



HORMONAS VEGETALES

Luz, nutrientes, agua y temperatura, entre otros, son factores externos que están involucrados en el desarrollo de las plantas (ver cuaderno n° 70). Sin embargo, son sólo una parte de la historia. El desarrollo normal de una planta depende también de ciertos factores internos. Hacia fines del siglo XIX el botánico alemán Julius von Sachs propuso que la regulación y la coordinación del metabolismo de las plantas superiores dependían de señales químicas que viajan por toda la planta y que estos “mensajeros” son los responsables de la formación y el crecimiento de sus diferentes órganos. Aunque Sachs no conocía la identidad de estos mensajeros químicos, su idea condujo a su descubrimiento.

El nombre de los mensajeros químicos

La forma y la función de los organismos multicelulares no sería posible sin una eficiente comunicación entre células, tejidos y órganos (ver cuaderno n° 106). En este contexto, muchos de los actuales conceptos acerca de comunicación intercelular en plantas derivan de estudios similares en animales. En efecto, el término *hormona* surge del concepto que se utiliza en los animales para denominar al mensajero químico que actúa de intermediario en las comunicaciones intercelulares. La mayoría de las hormonas animales son sintetizadas y secretadas en una parte del organismo y transferidas a sitios blanco específicos en otra parte del cuerpo a través del torrente sanguíneo, donde interactúan con proteínas celulares específicas llamadas receptores. A diferencia de los animales, las plantas carecen de órganos o tejidos específicos productores de estas sustancias. En general, suelen sintetizarse en cualquier tipo celular y pueden ejercer su acción tanto a distancia como en el mismo tejido. Debido a estas diferencias entre el concepto animal y vegetal de hormona, algunos autores prefieren denominar *factores regulatorios* o fitohormonas a los compuestos químicos que regulan el crecimiento de una planta.

Generalidades

Reguladores, hormonas vegetales o fitohormonas, como sea que se denominen, estos compuestos son vitales para el crecimiento de la planta y son, sin excepción, moléculas pequeñas. Su rasgo más distintivo es que su acción la ejecutan a concentraciones increíblemente bajas, afectando procesos que van

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



desde la floración hasta el desarrollo de las semillas, la dormición y la germinación (ver cuaderno n° 109); regulan qué tejidos deben crecer hacia arriba y cuáles hacia abajo, la formación de las hojas y el crecimiento del tallo, el desarrollo y maduración del fruto, así como la caída de las hojas e incluso la muerte de la planta. Además, al igual que otros organismos vivos, las plantas poseen la capacidad de regular de forma precisa su medio interno, entre ellos sus niveles hormonales. Esta capacidad se denomina **homeostasis** y se basa principalmente en el manejo de 4 procesos:

- **biosíntesis**, que se refiere a la producción de hormonas en algún tejido para aumentar su concentración (ver cuaderno n° 105).
- **transporte**, o traslado de las hormonas de zonas de producción a zonas de déficit, o donde se necesite su acción, recorriendo distancias cortas entre células próximas por difusión, y/o recorriendo largos tramos llegando a los distintos órganos a través de los tejidos vasculares (xilema y floema), variando según el tipo de fitohormona.
- **catabolismo**, que se entiende como la eliminación por degradación de las fitohormonas para disminuir su concentración (ver cuaderno n° 105).
- **conjugación**, es la modificación de hormonas por el añadido principalmente de azúcares o aminoácidos para activarlas o desactivarlas.

Según de qué planta se trate y en qué situación de su desarrollo se encuentre, la interacción entre estos cuatro procesos es la que determinará el nivel de fitohormonas presente en un determinado tejido.

No tan sencillo como parece: de interacciones y otras complicaciones

El modo de acción de una fitohormona es similar al de una hormona animal: la fitohormona se une a un receptor celular específico, lo que inicia una secuencia de reacciones bioquímicas que conectan el estímulo hormonal a la respuesta celular. Esa secuencia de reacciones se llama *transducción de señales*, y tiene como resultado final, en la mayoría de los casos, la regulación de la expresión de genes.

La transducción de señales a menudo involucra la generación momentánea dentro de las células de unas señales denominadas *segundos mensajeros* que amplifican enormemente la señal original. Por ejemplo, una única molécula de hormona puede generar la activación de una enzima que produce cientos de

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



moléculas de segundos mensajeros. Sin embargo, los efectos fisiológicos producidos por la acción hormonal, a menudo no dependen de la intervención solitaria de un tipo de fitohormona, sino más bien de la interacción de muchas sobre el tejido en el cual coinciden.

Esta interacción se produce por distintos mecanismos:

- **Sinergismo**, en el cual la acción de una determinada hormona se ve favorecida por la presencia de otra;
- **antagonismo**, en donde la presencia de una hormona evita la acción de otra
- **balance cuantitativo**, en el cual la acción de una determinada sustancia depende de la concentración de otra.

También sucede frecuentemente que una misma fitohormona genera efectos contrarios dependiendo del tejido en donde efectúa su acción. Y como si esto no fuera lo suficientemente complicado, no es raro encontrar ejemplos donde el efecto de la fitohormona en un mismo tejido u órgano difiere, según su concentración.

La relevancia de los receptores

Si se compara con los animales, la cantidad de hormonas diferentes presentes en las plantas es significativamente menor. Muchas hormonas animales, tienen un espectro de acción limitado, que tiene su origen en la distribución de los respectivos receptores hormonales.

En contraste, los receptores hormonales en plantas parecen estar más ampliamente distribuidos y son diferentes en los distintos tipos celulares. Inclusive poseen distinta afinidad por las hormonas según la etapa del desarrollo en que se encuentre la planta. Hasta el momento se le ha dado poca relevancia al papel que juegan los receptores hormonales y su relación con las hormonas en el desarrollo de las plantas. Es por ello que en la actualidad, muchos fisiólogos vegetales e investigadores en desarrollo vegetal están cambiando el enfoque de sus estudios, apuntando fuertemente hacia el análisis de receptores y de la relación receptor-hormona.

Características de las principales fitohormonas

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



Las hormonas vegetales más relevantes son cinco: las **auxinas**, el **etileno**, las **giberelinas**, las **citoquininas** y el **ácido abscísico** (ABA), aunque hay muchas otras sustancias que en menor medida sirven para regular la fisiología vegetal. Pese a la interrelación entre el accionar de las fitohormonas, se pueden asignar ciertas características particulares a cada una de ellas:

■ Auxinas

Las auxinas tienen un lugar de privilegio en el mundo de las fitohormonas, pues fueron las primeras en ser descubiertas y muchos de los primeros trabajos fisiológicos en el mecanismo de expansión celular en plantas se realizaron basándose en la acción de esta hormona (Charles Darwin y su hijo Francis fueron los que iniciaron estas investigaciones). Además, las auxinas difieren del resto de las fitohormonas en un aspecto muy importante, ya que junto con las citoquininas su presencia es indispensable de manera continua para la viabilidad de la planta. Es decir que, mientras otras hormonas parecen funcionar como un interruptor de prendido/apagado que regula algún proceso específico, auxinas (y citoquininas) parecen ser requeridas a un nivel más o menos constante. Su representante más abundante en la naturaleza y el de más relevancia fisiológica es el ácido indolacético (IAA), aunque existen otros. Auxina proviene del griego *auxein* y significa crecer, incrementar. Eso es lo que esencialmente hacen las auxinas, provocan la elongación de las células. Al afectar la división, crecimiento y diferenciación celular (ver cuaderno n°70), están implicadas en muchos procesos del desarrollo vegetal: estimulan la elongación celular en tallos y coleoptilos (tallos jóvenes), estimulan la diferenciación del xilema y el floema (vasos conductores), intervienen en el retraso de la abscisión de órganos (hojas, flores y frutos), estimulan la formación de raíces laterales o adventicias, inhiben la elongación de la raíz principal, favorecen la floración, son responsables del fototropismo y gravotropismo y promueven la dominancia apical. Esta última es un ejemplo claro del efecto diferencial de la concentración de hormona y su acción según el tejido. La dominancia apical se refiere al crecimiento de las plantas hacia arriba en detrimento de su crecimiento lateral y se produce porque el meristema apical (la zona en crecimiento de la punta) del tallo principal sintetiza una cantidad de auxinas que estimula el crecimiento del tallo principal e inhibe el crecimiento de los tallos secundarios. Esta inhibición del crecimiento de las ramas secundarias, se basa en una sensibilidad

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.

diferencial a la concentración de auxinas. Si cortáramos el meristema apical del tallo principal, cortaríamos la fuente de auxina que inhibía el crecimiento de los tallos secundarios y por lo tanto éstos verían estimulado su desarrollo y aparecerían ramas secundarias. Por esto, si podamos la zona apical de una planta se modificará su arquitectura al aparecer ramas secundarias.



Auxinas y dominancia apical

Las auxinas son fitohormonas que inducen la expansión celular y promueven la dominancia apical.

Fuente: http://www.stelviopark.it/images/Alberi/078Pino_cembro.jpg

Aunque virtualmente todos los tejidos de la planta parecen ser capaces de producir auxinas en bajas concentraciones, los sitios primarios de síntesis son los meristemas. A partir del tejido de síntesis, las auxinas pueden ser transportadas por células no vasculares como las células del cambium y células parcialmente diferenciadas asociadas al floema. Este transporte de las auxinas

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



en tallos y raíces es polarizado, usualmente son transportadas en el sentido del eje longitudinal de la planta (desde el ápice hacia la base a nivel del tallo y desde la base hacia arriba a nivel de la raíz), estableciéndose así un gradiente de concentración. También existe un transporte no polar en el floema, que se da a mayor velocidad, es pasivo y no precisa energía.

Etileno

El etileno es una fitohormona con amplio efecto sobre la planta. Está involucrado en la senescencia de hojas y flores, dormición de semillas (ver cuaderno n°109) y floración. Pero su función más característica es la de ser responsable de la maduración y abscisión de los frutos.

Su rasgo más importante es ser la única fitohormona de estado gaseoso. El etileno parece ser producido esencialmente por todas las partes vivas de las plantas superiores, y la tasa de producción varía según el órgano, tejido, y su estado de crecimiento y desarrollo. Como esta fitohormona se produce de manera constante, el mecanismo de prevención de su acumulación dentro de tejido es la difusión pasiva fuera de la planta como principal forma de eliminar la hormona. Un sistema de emanación pasivo de esta naturaleza implicaría que la concentración interna de etileno se controla principalmente por la tasa de síntesis en lugar de la tasa de remoción de la hormona.

La producción de etileno puede continuar en algunas especies aún cuando el fruto ya se ha desprendido de la planta (sea por abscisión natural o por recolección manual). Esto ha llevado a una gran clasificación dentro del tipo de fruto: los frutos climatéricos y no climatéricos. Un fruto climatérico es aquel que es capaz de seguir madurando incluso después de haber sido recolectado. Esto es debido fundamentalmente a que este tipo de frutos, independientemente de que ya no estén en la planta, aumentan su tasa de respiración y su producción de etileno, y por lo tanto el fruto sigue madurando. Esto permite un manejo comercial de los mismos, ya que es posible cosecharlos aún verdes, mantenerlos en frío e inducirlos a madurar luego provocando un aumento en su respiración y en la síntesis de etileno básicamente por un aumento en la temperatura. Entre los frutos climatéricos se encuentran la banana, la pera, la manzana, el kiwi, el tomate y otros.

Los frutos no climatéricos apenas siguen madurando una vez separados de la planta. Ejemplos de estos frutos son naranja, limón, mandarina, uva, cereza, pimiento, pepino, entre otros.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



Acción del etileno en la maduración de frutos

El etileno es la única fitohormona gaseosa. Su principal efecto es intervenir en la maduración de los frutos

Fuente: <http://www.lamolina.edu.pe/FACULTAD/ciencias/hidroponia/semillas/tomate-1.jpg>

Giberelinas

Las giberelinas (GAs) son esencialmente hormonas estimulantes del crecimiento al igual que las auxinas, coincidiendo con éstas en algunos de sus efectos biológicos. Hasta hoy se han caracterizado unas 125 giberelinas. Una planta puede producir varias giberelinas, aunque no todas ellas sean activas. Se forman en ápices de tallos y raíces, en hojas jóvenes, partes florales, semillas inmaduras (ver cuaderno n° 109), embriones en germinación. En general las partes vegetativas contienen menos GAs que las partes reproductivas, así las semillas inmaduras son ricas en GAs, aunque dichos niveles disminuyen a medida que éstas maduran. El efecto más notable es la estimulación del crecimiento del tallo de las plantas mediante la división y elongación celular (los efectos de auxinas y giberelinas en este proceso son aditivos), regulan la transición de la fase juvenil a la fase adulta, influyen en la iniciación floral, promueven el establecimiento y crecimiento del fruto, estimulan germinación

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.

de semillas en numerosas especies (rompen la dormición) (ver cuaderno n° 109), y en cereales movilizan reservas para crecimiento inicial de la plántula. También inducen la partenocarpia, que es el proceso por el cual se forma fruto sin fertilización, reemplazan la necesidad de horas frío (vernalización) para inducir la floración en algunas especies (hortícolas en general) y detienen el envejecimiento (senescencia) en hojas y frutos de cítricos.



Efecto de las giberelinas en la germinación de la semilla

Entre sus múltiples efectos, las giberelinas estimulan la germinación de las semillas en numerosas especies, rompiendo la dormición.

Fuente: <http://thm-a02.yimg.com/nimage/422abdc690c758aa>

Citoquininas

Las citoquininas o citocininas constituyen un grupo de hormonas vegetales que promueven la división y la diferenciación celular. Este último proceso es fundamental en el reino vegetal, ya que sin diferenciación celular probablemente no habría diferenciación de órganos vegetales. Esto no lo realizan de manera exclusiva las citoquininas sino que estas fitohormonas son las encargadas de «dar la orden» para que se inicie la diferenciación, y de dirigir el proceso en el cual intervienen otras sustancias con las que interactúan.

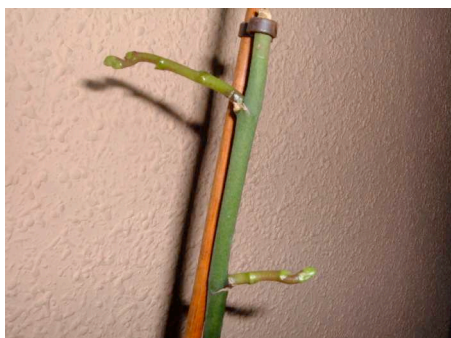
Los efectos fisiológicos de las citoquininas incluyen además:

- promover la formación y crecimiento de brotes laterales, es decir que vencen la dominancia apical (de esta forma, las citoquininas contribuyen a determinar la arquitectura de una planta),
- promover la movilización de nutrientes hacia las hojas, estimular la germinación de las semillas (ver cuaderno n° 109),
- inducir la maduración de los cloroplastos, participando de la síntesis de pigmentos fotosintéticos (ver cuaderno n° 106 y n° 107),
- retrasar la senescencia de las hojas,
- intervenir en la apertura de estomas.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.

- al igual que las auxinas, promueven la expansión celular en hojas y cotiledones en respuesta a la luz.

Las citoquininas se sintetizan en cualquier tejido vegetal: tallos, raíces, hojas, flores, frutos o semillas, aunque se acepta generalmente que es en las raíces donde se producen las mayores cantidades de esta hormona. Regularmente, hay mayor producción de citoquininas en sitios y momentos en los que haya iniciado un proceso de diferenciación celular y/o una intensa división celular, sea porque se requiere para inducir el proceso y/o porque las nuevas células formadas sintetizan mayores cantidades de esta hormona.



Efecto de las citoquininas

Las citoquininas promueven la división y la diferenciación celular y con ello la formación de brotes laterales.

Fuente: <http://imagenes.infojardin.com/updown/images/viu1188584538x.jpg>

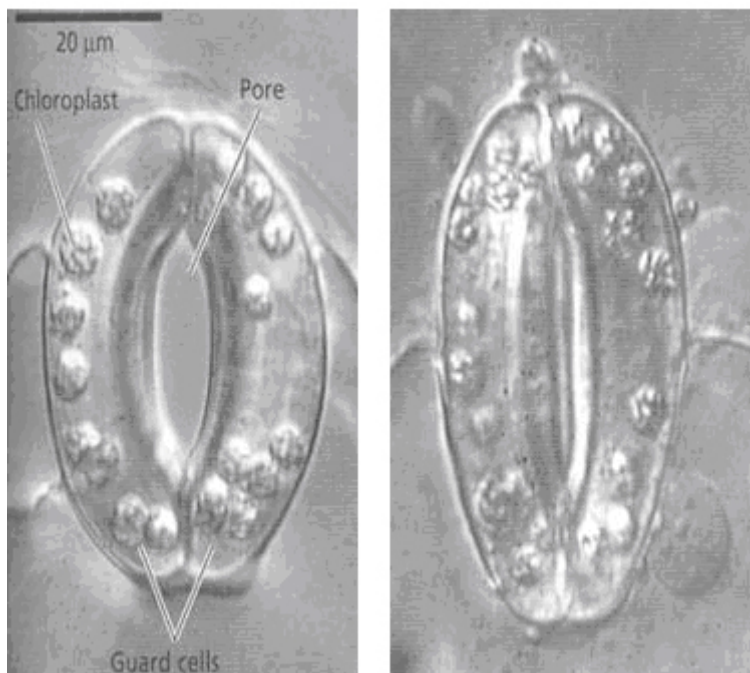
Ácido abscísico (ABA)

El ácido abscísico (ABA) es la última hormona descubierta por los fisiólogos de plantas. Se caracteriza por inhibir muchos fenómenos de crecimiento en las plantas superiores, y por estar asociado a la dormición de yemas y semillas (interactuando con giberelinas y citoquininas), así como también por causar la caída (abscisión) de las hojas y frutos. Típicamente la concentración en las plantas es entre 0.01 y 1 ppm; sin embargo, en plantas marchitas la concentración puede incrementarse hasta 40 veces. Su síntesis se ve favorecida por ciertas condiciones ambientales como sequía, frío excesivo y alteraciones patológicas, estableciéndose que su presencia es clave para la respuesta fisiológica de las plantas a situaciones de estrés, al punto de ganarse el nombre de “hormona del estrés” (ver cuaderno n°125).

Una de los mecanismos más significativos que regula en este contexto es la promoción del cierre de estomas en respuesta al estrés. En el caso de estrés

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.

hídrico, promueve además el crecimiento de raíces y disminuye el de ápices. Influye en otros aspectos del desarrollo vegetal por interacción, usualmente como antagonista, con auxinas, citoquininas y giberelinas. Su biosíntesis tiene lugar principalmente en hojas, aunque también se produce en frutos, semillas, raíces y tallos.



ABA, la hormona del estrés

Entre sus múltiples efectos, el ABA estimula el cierre de los estomas cuando hay estrés hídrico. Izquierda: estoma abierto, en situación hídrica normal. Derecha: en situación de estrés hídrico el ABA induce el cierre estomático, evitando la pérdida de agua.

Fuente: <http://www.porquebiotecnologia.com.ar/adc/uploads/cuaderno%20125/05.jpg>

Tabla que resume las características generales de las fitohormonas más relevantes.

FITOHORMONA	UBICACIÓN EN LA PLANTA	FUNCIÓN PRINCIPAL
Auxinas	Mayormente en meristemas apicales y hojas jóvenes	Provocan la elongación celular, estimulan la división y diferenciación celular y la elongación de tallos, estimulan la diferenciación de vasos conductores, intervienen en retraso de la caída de órganos, estimulan la formación de raíces adventicias, pero inhiben la elongación de la raíz principal, están involucradas en dominancia apical, fototropismo y gravitropismo, estimulan maduración fruto y floración.
Etileno	Tallos, hojas, frutos y raíces	Acelera el proceso de maduración del fruto, promueve el envejecimiento del vegetal y está involucrado en la dormición de las semillas.
Giberelinas	Mayormente en meristemas apicales, tallos y hojas jóvenes y en semillas inmaduras.	Promueven el crecimiento excesivo de los tallos y crecimiento de frutos, inducen la germinación de las semillas (interrumpen la dormición) y brote de yemas, inducen partenocarpia y retrasan envejecimiento.
Citocininas	Principalmente en las raíces.	Promueven la división y la diferenciación celular, promueven la formación y crecimiento de brotes laterales, inducen germinación, inducen la maduración de los cloroplastos, retrasan senescencia de las hojas.
Ácido abscísico	Principalmente en hojas, y algo en semillas, frutos, raíces, tallos.	Potente inhibidor del crecimiento. Intervienen en la dormición de yemas y semillas y en la caída de las hojas. Regula cierre de estomas e inhibe el crecimiento de muchas partes de la planta. Es la hormona clave en las respuestas de las plantas a condiciones de estrés ambiental.

El uso de las fitohormonas en beneficio de la actividad humana

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



A pesar de su complejo modo de acción, las hormonas vegetales tienen una estructura química relativamente sencilla. Esto ha permitido el desarrollo en el laboratorio de fitohormonas sintéticas y, aunque su uso en el ámbito agropecuario es mayoritario, también se aplican derivados de algunas fitohormonas en otras industrias. Las hormonas sintéticas tienen la ventaja de ser más estables que las de origen natural, las cuales se degradan con gran facilidad.

Ejemplos de sus aplicaciones:

- El uso de **auxinas**, como el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), tiene una intensa actividad herbicida sobre malezas dicotiledóneas y además se aplica para retrasar la senescencia de especies hortícolas como la coliflor, col, lechuga. El ácido naftalénacético se utiliza para impedir la caída prematura de frutos de manzanas y perales, así como también para prevenir la brotación de las yemas de tubérculos de patata almacenados.
- El **etileno**, se aplica mayoritariamente, para acelerar la maduración de algunas especies hortícolas cultivadas en invernadero (tomate, melón, etc.). Sin embargo, el etileno tiene aplicaciones en otras áreas: a partir de él y mediante reacciones de polimerización se obtiene el polietileno. El etileno se utiliza también, en combinación con otros hidrocarburos para la síntesis de un tipo de caucho, con muchas aplicaciones en la industria automovilística (se utiliza en el sellado de juntas de autos) y de la construcción (como lámina impermeabilizante de cubiertas en la edificación).
- Los usos comerciales de las **giberelinas** están limitados por su costo. Suele aplicarse para aumentar la longitud de los tallos de la caña de azúcar, mejorando así el rendimiento. También se usa para incrementar el tamaño de las uvas sin semillas haciendo que se elonguen los racimos, de modo que estén menos apretados y sean menos susceptibles a infecciones por hongos, o en la industria cervecera, al romper la dormición de las semillas (ver cuaderno n° 109) las giberelinas aceleran la etapa de malteado de la cebada. Además suelen aplicarse en tubérculos de papa recién cosechados para conseguir una brotación rápida y uniforme.
- En el caso de las **citoquininas**, su uso comercial principal es la aplicación en hortalizas para mantener más tiempo el color verde sus hojas de manera que perdure hasta que se consuman. También suelen emplearse junto con las auxinas en el cultivo de tejidos vegetales *in vitro*, técnica básica utilizada en la biotecnología vegetal (ver cuaderno n°6, 18, 26,35).
- El **ácido abscísico** no tiene un uso comercial muy difundido, pero existen abscisinas sintéticas que se emplean para inducir senescencia foliar, inhibir el

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



crecimiento del tallo, aumentar el rendimiento de tubérculos e inducir la floración en especies de día corto.

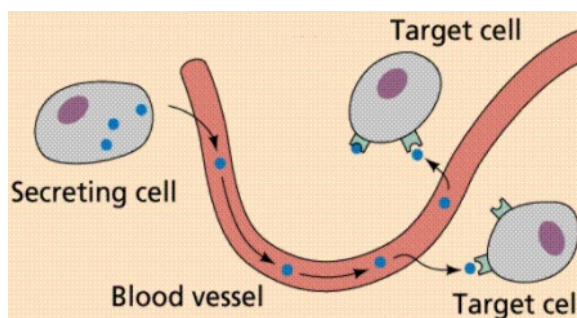
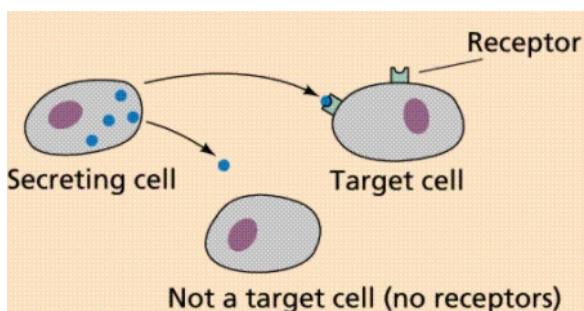
CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS

El tema de las hormonas vegetales, además de ser un tema que se vincula con las plantas, su estructura y función, es un tema que resulta interesante ya que no se trabaja habitualmente con esta profundidad en la escuela ni en los libros de texto escolares. Por esto este material resulta de gran utilidad para quienes desean ahondar en el tema.

Para introducir el tema en el aula se sugiere haber trabajado previamente el concepto de “hormona” y de sistema endocrino (habitualmente se aborda en el cuerpo humano). Es posible abordar el tema de las hormonas vegetales al trabajar el concepto de hormonas, o el sistema endocrino en los animales.

El concepto de hormona se explica habitualmente como “mensajero químico” y es interesante que los alumnos puedan comprender el rol de “mensajero” en tanto la hormona no es una sustancia que realiza la acción específica (como el crecimiento del organismo) sino que cumple su función de mensajero al promover una secuencia de reacciones por las cuales las células realizan esa función. Dicho de otro modo, le “dan el mensaje” a las células acerca de la función que se debe desarrollar.

Otro aspecto importante es la especificidad del mensaje y del receptor. No toda célula o tejido es capaz de recibir la información del mensajero. Sólo aquellas células que tienen un receptor específico para la hormona pueden cumplirlo. Como muestran las siguientes ilustraciones, existe una célula secretora (“secreting cell”) que produce y libera las hormonas, y células objetivo (“target cell”) cercanas o lejanas que reciben el mensaje. Sólo aquellas células que tienen el receptor indicado (se representa con una forma que “encaja” con la hormona) recibirán la información hormonal, y transmitirán a las células objetivo el mensaje. En esta ilustración la hormona viaja en el torrente sanguíneo por tratarse de un organismo animal.



"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



Se debe considerar el concepto de “estímulo” como todo cambio interno o externo que promueve una acción en el organismo y el tipo de reacción a ese estímulo.

Otro concepto interesante para trabajar en el aula al abordar la acción hormonal es su modo de acción al compararla con otros mecanismos de respuesta, como el nervioso. El siguiente cuadro resume los aspectos que se sugiere trabajar en la clase.

Sistema endocrino	Sistema nervioso
Envía mensajes a través de la sangre	Envía mensajes por medio de nervios (formados por células nerviosas, o <i>neuronas</i>)
Los mensajes son sustancias químicas, conocidas con el nombre de <i>hormonas</i>	Los mensajes son señales eléctricas conocidas como <i>impulsos nerviosos</i>
Las hormonas se dispersan a través de todo el cuerpo y llegan a determinados órganos sobre los que actúan	Los impulsos nerviosos son enviados directamente hacia su objetivo
La transmisión de mensajes es lenta (puede tardar minutos u horas)	La transmisión de mensajes es muy rápida (tarda unas décimas de segundo)
Los efectos son duraderos	Los efectos son muy cortos

En cuanto a las plantas, se puede trabajar el tema de las hormonas relacionado con los cambios que experimentan los colores de los vegetales en otoño, y con el ciclo de florecencia.

Observaciones de la vida cotidiana tales como el cambio de color de las hojas en otoño, la pérdida de las hojas de los árboles en otoño, el florecimiento en primavera, la transformación de flor en fruto, son hechos que pueden resultar buenos disparadores para trabajar el tema de las hormonas vegetales, aún con alumnos de grados menores y con menos detalles que los que aporta este Cuaderno.



ACTIVIDADES

Actividad 1: Práctica sencilla para observar el efecto de una fitohormona

Conseguir 12 bananas verdes o bien amarillas (pero con color parejo entre ellas). Separar en dos grupos de 6 bananas c/u. Uno de los grupos se deja sobre un plato sobre la mesa, y el otro se coloca dentro de una bolsa plástica bien cerrada. La temperatura debe ser ambiente (20-22°C) y pareja para ambos grupos. Luego de 24 hs., observar, comparar y responder:

- ¿Qué diferencias se observan entre los dos grupos de bananas?
- ¿Por qué se observan estas diferencias? ¿Qué hormona intervino? ¿Por qué afectó al resto de las bananas?
- Y si esperáramos 3 días más, ¿Qué pasaría en el grupo de bananas que no está en la bolsa? ¿Por qué?
- ¿Qué pasaría si la temperatura utilizada para esta experiencia fuera más alta?
- ¿A qué gran grupo de frutos pertenece la banana según su maduración?
- ¿Qué otros frutos pertenecen a este grupo? Buscar la mayor cantidad de ejemplos.

RESPUESTAS

- El grupo de bananas que estaba encerrado en la bolsa maduró más rápidamente que el otro.
- Las bananas son grandes productoras de etileno durante su maduración. El etileno es una fitohormona gaseosa, es decir que se libera al medio. Al estar en un ambiente cerrado el etileno se acumula y concentra, lo que acelera la maduración de todas las bananas dentro de la bolsa. Las bananas que están sobre el plato también producen etileno, pero al no estar encerradas esta

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



fitohormona se diluye en el aire y no tiene un efecto tan notorio como en el otro grupo.

c. Todas las bananas madurarán por la producción propia de etileno, aunque más lentamente que las que estaban en la bolsa

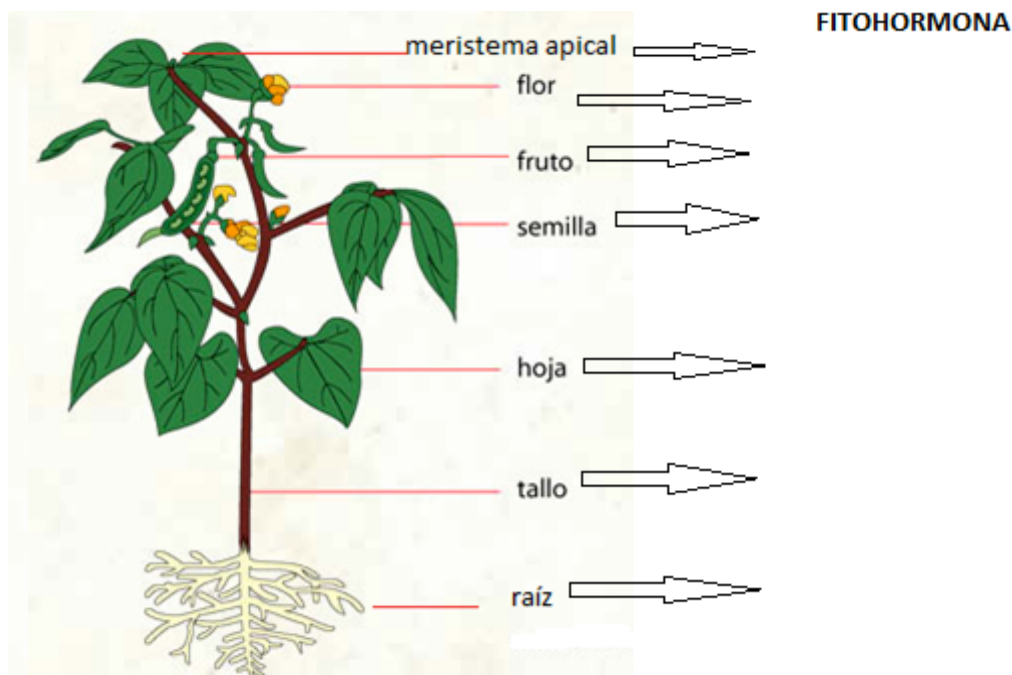
d. Las bananas madurarían antes porque la temperatura elevada acelera, entre otras cosas, la producción de etileno.

e. Pertenecen al grupo de los frutos climatéricos, que siguen madurando aún después de ser desprendidos de la planta.

f. Pera, manzana, kiwi, tomate, ciruela, mango, maracuyá, damasco, melón, durazno, membrillo, sandía, papaya, guayaba, palta, higo, pera, kaki, etc.

Actividad 2: Lugar de síntesis de fitohormonas

Completar el dibujo de la planta con la/las fitohormona mayoritarias presentes en cada uno de sus órganos.



RESPUESTAS:

Meristema apical: auxinas y giberelinas

Flor: giberelinas

Frutos: etileno

Semillas: giberelinas

Hojas: ABA y etileno

Tallos: etileno y giberelinas

Raíz: citoquininas y etileno

Actividad 3: Dime qué fitohormona eres y te diré que haces

Observar cada foto o dibujo y determinar qué fitohormona está actuando en cada caso. (Ojo que en algunos procesos puede estar actuando más de una).

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



A. Estrés hídrico



B. Maduración del fruto



C. Fototropismo



D. Abscisión de hojas



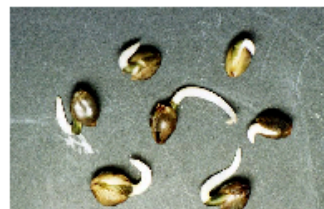
E. Elongación de tallos



F. Activación de crecimiento



G. Formación de raíces adventicias



H. Estimular germinación de semillas



I. Maduración de cloroplastos

RESPUESTAS

A. Ácido abscísico; B. Etileno; C. Auxinas; D. Ácido abscísico; E. Giberelinas y auxinas; F. Auxinas; G. Auxinas; H. Giberelinas y citoquininas; I. Citoquininas.

Actividad 4: Usos de las fitohormonas

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



Un agricultor desea mejorar sus cultivos y necesita ciertas fitohormonas sintéticas para lograrlo. Concorre con su lista de objetivos al vivero/agronomía de su zona, pero el empleado es nuevo y no sabe qué venderle para cada caso. Aquí está la lista de sus objetivos. Completa con la fitohormona que debe adquirir para lograrlos y expícale al empleado porqué.

Objetivo	Fitohormona sintética que necesita	Porque..
Mantener más tiempo el color verde en las hojas de sus hortalizas		
Inhibir el crecimiento de los tallos de sus plantas		
Matar malezas		
Inducir la germinación de sus semillas		
Impedir la caída prematura de las peras de sus perales		
Aumentar la longitud de los tallos de la caña de azúcar		
Acelerar la maduración de sus tomates cultivados en invernadero.		

RESPUESTA

Objetivo	Fitohormona sintética que necesita	Porque..
Mantener más tiempo el color verde en las hojas de sus hortalizas	Citoquinina Giberelina	Las citoquininas y las giberelinas retrasan la senescencia de las hojas

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



Inhibir el crecimiento de los tallos de sus plantas	ABA	El ABA es una fitohormona inhibidora del crecimiento en general
Matar malezas	Auxina	Las auxinas en altas concentraciones tienen efecto herbicida sobre malezas dicotiledóneas
Inducir la germinación de sus semillas	Giberelina	Las giberelinas rompen la dormición de las semillas
Impedir la caída prematura de las peras de sus perales	Auxina	Las auxinas intervienen en retraso de la caída de órganos
Aumentar la longitud de los tallos de la caña de azúcar	Giberelina	Las giberelinas promueven el crecimiento excesivo de los tallos
Acelerar la maduración de sus tomates cultivados en invernadero.	Etileno	El etileno acelera la maduración de los frutos

MATERIAL DE CONSULTA

Videos

☐Tropisms

http://www.youtube.com/watch?v=uF6t_nTTD7s&feature=related

Este video esta en ruso, pero las imágenes resulta claras y útiles.

☐Time Lapse of Plants Growing

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



<http://www.youtube.com/watch?v=W-FO8tZQGfk&feature=fvwrel>

Aquí te puede ver claramente como unas plántulas recién germinadas siguen la luz en su crecimiento.

▮Plant Physiology: Phototropic Response

Para entender mejor las respuestas de las plantas a la luz y a la gravedad.

http://www.youtube.com/watch?v=zctM_TWg5lk&feature=fvwrel

Libros

▮**Fisiología Vegetal** de Eduardo Zeiger, Lincoln Taiz Edit. Universitat Jaume I (2007). Fisiología vegetal.

▮**Metabolismo y modo de acción de fitohormonas** de María Dolores Rodríguez Martín, Carlos Nicolás Rodríguez, Universidad de Salamanca. Editado por la Universidad de Salamanca, (2004).

Sitios

▮**Sociedad Argentina de Fisiología Vegetal**

<http://www.safv.com.ar/>

▮**Plant hormones website**

<http://www.plant-hormones.info/>

Este sitio en idioma inglés provee información general de hormonas de plantas y contiene una lista de los grupos de investigación en distintos países que estudian las fitohormonas.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.