina preferentemente crecimiento de brotes y escasas raíces.
- Baja relación CKs:Auxinas determina escasos brotes y muchas raíces.
- Relación pareja CKs:Auxinas con altas concentraciones de ambas determina proliferación de callo no-diferenciado.

NAA (µg/ml)	0	0.2	0	2.0
Kinetin (µg/ml)	0	0	2.0	0.2

Vec

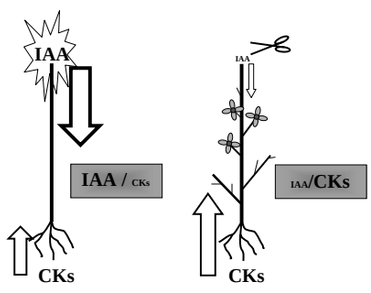




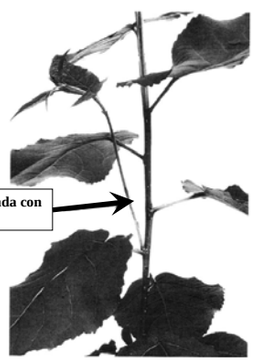
Expresión de transformación de tabaco con gen *ipt* activado mediante promotor ligado a senescencia

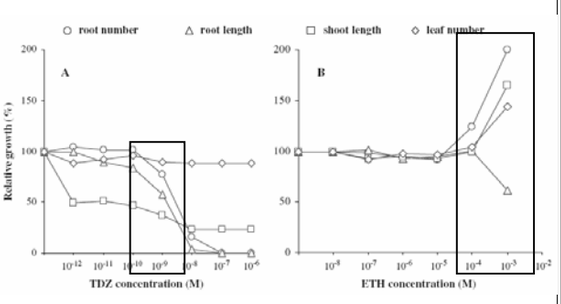
Plantas de tabaco de 20 semanas;

- Izquierda: Plantas transformadas para producir CK en función de senescencia.
- Derecha: Plantas normales



Incremento de ramificación lateral en álamo con aplicación de BA (bencil adenina)





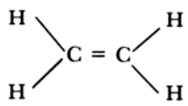
Curvas de dosis respuesta a CKs (a) y Etileno (b) en crasulaceae *Kalanchoe pinnata*

Consideraciones generales sobre CKs

- Las plantas pueden regular los niveles de CKs activas (bases libres), a través de procesos altamente regulados, principalmente mediante biosíntesis, degradación y conjugación.
- Las CKs cumplen papeles fundamentales en diversos procesos en plantas, especialmente promoviendo la división celular y crecimiento en parte aérea, e inhibiendo senescencia y crecimiento de raíces.
- Las CKs constituyen importantes reguladores de crecimiento de importancia económica, mientras su utilización biotecnológica presenta un gran potencial en producción agrícola y forestal.

Fisiología Vegetal

Etileno



Dra. Karen Peña-Rojas

- Neljubow descubre en 1901 la triple respuesta (inhibición de la elongación, engrosamiento y cambio en la orientación del epicotilo) en plantas etioladas de arveja al gas del alumbrado. Pero sólo desde 1960 fue aceptada como hormona vegetal.

- Es el hidrocarburo insaturado mas sencillo y de naturaleza gaseosa. Es muy diferente a las otras hormonas vegetales.

- Autocatalítico (estimula su propia síntesis) en ciertos tejidos (frutos climatéricos los que maduran después de ser cosechados).

- Es producido esencialmente por todas las partes vivas de las plantas superiores. La tasa varía con el órgano y tejido, y su estado de crecimiento y desarrollo.

- Fitohormona que afecta (coordina y/o regula), un amplio espectro de procesos fisiológicos como son la maduración de fruta climatérica, raíces adventicias, senescencia, abscisión, geotropismo, dormancia, floración, entre otros.

- Actividad biológica a muy bajas concentraciones (0,01 µl/l) y su difusión se realiza por los espacios intercelulares.

- Respuesta al estrés, como por ejemplo, el etileno es el efector final que regula la abscisión natural de distintos órganos, mediante la estimulación de las enzimas hidrolíticas de la pared celular.

Etileno

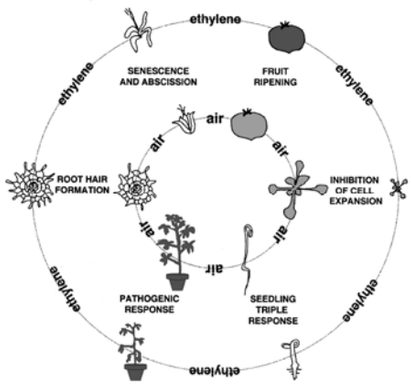
A) Aplicación de Etileno - Usos Comerciales

- Aplicado como gas etileno o aspersiones de Ethephon (Ethrel).

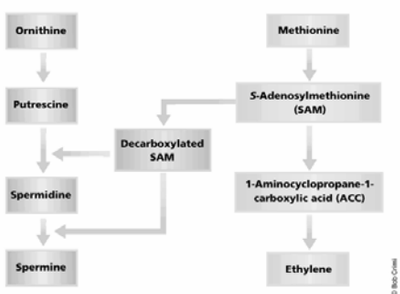
B) Inhibición de Etileno - Usos Comerciales

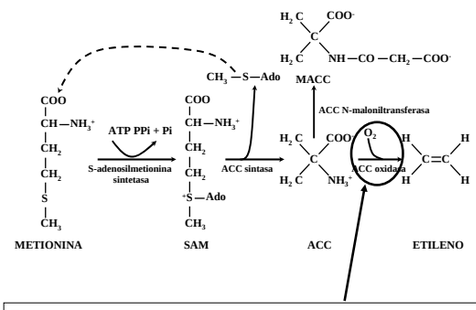
- Removido por depuración química o inhibición de síntesis (aminoetoxi-vinil-glicoina AVG) y acción (1-metilciclopropeno 1-MCP).

Respuestas a Etileno en Plantas

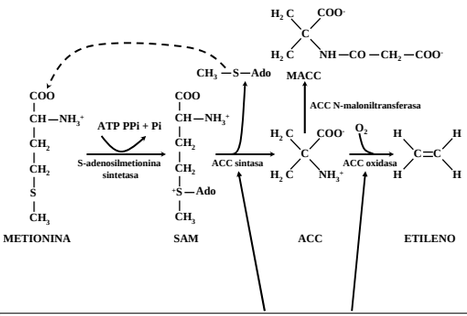


SAM (S-adenosil-metionina) en un precursor común en las vías de biosíntesis de dos tipos de fitohormonas: poliaminas y etileno.



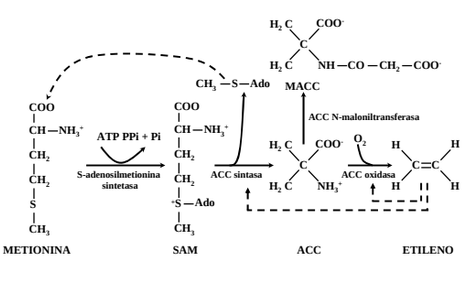


En ausencia de oxígeno se acumula ACC (ácido ***a***mino-***c***iclopropano ***c***arboxílico), al agregar oxigeno, se forma etileno.

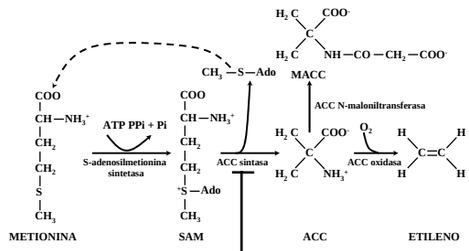


- Supresión mediante antisentido de la expresión ACO (amino ciclopropano oxidasa), en melón y en tomate ACS (amino ciclopropano sintasa), reduce la biosíntesis de etileno.

AUTOCATALISIS



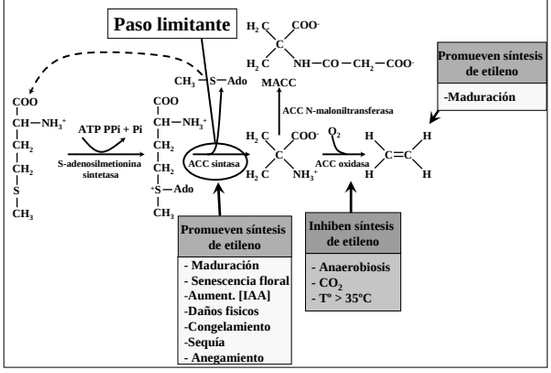
Control de la biosíntesis de etileno mediante el uso de AVG y AOA



AVG = aminoetoxi-vinil glicina

AOA = Acido aminoxacético

Resumen ruta de biosíntesis de etileno y pasos limitantes



Promueven síntesis de etileno

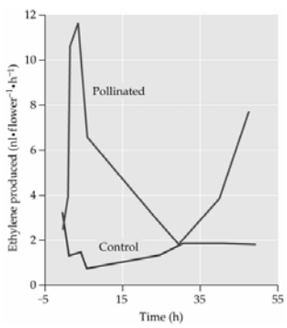
- -Maduración

Promueven síntesis de etileno

- - Maduración
- - Senescencia floral
- -Aument. [IAA]
- -Daños fisicos
- -Congelamiento
- -Sequía
- - Anegamiento

Inhiben síntesis de etileno

- - Anaerobiosis
- - CO_2
- - T^o > 35°C



Aumento de síntesis de etileno en respuesta a polinización en petunia.

La polinización representa un estrés en tejidos de la flor polinizada, probablemente por crecimiento de tubo polínico en su interior.

Balance hormonal entre citoquininas y etileno en la senescencia

TEJIDO JOVEN		TEJIDO VIEJO
Citoquininas>Etileno	⇌	Etileno>Citoquininas
↓		↓
Retraso de la senescencia foliar		Aumento de la senescencia foliar

Funciones del Etileno:

- Promueve la maduración de frutos
- Favorece la epinastia de hojas
- Induce la expansión celular lateral
- Induce la maduración de frutos climatéricos
- Inicia la germinación de semillas
- Elimina la dormancia de yemas (en tubérculos y bulbos)
- Favorece la senescencia de hojas
- Inhibe el crecimiento de la raíz
- Favorece la formación de raíces adventicias y pelos radiculares
- Favorece la abscisión de flores, hojas y frutos
- Estimula respuesta frente a estrés (cierre de estomas)
- Estimula la formación de flores femeninas en algunas especies

- El etileno es una fitohormona gaseosa que participa en la regulación de un gran número de procesos dentro de la planta como son: maduración, senescencia, abscisión, respuesta a distintos tipos de estrés.

- Las plantas regulan los niveles de etileno a través de su biosíntesis, principalmente a través de dos enzimas ACO amino ciclopropano oxidasa) y ACS (amino ciclopropano sintasa).

- El etileno es utilizado, comercialmente, para promover maduración, coloración, abscisión de frutos, entre otros, mientras que su inhibición permite prolongar la vida útil de en postcosecha. Es la fitohormona en la cual mayor avance se ha realizado en los últimos años, lo que ha permitido un gran número de aplicaciones en Ingeniería Genética.