

## **ANEXO - Trabajo Práctico Nº 13** **Hormonas Vegetales (Reguladores de Crecimiento)**

### ***Auxinas***

El nombre auxina significa en griego 'crecer' y es dado a un grupo de compuestos que estimulan la elongación de las células. El ácido indolacético (AIA) es la forma natural predominante, actualmente se sabe que también son naturales:

IBA (ácido indol butírico),  
ácido feniácético,  
ácido 4 cloroindolacético y  
ácido indol propiónico (IPA),

Existe gran cantidad de auxinas sintéticas siendo las mas conocidas:

ANA (ácido naftalenacético),  
IBA (ácido indolbutírico),  
2,4-D (ácido 2,4 diclorofenoxiacético),  
NOA (ácido naftoxiacético)  
2,4-DB (ácido 2,4 diclorofenoxibutilico)  
2,4,5,-T (ácido 2,4,5 triclorofenoxiacético)

### **Biosíntesis**

Aunque las auxinas se encuentran en toda la planta, la más altas concentraciones se localizan en las regiones meristemáticas, las cuales están en crecimiento activo, siendo éste el sitio de síntesis. Su síntesis puede derivar del triptofano, que por transaminación y descarboxilación da origen al AIA o de la triptamina por oxidación.

Se le encuentra tanto como molécula libre que es la forma activa o en formas conjugadas (con proteínas solubles), inactivas. La forma conjugada es la forma de transporte, de almacenamiento en semillas en reposo, y de evitar la oxidación por acción de la AIA oxidasa. Este proceso de conjugación parece ser reversible.

La concentración de auxina libre en plantas varía de 1 a 100 µg/kg peso fresco. En contraste, la concentración de auxina conjugada ha sido demostrada en ocasiones que es sustancialmente más elevada.

### **Traslado**

Una característica sorprendente de la auxina es la fuerte polaridad exhibida en su transporte a través de la planta. La auxina es transportada por medio del parénquima que rodea los haces vasculares, sin penetrar en los tubos cribosos. Su movimiento es lento y basípeto,

alejándose desde el punto apical de la planta hacia su base, aún en la raíz, y requiere energía. Este flujo de auxina reprime el desarrollo de brotes axilares laterales a lo largo del tallo, manteniendo de esta forma la dominancia apical. El movimiento de la auxina fuera de la lámina foliar hacia la base del pecíolo parece también prevenir la abscisión. Las auxinas asperjadas sobre las hojas, en concentraciones bajas, pueden ser absorbidas, penetran en los elementos cribosos, pero posteriormente se trasladan al parénquima vascular, las auxinas sintéticas, aplicadas en altas concentraciones, se trasladan por floema, junto a los fotoasimilados.

### Modo de Acción

Existe acuerdo en que las auxinas actúan a nivel génico al desreprimir o reprimir la expresión de los genes. EL AIA se liga a un receptor de naturaleza proteica, formando un complejo receptor-hormona de carácter reversible, específico, con alta afinidad y saturable. Este complejo activa un promotor que controla la expresión de los genes que codifican la síntesis de las enzimas catalizadoras de los compuestos de la pared

El efecto inicial preciso de la hormona que subsecuentemente regula este arreglo diverso de eventos fisiológicos no es aún conocido. Durante la elongación celular inducida por la auxina se piensa que actúa por medio de un efecto rápido sobre el mecanismo de la bomba de protones ATPasa en la membrana plasmática, y un efecto secundario mediado por la síntesis de enzimas.

### Efectos Fisiológicos

La acción fisiológica de las auxinas puede resumirse como:

- Actúan en la Mitosis.
- Alargamiento celular.
- Formación de raíces adventicias.
- Dominancia Apical
- Herbicida
- Partenocarpia
- Gravitropismo
- Diferenciación de xilema
- Regeneración del tejido vascular en tejidos dañados
- Inhibición del crecimiento radical en concentraciones bajas
- Floración,
- Senectud,
- Geotropismo,
- Retardan la caída de hojas, flores y frutos jóvenes
- Dominancia apical

### Aplicaciones en la Agricultura.

- Herbicidas (2,4-D, 2,4-DB) y arbusticidas (2,4,5-T)
- Enraizamiento de estacas leñosas (IBA, ANA)
- Evitar la caída de frutos (ANA, 2,4-DP)
- Raleo de frutos (ANA)
- Partenocarpia
- Inhibición de brotación lateral en forestales (ANA)
- Cultivo in vitro de tejidos

### **Giberelinas**

El ácido giberélico GA3 fue descubierto en Japón como derivado de extracto del hongo *Giberella fujikuroi* que producía un crecimiento inusual de las plantas de arroz derivando de allí su nombre. Su designación es AG seguida de un número y al momento hay más de 150 formas conocidas de esta hormona.

### Biosíntesis

Las giberelinas son terpenos; su estructura se forma por ciclación de estas unidades, formando kaureno. Sintetizado en el camino metabólico del ácido mevalónico, de este mismo camino derivan, también, los retardantes del crecimiento. Su síntesis se produce en todos los tejidos de los diferentes órganos y puede estar afectada aparte de por procesos internos de retroalimentación negativa por factores externos como la luz que según su duración lleva a la producción de giberelinas o inhibidores del crecimiento.

### Traslado

Se realiza a través de floema y xilema, no es polar como en el caso de las auxinas.

### Modo de acción

Las giberelinas provocan la división celular al acortar la interfase del ciclo celular e inducir las células en fase G1 a sintetizar ADN. También promueven la elongación celular al incrementar la plasticidad de la pared y aumentar el contenido de glucosa y fructosa, provocando la disminución del potencial de agua, lo que lleva al ingreso de agua en la célula y produce su expansión, inducen la deposición transversal de microtúbulos y participan en el transporte de calcio. También pueden actuar a nivel génico para provocar algunos de sus efectos fisiológicos.

### Efectos fisiológicos

Controlan el crecimiento y elongación de los tallos.

Elongación del escapo floral, que en las plantas en roseta es inducido por el fotoperíodo de día largo.

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

Crecimiento y desarrollo de frutos

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

Inducen formación de flores masculinas en plantas de especies diclinas.

Reemplaza la necesidad de horas frío (vernalización) para inducir la floración en algunas especies (hortícolas en general).

### Aplicaciones en la Agricultura

En alcaucil para producir agrandamiento y alargamiento del escapo floral

En perejil para aumentar crecimiento (en épocas de frío principalmente)

En cítricos retarda la senescencia de los frutos

En vid para alargar de los pedúnculos florales para evitar enfermedades fúngicas, obtener bayas de mayor tamaño sin semillas

En manzano para aumentar tamaño y calidad de la fruta

En Coníferas, para incrementar la producción de semillas induciendo la floración precoz

En caña de azúcar para aumentar rendimiento en sacarosa

Romper latencia en tubérculos de papa y dormancia en semillas.

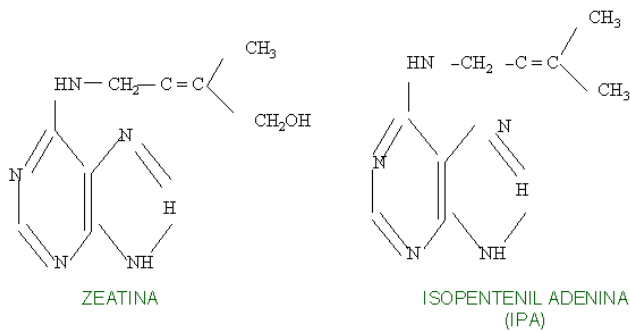
En malterías para aumentar la hidrólisis del almidón del endosperma de cebada

### **Citocininas**

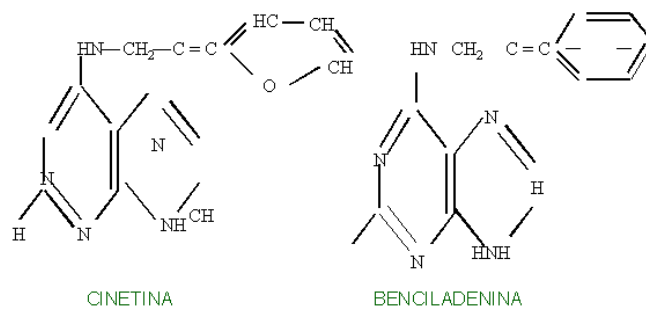
Las citocininas son hormonas vegetales naturales que derivan de adeninas sustituidas y que promueven la división celular en tejidos no meristemáticos. Inicialmente fueron llamadas cinetinas, sin embargo, debido al uso anterior del nombre para un grupo de compuestos de la fisiología animal, se adaptó el término citocinina (citocinesis o división celular). Existen citocininas en musgos, algas café, rojas y en algunas Diatomeas.

### Estructura de las citocininas

#### Naturales



#### Sintéticas



### Biosíntesis

Son producidas en los órganos en crecimiento y en el meristema de raíz. Se sintetizan a partir del isopentenil adenosina fosfato (derivado de la ruta del ácido mevalónico) que por pérdida de un fosfato, eliminación hidrolítica de la ribosa y oxidación de un protón origina la zeatina, es una citocinina natural que se encuentra en el maíz (*Zea mays* L.) de allí su nombre.

ISOPENTENIL ADENOSINA FOSFATO ( ISOPENTENIL AMP)



ISOPENTENIL ADENOSINA



ISOPENTENIL ADENINA



**ZEATINA**

### Traslado

Las citocininas se trasladan muy poco o nada en la planta, sin embargo se las identifica en xilema (cuando se sintetizan en la raíz) y floema. Sin embargo, cuando los compuestos se encuentran en las hojas son relativamente inmóviles.

### Modo de acción

Como derivan de una purina:

Se unen a la cromatina del núcleo

Efecto promotor sobre el ARN y las enzimas.

Estimulan el estado de transición del estado G2 en la mitosis

Actúan en la traducción del ARN.

Incrementan la rapidez de síntesis de proteínas

### Efectos Fisiológicos

División celular y formación de órganos.

Retardo de la senescencia (debido a su propiedad de generar alta división celular son fuente de nutrientes, por lo que realizan su efecto de retardo de la senescencia)

Desarrollo de yemas laterales.

Inducen partenocarpia

Floración de plantas de días corto.

Reemplazo de luz roja en germinación de semillas fotoblásticas

Aplicaciones en la Agricultura

Retardo de la senescencia de flores y hortalizas de hojas, manteniendo por mas tiempo el color verde

En manzanos, rosas o claveles promueve la ramificación lateral

En combinación con giberelinas controla forma y tamaño de algunos frutos (manzano)

Inducen partenocarpia en algunos frutos

Reemplazan la necesidad de luz roja en semillas de lechuga

Interrumpen dormancia en vid

Disminuyen contenido de alcaloides en plantas del género Datura

Promueven la formación de vástagos en el cultivo in vitro

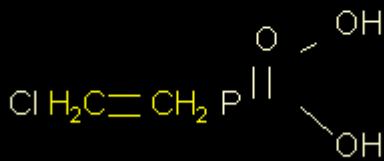
### **Etileno**

El etileno, es una de las hormonas de estructura más simple, gaseoso, al ser un hidrocarburo, es muy diferente a otras hormonas vegetales naturales. Aunque se ha sabido desde

principios de siglo que el etileno provoca respuestas tales como geotropismo y abscisión, no fue sino hasta los años 1960s que se empezó a aceptar como una hormona vegetal.



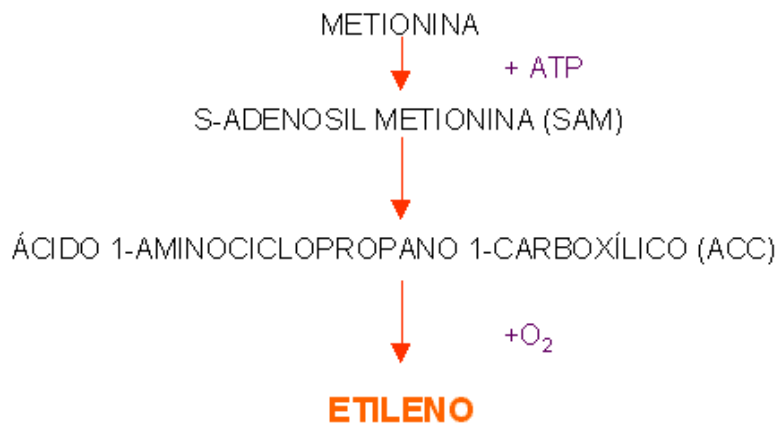
ETILENO

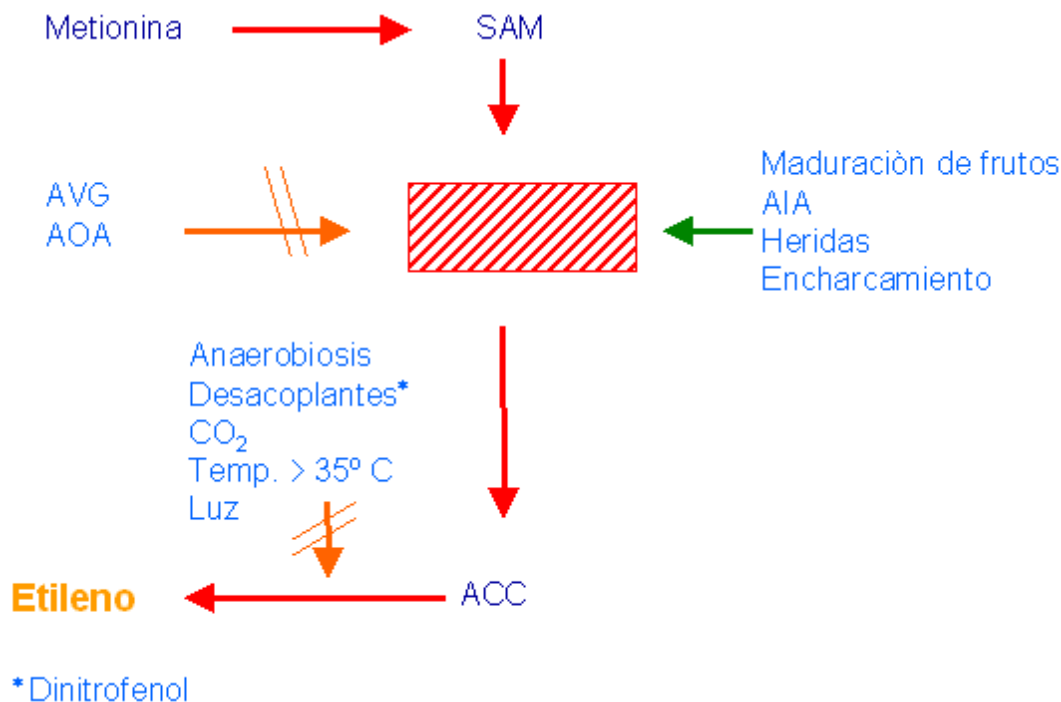


ETEFÓN

### Biosíntesis

Deriva de los C3 y C4 de la metionina, que pasa, con gasto de ATP, a S-adenosilmetionina (SAM), por acción de una enzima pasa a ácido aminociclopropano-1 carboxílico (ACC) y por oxidación de este y por la acc oxidasa se forma etileno. Una característica de esta hormona es que posee acción autocatalítica, esto se debe a que la presencia de etileno activa la acción del gen que codifica la enzima que pasa de ACC a etileno.





El etileno parece ser producido esencialmente por todas las partes vivas de las plantas superiores, y la tasa varía con el órgano y tejido específicos y su estado de crecimiento y desarrollo. Las tasas de síntesis varían desde rangos muy bajos (0.04-0.05  $\mu\text{l/kg-hr}$ ) en blueberries (*Vaccinium sp.*) a extremadamente elevadas (3.400  $\mu\text{l/kg-hr}$ ) en flores devanecientes de orquídeas Vanda.

### Modo de acción

Su acción se da principalmente porque:

Se une a receptores del tipo proteico que reconocen moléculas pequeñas de doble ligadura

Deber ser una metalproteína que contiene CU o Zn

Los receptores son principalmente dos (ETR y ERS) uno formado por dos elementos: un sensor y otro de respuesta (ETR) y otro con solo el elemento sensor (ERS)

Actúan en la traducción y amplificación de la señal de la hormona, al unirse el etileno a sus receptores, se desencadenan las reacciones que llevan a la respuesta al etileno.

En general se observa un aumento en la síntesis de enzimas



### Efectos Fisiológicos

- Maduración de frutos
- Senescencia de órganos
- Epinastia
- Tigmomorfogénesis o perturbación mecánica
- Hipertrofias
- Exudación de resinas, latex y gomas
- Promoción o inhibición de los cultivos de callos in vitro
- Inhibición de la embriogénesis somática
- Apertura del gancho plumular
- Inducción de raíces
- Inhibición del crecimiento longitudinal
- Incremento del diámetro caulinar

### Antagonistas

[CO<sub>2</sub>] Compite por el sitio de unión del etileno con el receptor. Por eso se utiliza para la conservación de frutas

Ag<sup>+</sup> Interfiere la unión del etileno con su receptor. Se lo utiliza para la conservación de flores

2,5 norbornadieno cis buteno Inhibe la acción del etileno de manera competitiva por unirse al mismo receptor.

### Aplicaciones en la Agricultura

- Maduración de frutos climatéricos
- Evitar vuelco en cereales
- Provoca abscisión de órganos y frutos
- Estimula la germinación
- Inducción de floración
- Incremento del flujo de latex, gomas y resinas
- Inhibición de la nodulación inducida por *Rizhobium*, de la tuberización y bulbificación
- Promoción de la floración femenina en Cucurbitáceas

El etileno se aplica como gas en ambientes cerrados o en forma líquida como pulverizaciones de Etephon que al ponerse en contacto con la planta libera etileno.