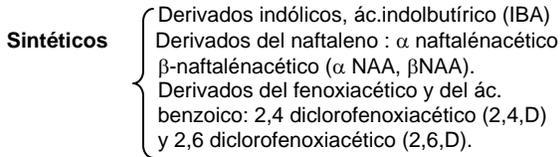


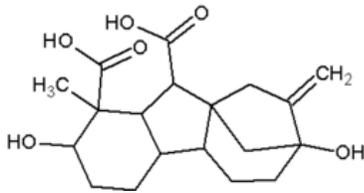
REGULADORES DEL CRECIMIENTO

1. Auxinas : participan en división celular.



2. Giberelinas (GA): en elongación celular.

Todas son ács. diterpenoicos.
Estructura base : anillo de giberelano



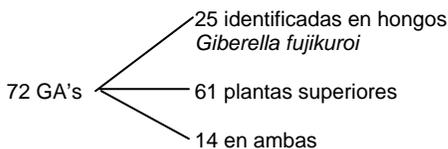
Las 72 giberelinas actualmente conocidas surgen de esta estructura base mediante las siguientes modificaciones:

- Diferentes estados oxidativos de C₂₀ (metilo -CH₃ ; hidroximetilo -CH₂-OH)
- Adición de grupos funcionales especialmente a las giberelinas C₁₉ (hidroxilo -OH; epóxido >O; cetona = O). La posición y estereoquímica de estos grupos es muy importante para la actividad.

α

β

- Dobles enlaces en el anillo A entre C₁ y C₂ ; C₂ y C₃ ; C₁ y C₁₀
- Hidroxilación del doble enlace entre C₁₆ y C₁₇ .



El Núm. con que se describe cada GA indica aprox. el orden cronológico de su descubrimiento.

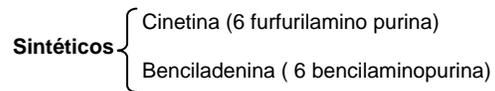
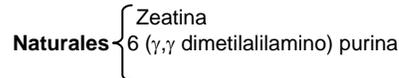
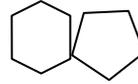
La mayoría de las 72 GA's tienen poca o no tienen actividad biológica, algunas de las que sí la poseen: ácido giberélico GA₁, GA₃, GA₄, GA₇ .

De las numerosas GA's presentes en un órgano o en una planta, probablemente sólo una sea activa y el resto son precursores o productos metabólicos.

Las GA's pueden encontrarse conjugadas, lo más común es que se les encuentre unidas a glucosa.

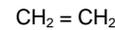
3. Citocininas (CK) : en división celular

Estructura base : Purina



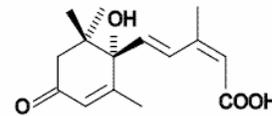
4. Etileno : hormona del estrés (sequía, enfermedad, ataque de plagas, daños mecánicos, bajas temps, etc)

Es un hidrocarburo insaturado : eteno

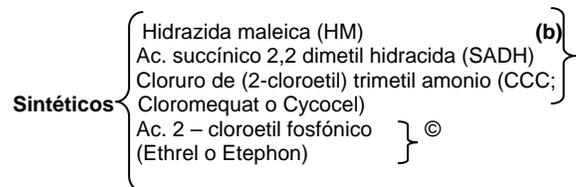
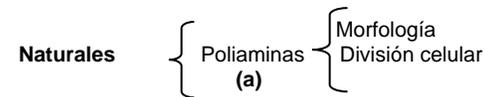


5. Acido Abscísico (ABA) : se descubrió por primera vez en flores de algodón que se caían. Promueve abscisión (caída) de hojas, flores, frutos.

Estructura : compuesto sesquiterpénico (C₁₅)



6. Otros Compuestos.



(b) --- Inhibidores o retardadores del crecimiento y desarrollo

© ----- Liberador de etileno .

Se entiende por hormonas vegetales aquellas sustancias que son sintetizadas en un determinado lugar de la planta y se translocan a otro, donde actúan a muy bajas concentraciones, regulando el crecimiento, desarrollo ó metabolismo del vegetal. El término "sustancias reguladoras del crecimiento" es más general y abarca a las sustancias tanto de origen natural como sintetizadas en laboratorio que determinan respuestas a nivel de crecimiento, metabolismo ó desarrollo en la planta.

Las fitohormonas son las moléculas responsables del desarrollo, aunque no se sabe bien cómo actúan en las células. Se sabe que su mecanismo de acción es por interacción con un receptor específico (la sensibilidad de un tejido hace referencia a su número de receptores), y que su modo de acción una vez recibida la señal es por transducción.

De la transducción se sabe poco, pero parece ser que no es muy diferente de la de los animales.

Las rutas de transducción traducen la señal en una respuesta.

La actuación depende de la sensibilidad del tejido y de la concentración de la hormona. Se denomina **nivel activo** de una hormona a las formas que desencadenan respuestas. Es necesario un control o homeostasis hormonal, importante para el control del crecimiento, defensa ante situaciones eventuales como cerrar constantemente los estomas en sequía... Para ello existen diversos mecanismos:

Biosíntesis: es la fabricación de hormonas para aumentar su concentración.

Degradación catabólica: es la eliminación para conseguir el efecto contrario.

Transporte: se trata de llevar hormonas de zonas de afloramiento a zonas de déficit, o transportar hormonas al lugar donde se necesita su acción.

Conjugación: es la modificación de hormonas (añadiendo azúcares o aminoácidos principalmente, o otras moléculas de bajo peso molecular). Sirve como paso inicial para la degradación de éstas, para poder almacenarlas, para su mayor eficacia en el transporte o para inactivarlas.

Compartimentación: sirve para aumentar o disminuir los niveles hormonales.

AUXINAS

Son las primeras hormonas que se describieron. Su estructura es un derivado del fenol o el indol, y tienen anillos aromáticos con dobles enlaces conjugados. Todas son ácidos. Se descubrieron a partir del efecto de curvatura de los tallos al cortar su parte apical. No se sabe el modo de acción pero está relacionado directamente con su estructura, ya que si se modifica pierde su función. Las auxinas principales son:

Ácido indolacético: es con la que más se ha experimentado.

Ácido 4-cloroindolacético

Ácido indolbutílico: actúa en el enraizamiento.

Ácido fenilacético

Efectos

Los efectos de las auxinas son:

Crecimiento: estimulan la elongación celular en tallos y coleoptilos (tallos jóvenes), incrementan la extensibilidad de la pared celular y estimulan la diferenciación del xilema y el floema.

Tropismos: responsables del fototropismo y gravotropismo.

Dominancia apical: la yema apical del tallo (produce la mayoría de auxinas) inhibe el crecimiento de yemas axilares cercanas.

Abscisión de órganos (hojas, flores y frutos): posee un control genético, y las auxinas retrasan la caída, aunque el etileno la induce.

Rizogénesis: estimulan la formación de raíces laterales o adventicias. Inhiben la elongación de la raíz principal.

Las aplicaciones agrícolas de las auxinas son la reproducción, la formación de frutos, floración, partenocarpia (frutos sin semilla), aparición de flores femeninas y creación de herbicidas.

GIBERELINAS

Son hormonas que proceden de una estructura química, no de una función concreta. Su estructura química deriva del ent-giberelano. Es un grupo de hormonas muy heterogéneo, existen muchas formas aunque pocas con función. Hay 130 distintas repartidas en distintos reinos y especies, a veces sirven como criterio taxonómico.

La estructura química común está formada por un esqueleto carbonado de 20 carbonos (a veces 19) con 4 anillos de ent-giberelano. Son diterpenos, metabolitos secundarios. En ocasiones existe una modificación en forma de enlace entre los dos últimos carbonos que provoca que el esqueleto quede

formado por 19 carbonos y 5 anillos. Las hormonas con esta modificación son las más activas y se piensa que las de 20 C se modifican antes de actuar. Poseen grupos carboxilos que pueden cambiar en posición y número, aunque el carboxilo en posición 7 aparece en todas las activas. También poseen grupos hidroxilos cuyas posiciones relevantes son la 2, la 3 y la 13. En la 2 producen la pérdida irreversible de la actividad, y la 3 confiere actividad biológica. Todas son ácidos, y se denominan GAX, siendo x un número del 1 al 130 en función del orden de descubrimiento.

Efectos

Los efectos de las giberelinas son:

Estimulan el crecimiento de los tallos (elongación) e hipocótilos.

Tienen un papel mayor que las auxinas en plantas con crecimiento de entrenudos.

En la reproducción **estimulan la floración**, sobre todo en aquellas plantas con floración por factores ambientales o floración del día largo como las coníferas. No son universales, en algunas especies puede inhibir la floración (angiospermas leñosas y frutales). **Producen partenocarpia** (reproducción sin fecundación donde el fruto se genera sin semillas). Tienen a producir plantas masculinas en especies dioicas. Provocan la reversión a fases juveniles de la planta.

Pueden suplir los fotoperíodos y los termoperíodos necesarios para el crecimiento.

La germinación es su principal efecto. Casi todas las semillas germinan inducidas por GA. Posibilitan la **movilización de reservas** en la semilla.

Sustituyen requisitos ambientales.

CITOQUININAS

Son un grupo más reducido de hormonas que deben su nombre a su función (citoquinesis). En conjunto con las auxinas **estimulan la división celular**. Derivan de adeninas, y las más frecuentes son la quinetina y benciladenina (sintéticas) y la zeatina (natural). La zeatina posee un doble enlace en el centro de la cadena y tiene isómeros cis y trans que parecen ser formas naturales. La zeatina puede estar en la base siguiente al 3' del anticodón del ARNt.

Efectos

Los efectos que producen son:

Crecimiento: en conjunto con las auxinas estimulan la proliferación de células meristemáticas, y también estimulan la expansión de los cotiledones tras el primer haz de luz que reciben.

Dominancia apical: estimulan el crecimiento de yemas laterales inhibiendo la apical (contrario a las auxinas, por lo que deben estar en equilibrio).

Diferenciación y morfogénesis: provocan cambios en la morfología según el tipo de crecimiento.

Junto a las auxinas estimulan la formación de raíces y tallos.

Senescencia: son anti-senescentes.

ÁCIDO ABCÉISICO

Históricamente se ha considerado como un inhibidor. Se trata de una molécula terpénica de 15 carbonos (sesquiterpeno) similar a los carotenoides pero con particularidades:

Es un ácido, por lo que posee un grupo COOH en un extremo.

Tiene una cadena con 2 dobles enlaces con sustituyentes distintos, normalmente el del carbono 2 es cis y el del carbono 4 es trans.

El anillo del primer carbono posee los 4 sustituyentes distintos, por lo que es asimétrico y tiene isomería óptica S/R.

Efectos

Estas hormonas proceden de la abscisión de órganos vegetales, pero no es la causante de éste en el 90% de los casos. Se trata de una **hormona anti-estrés**. Actúa contra el estrés hídrico provocando el cierre de estomas. **Contrarresta el efecto de la auxina** pero no inhibe el crecimiento en sí. También provoca el letargo de las yemas (en ese sentido sí es anti-crecimiento). Es esencial para la briogénesis (formación de embriones viables). Evita la germinación prematura y por eso bloquea las giberelinas.

ETILENO

Es la molécula C₂H₄. Su peso molecular es 28, es un hidrocarburo insaturado liposoluble (capaz de transpasar la membrana), y es un gas volátil a temperatura ambiente.

Efectos

Sus efectos fisiológicos son:

En cuanto al crecimiento:

Interviene en el desarrollo del síndrome de la triple respuesta., donde se provocan 3 alteraciones anormales: el tallo se curva perdiendo el hábito geotrópico normal, se inhibe el crecimiento en longitud de tallos y raíces y los tallos se engrosan (el etileno aumenta el grosor de las células parenquimáticas).

Epinastia foliar: en la zona superior de los peciolo se produce una estimulación temporal del crecimiento. El peciolo queda débil y las hojas no pueden orientarse quedando ineficaces.

Formación del "gancho" en plantas dicotiledóneas.

Estimula la elongación en tallos de plantas aromáticas, ya que éstas necesitan tener hojas fuera del agua rápidamente.

El etileno es una hormona de la abscisión casi universal. La abscisión está controlada por la planta de forma predeterminada. En el peciolo está la zona de abscisión, que con acción de enzimas se rompen las células provocando la caída de las estructuras. Los frutos pueden caer por otro fenómeno diferente a la abscisión.

Acelera la senescencia en tejidos vegetales. Es el **responsable de la maduración de frutos climatéricos** (tomate, manzanas, aguacate... cítricos no) y de otros tejidos como las hojas, tallos y flores. En los tomates transgénicos se inhibe la síntesis de etileno.

Estimula la germinación de semillas.

Es una hormona asociada a todas las situaciones de estrés de la planta (temperaturas extremas, heridas, patógenos...).

Interviene en la formación de parénquima, formando un tejido con huecos para favorecer la llegada de oxígeno a las raíces. Los huecos se obtienen mediante la lisis de células. También puede generarse un parénquima muy compacto para limitar el acceso de oxígeno.

En cuanto a las **aplicaciones agrícolas** destacan la **inducción de la floración** en bromeliáceas (ya que en otros grupos induce la abscisión), la **maduración controlada** y el **desverdizado** (por ejemplo los cítricos pierden el color verde pero el fruto sigue estando inmaduro).

Biosíntesis

La síntesis de etileno se realiza a partir de la metionina. Con gasto de un ATP se activa el S-adenosil-metionina. Con la ACC-sintetasa a partir del S-adenosil-metionina se forma metil-tio-adenosina (CMTA) y ACC. La CMTA se recicla en metionina ya que es un aminoácido esencial, y el ACC (aminoácido complejo) se forma en etileno con la acción de una ACC-oxidasa desprendiendo dióxido de carbono. Las enzimas ACC-sintetasa y ACC-oxidasa son enzimas inducibles ambientalmente (sobre todo la sintetasa), para poder responder al estrés ambiental. Endógenamente también son inducibles: A mayor concentración de auxinas, mayor de etileno (también ocurre lo mismo con las citoquininas aunque en menor grado). La ACC-oxidasa es una enzima constitutiva, está siempre presente y limita la producción de etileno. Está estimulada por el ambiente y por la maduración.

Conjugación

La conjugación se caracteriza porque el ác. Malonil-CoA junto a un ACC forma el Malonil-ACC, un conjugado irreversible, ya que no sirve como sustrato. Además inutiliza el ACC.

POLIAMINAS

Son compuestos policatiónicos derivados de aminoácidos, por lo que poseen carga positiva, mayor carga cuanto más grande es la molécula. Interacciona con moléculas de carga negativa como lípidos de membrana y ácidos nucleicos. Son esenciales para la vida. Su concentración es 10 veces mayor que la de otras hormonas.

Químicamente se parecen a las proteínas. Son muy heterogéneas, poseen tamaños y cargas muy distintas. Las más generales y comunes son, en función de su número de NH₂:

Diaminas: putrescina y cadaverina.

Triaminas: espermidina.

Tetraaminas: espermina.

Efectos

Sus funciones son:

Mucha participación en la **división celular**, por lo que generalmente abundan más en tejidos jóvenes. Son esenciales para la **morfogénesis** (embriogénesis).

Formación de raíces.

Estabilizan la membrana por ser proteínas.

Retrasa la senescencia al estabilizar la membrana y al actuar con los ácidos nucleicos evitando la degradación de éstos. Intervienen en el estrés.