



## RESPUESTAS DE LAS PLANTAS AL ESTRÉS

Si una persona, un perro, un gato, o cualquier mamífero se enfrentan a una situación de estrés, su organismo produce adrenalina. Esta hormona lo preparará para movilizar grandes cantidades de energía, lo que le permitirá reaccionar a ese estrés, ya sea peleando o escapando. Pero, ¿qué hace una planta en esa situación? Ciertamente no puede escapar. Debido a su naturaleza sésil, las plantas deben prosperar en el lugar que les toca crecer y la manera en que lo hacen es asombrosa ya que, aunque no se note a simple vista, reaccionan ampliamente a las situaciones de estrés, lo que les permite subsistir.

### Las plantas también se estresan

A través de todo el planeta, las plantas habitan un amplio rango de ambientes con diversas combinaciones de condiciones abióticas (factores como sequía, frío, calor, salinidad, etc.) y múltiples interacciones bióticas (con otros seres vivos). Existen plantas que crecen en ambientes con temperaturas que alcanzan los  $-35^{\circ}\text{C}$ , en zonas que sobrepasan los  $55^{\circ}\text{C}$ , en lugares donde la radiación alcanza picos máximos, en sitios donde la oscuridad es total, en regiones secas, o con alta salinidad. La falta de agua, los suelos salinos y las bajas temperaturas son las situaciones adversas más frecuentes que las plantas deben afrontar y esto es lo que se conoce como estrés. En este contexto, entonces, se define al estrés como el conjunto de condiciones capaces de producir una influencia desventajosa en los procesos fisiológicos de las plantas. Como resultado, el estrés puede ocasionar desde cambios en el crecimiento hasta daño en células y/o tejidos, y modificar la expresión de genes. Existen múltiples tipos de estrés que, comúnmente, se dividen en: abióticos (físicos y químicos) y bióticos (ver Tabla). A estas señales externas deben sumarse factores internos propios de la planta, es decir, su nivel hormonal previo al estrés, su genotipo, momento del ciclo celular por el que atraviesa, así como también la duración e intensidad de cada tipo de estrés. Según estudiosos del tema, la interacción de estos factores genera  $10^{10}$  (o sea 100 mil millones) de combinaciones posibles de factores estresantes. Esto da una idea de lo vasto y complejo que resulta el estudio del estrés y las respuestas de las plantas.

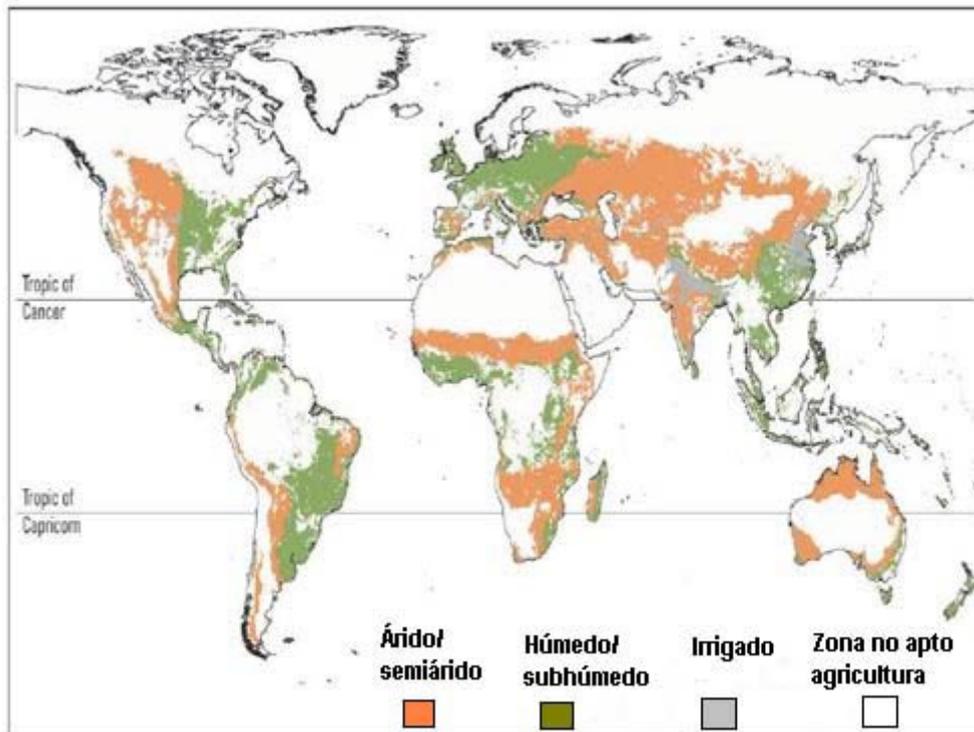
Tabla: Lista parcial de las fuentes de estrés ambiental en las plantas

Abiótico		Biótico
Físico		Quím
Sequía Temperatura Radiación Inundación Viento Daño mecánico Campo magnético	Polución M. pesados Pesticidas Toxinas PH del suelo Salinidad	Competencia Alelopatía Herbivoría Patógenos

## Ambientes adversos más frecuentes y las reacciones de las plantas

### Estrés hídrico

La mayoría de las plantas están expuestas a distintos grados y tipos de estrés en algún momento de su desarrollo, pero sin duda la falta de agua es la fuente de estrés más común y frecuente. En la Argentina, las áreas subhúmedas, semiáridas y áridas (tierras secas), representan el 75% de la superficie total (según datos de la Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental de la Nación). A nivel mundial, Naciones Unidas calcula que la sequía y la desertificación afectan a una de cada tres personas en el mundo, totalizando 2.100 millones que viven en tierras secas o áridas, y 1.000 millones que tienen su subsistencia amenazada por la desertificación, una situación que se extiende por todos los continentes, según datos de la ONU. Las tierras secas, que abarcan desde desiertos a zonas semiáridas y subhúmedas, con lluvias escasas e irregulares, ocupan más del 40% de la superficie del planeta (Figura 1), acogen un tercio de las cosechas y la mitad del ganado. La degradación de esas tierras representa un problema a gran escala con consecuencias económicas, sociales y ambientales en un centenar de países del mundo. Se estima que para el 2025, cerca de dos tercios de la población mundial vivirán en áreas con déficit hídrico.



**Figura 1: Mapa de zonas áridas, húmedas, irrigadas y desérticas del mundo.**

Fuente: <http://strikehold.files.wordpress.com/2010/04/syngentafoundation-778.jpg?w=495&h=373>

Los procesos evolutivos han dotado a las plantas de combinaciones elaboradas de rasgos morfológicos, anatómicos, fisiológicos y de comportamiento, manteniendo



poblaciones exitosas en diversas condiciones ambientales. En zonas donde falta agua, la relación entre la superficie y el volumen es un valor fundamental en la adaptación a estas condiciones de escasez: captar la mayor cantidad posible de luz solar es una función necesaria en toda planta, pero a través de la superficie de las hojas también se pierde agua. Las plantas de los climas secos y donde abunda la luz, como en los desiertos, tienen formas esféricas, ya que la esfera es el cuerpo que ofrece una menor superficie para un volumen dado. Otra capacidad de estas plantas es eludir la falta de agua mediante un ciclo de vida corto en el cual producen poca biomasa y cuando la disponibilidad de agua es casi nula se mantienen en estado de semilla. Hojas pequeñas u hojas como espinas son otra posibilidad a la hora de reducir la evaporación y captar algo de rocío. Otras plantas son como enormes barriles que almacenan el agua en sus tallos, como por ejemplo los cactus y las euforbias (Figura 2a); otras poseen raíces muy desarrolladas para absorber el poco agua disponible. Hay plantas que pasan la estación desfavorable en forma de yemas protegidas en bulbos, rizomas, tubérculos... el resto de la planta puede morir (Figura 2b). Muchos árboles detienen su actividad y pierden sus hojas, pero conservan sus yemas bien protegidas por escamas.



**Figura 2 a y b: Adaptaciones que evitan la pérdida de agua**

La evolución ha dotado a las plantas de características que le permiten hacer frente a la falta de agua. a) Hojas pequeñas y los reservorios de agua como los que poseen los cactus.

Fuente: [http://2.bp.blogspot.com/\\_XHAiXUxG\\_EY/SqUKpNvq9xI/AAAAAAAAAABc/7gUPO50ffBg/s320](http://2.bp.blogspot.com/_XHAiXUxG_EY/SqUKpNvq9xI/AAAAAAAAAABc/7gUPO50ffBg/s320)

[/Plantas+043.jpg](#)

b) Yemas protegidas en bulbos durante la estación desfavorable.

Fuente: [http://www.aquaplant.cl/aquadulce/plantas/InfoPlantas/NuevasPlantas/img/crinum\\_t\\_haianum.jpg](http://www.aquaplant.cl/aquadulce/plantas/InfoPlantas/NuevasPlantas/img/crinum_t_haianum.jpg)

Sin embargo, existen limitantes biofísicas y bioquímicas en la estructura y función de las plantas que impiden el desarrollo de ciertos rasgos y características en un hábitat en particular. Entonces, más allá de las adaptaciones al déficit hídrico ¿qué le pasa a una planta cuando le falta agua? Las plantas responden a la falta de agua y esa respuesta depende principalmente de la intensidad y duración de ese estrés. Cuando



recién comienza el estrés, la planta entra en lo que podríamos llamar "fase de alarma", en la cual disminuye o detiene sus funciones fisiológicas básicas: al disminuir el contenido de agua en la planta, las células pierden turgencia, en consecuencia la expansión celular se detiene y con ello disminuye el crecimiento de las hojas. Con menor área foliar (superficie de la hoja) la planta transpira menos, conservando el agua limitante en el suelo para su uso por períodos más prolongados. Se considera entonces la reducción del área foliar como la primera línea de defensa frente al estrés hídrico. La pérdida de turgencia se manifiesta en el aspecto marchito de las hojas, que toma distintas formas según la especie (Figura 3). En los cereales,

por ejemplo, la hoja se enrolla mientras que en el tomate pierde su posición erguida.

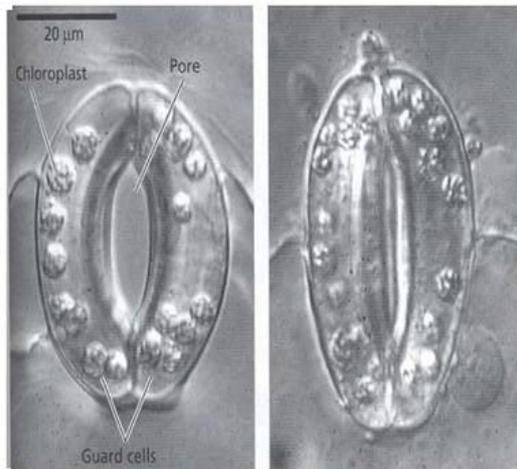


**Figura 3: Hojas en estrés hídrico** A comienzos del estrés las hojas pierden turgencia y presentan una apariencia flácida.

Fuente: [http://www.salinitymanagement.org/Salinity%20Management%20Guide/images/module\\_sp/sp7c06.jpg](http://www.salinitymanagement.org/Salinity%20Management%20Guide/images/module_sp/sp7c06.jpg)

Luego de la fase de alarma, la planta entra en una "fase de resistencia", acomodando el metabolismo celular a las nuevas condiciones: como consecuencia de la inhibición en la expansión de las hojas, la planta reduce el consumo de carbono y energía; una gran proporción de los fotoasimilados (sustancias sintetizadas mediante la fotosíntesis, ver cuaderno n° 106 y 107) se redistribuyen hacia las raíces donde se utilizarán para el futuro crecimiento de la planta. Se genera así una disminución en la relación vástago/raíz, pues crece más la raíz que la parte aérea de la planta. En estas circunstancias, las raíces crecen preferencialmente hacia capas más profundas del suelo, donde la pérdida de agua es menor. Sin embargo, si la planta ya tiene fruto, esa parte de la planta será el destino privilegiado para las sustancias nutritivas, ya que de él depende la perpetuación de la planta a través de las semillas. De esta manera, se alcanza un estado fisiológico óptimo para las nuevas condiciones. En la naturaleza la falta de agua puede darse no gradualmente, sino de manera repentina. En esos casos, cuando el estrés es rápido, o cuando se produce luego de que el área foliar ya llegó al máximo, la planta responde cerrando los estomas, unos poros que poseen las hojas por los que respiran y transpiran (Figura 4). Al cerrar los

estomas, reduce la transpiración y por lo tanto la pérdida de agua. Esta respuesta puede generarse de dos maneras: de forma pasiva, por la pérdida de turgencia en las células que forman los estomas (o células de la guarda) cuando las condiciones atmosféricas son demandantes, o de manera activa donde el cierre estomático es determinado por el estado hídrico de toda la hoja o de las raíces, y en el que intervienen procesos metabólicos.



**Figura 4: Fotografía microscópica de un estoma**

Los estomas son poros (Pore) presentes en las hojas, por donde la planta realiza el intercambio gaseoso. Poseen dos células encargadas de su apertura (foto izquierda) y cierre (foto derecha), llamadas células de la guarda (Guard cells). En la fotografía también se indican los cloroplastos (Chloroplast), organelas donde se realiza la fotosíntesis.

Fuente: [http://www.colorado.edu/geography/class\\_homepages/geog\\_3251\\_sum08/01\\_stomata.jpg](http://www.colorado.edu/geography/class_homepages/geog_3251_sum08/01_stomata.jpg)

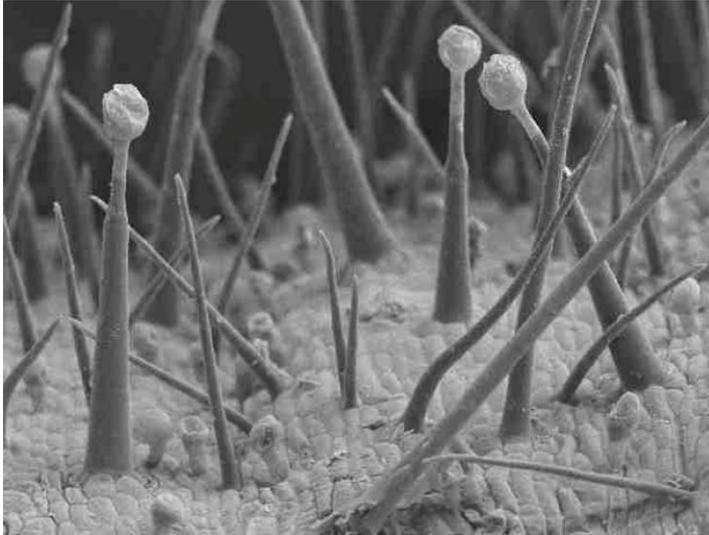
En los comienzos del estrés, el cierre de los estomas hace que la planta use más eficientemente el agua, debido a que transpira menos. Pero, cuando la intensidad o duración del estrés aumenta, la planta entra en la "fase de agotamiento" y comienza a afectarse la fotosíntesis (ver cuaderno n° 106 y 107); progresivamente se irá inhibiendo el metabolismo de las hojas y con ello la cantidad de fotoasimilados disponibles para ser exportados desde las hojas hacia otras partes de la planta. Este proceso de distribución de fotoasimilados, llamado translocación, también se verá afectado, pero solo en estadios tardíos del estrés, lo que permite a las plantas movilizar y usar reservas donde lo necesitan (por ejemplo en las semillas en crecimiento) aún en condiciones de estrés severo. En la mayoría de las especies, la habilidad de translocar fotoasimilados es el factor clave de su resistencia a la sequía. Cuando la falta de agua es muy severa, la mayoría de las plantas poseen también la capacidad de responder mediante un mecanismo que involucra un incremento en la concentración de iones y de solutos compatibles (moléculas que pueden acumularse en la célula sin modificar el metabolismo central, ver cuaderno n° 105). Este es un proceso complejo, multifactorial, pero podría resumirse del siguiente modo: las



plantas poseen una característica físico-química denominada potencial hídrico que determina la dirección e intensidad del movimiento del agua en relación con su ambiente. El potencial hídrico será más bajo, más negativo, cuanto mayor sea la concentración de iones y solutos en las células. El tejido que posea un potencial hídrico bajo, tenderá a absorber agua de su entorno (siempre que este presente un potencial hídrico más elevado). Este diferencial tiene como consecuencia, entonces, la entrada de agua a la célula. El proceso fisiológico de sintetizar solutos se denomina ajuste osmótico y la planta capaz de realizarlo, puede mantener la elongación celular, la turgencia de sus hojas y facilitar el intercambio gaseoso aún cuando el agua es escasa.

### **Estrés salino**

En condiciones naturales, las plantas terrestres superiores se encuentran con tierras de alta concentración salina, ya sea en cercanías al mar o en estuarios, donde el agua marina y el agua fresca suelen mezclarse. En zonas lejanas a la costa, filtraciones naturales de sales provenientes de depósitos geológicos marinos pueden ser arrastradas hacia zonas adyacentes generando tierras estériles para la agricultura. Sin embargo, un problema aún mayor es la acumulación de sales como consecuencia del riego. La evaporación y transpiración remueven del suelo el agua pura como vapor y, si el agua de riego contiene altas concentraciones de sales que no tienen posibilidad de fluir, estas se acumulan alcanzando niveles que son dañinos para la mayoría de las especies. Se estima que cerca de 1/3 de las zonas irrigadas en la Tierra están afectadas por estrés salino. Solutos disueltos en la zona de la raíz de una planta generan una baja en el potencial hídrico del suelo. Así, el balance general de agua de la planta es afectado, porque las hojas necesitan desarrollar un potencial hídrico aún menor para mantener el gradiente cuesta arriba entre el suelo y las hojas. En este caso, el efecto de la sal es el mismo que el producido por déficit hídrico, ya que la consecuencia es también la deshidratación. Asimismo y en paralelo, existe un efecto de la sal que está relacionado con la toxicidad misma del ión, al acumularse en concentraciones dañinas de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  o  $\text{SO}_4^{2-}$  en las células. Uno de los posibles mecanismos de toxicidad del  $\text{Na}^+$  es el hecho de estar directamente involucrado con la interferencia en los transportadores celulares de  $\text{K}^+$ , un macronutriente esencial. ¿Qué ocurre en la planta ante esta situación? A nivel celular, las plantas disminuirán su potencial hídrico mediante varios procesos: acumulación de los iones en una vacuola (ver Cuaderno n° 80) o expulsándolos hacia fuera de la célula y/o sintetizando solutos compatibles en el citoplasma celular. A nivel fisiológico, las plantas reducen el daño ocasionado por la sal excluyéndola de los meristemas (regiones de la planta en crecimiento). La presencia de  $\text{Na}^+$  en las hojas es minimizada por su absorción en el flujo de sus vasos conductores durante la transpiración. Existe un grupo de plantas, denominadas halófitas, que no excluyen el  $\text{Na}^+$ , sino que poseen unas glándulas en la superficie de las hojas donde almacenan la sal en forma de cristales (Figura 5).



**Figura 5:Glándulas salinas. Adaptación frente a la sal**

Las plantas halófitas poseen unas glándulas en la superficie de sus hojas donde almacenan la sal en forma de cristales Fuente:

<http://www.efn.uncor.edu/dep/biologia/intrbiol/malvo250.jpg>

### **Bajas temperaturas**

La baja temperatura es un fenómeno que aparece periódicamente en el 90% de las tierras secas del planeta. Aunque la biomasa de la zona ecuatorial posee una amplia variedad de géneros y especies, las plantas que alimentan al mundo crecen principalmente en regiones donde las bajas temperaturas son un problema ambiental. Hay dos tipos de daño que las plantas pueden sufrir al ser expuestas a bajas temperaturas. El primero es el daño por enfriamiento que ocurre aproximadamente entre los 20° C y 0° C. El daño resultante incluye, dependiendo del estado en el que se encuentre la planta, una variedad de interrupciones fisiológicas en la germinación (ver cuaderno n° 109), en el desarrollo de flores y frutos, retardo en la maduración, entre otros. Además, el enfriamiento modifica el metabolismo celular (ver cuaderno n° 105) ya que son afectadas las reacciones enzimáticas, la velocidad a la que las sustancias se mueven dentro de las células, la fluidez de las membranas, con lo que el transporte de agua y nutrientes a través de las mismas puede variar y afectar la producción de la planta. A menudo, el estrés por enfriamiento a temperaturas no letales es reversible. Las especies vegetales adaptadas a regiones templadas del planeta varían durante el transcurso del año en su habilidad para sobrevivir al frío: la mayoría de las especies poseen una habilidad denominada "aclimatación". Este mecanismo le permite a la planta percibir las bajas temperaturas sobre cero durante el avance del invierno, disparar procesos bioquímicos específicos y reducir o eliminar el daño producido. Estos mecanismos incluyen principalmente la prevención de la desnaturalización de proteínas y precipitación de moléculas y la acumulación de solutos compatibles (principalmente de sacarosa y otros azúcares) que parecen contribuir de forma directa a la estabilización de las membranas celulares.



El segundo tipo de daño es el causado por congelamiento y ocurre cuando la temperatura externa cae por debajo del punto de congelación del agua. Lo que experimentan las plantas en esta situación es un congelamiento dentro y/o fuera de sus células. Cuando el congelamiento es intracelular, se daña la estructura citoplasmática y los cristales de hielo formados pueden literalmente matar a la célula. No es mejor la suerte que se corre si el congelamiento es extracelular, puesto que la formación de hielo fuera de la célula impone una fuerza deshidratadora a la solución no congelada intracelular, determinando que el agua sea transferida desde el interior hacia los cristales de hielo formados fuera de la célula. Como consecuencia, las membranas se van arrugando a medida que el volumen celular disminuye. Según la planta, la tolerancia a bajas temperatura difiere. Algunas variedades son tan susceptibles al daño por congelamiento que pueden morir al primer contacto con una helada (el arroz, el maíz y el tomate); no toleran hielo en sus tejidos y muestran rápidamente síntomas de daño que incluyen apariencia flácida con pérdida de turgencia. El ejemplo opuesto se encuentra en algunos pastos, que pueden soportar la presencia de hielo extracelular en sus tejidos y sobrevivir a  $-40^{\circ}\text{C}$ . En cuanto a las adaptaciones anatómicas y fisiológicas a zonas frías, las plantas que habitan estas regiones suelen tener formas redondeadas, muchos tallos densamente apretados, lo que genera un microambiente interior caldeado y resguardado del viento. Con esta forma se consigue retener también la humedad y los nutrientes (ya que estas plantas suelen vivir en sitios rocosos y muy azotados por el viento). Otras plantas de lugares fríos están recubiertas por una densa maraña de pelos lanosos, o son de colores oscuros para absorber calor y derretir la nieve. Existen plantas que pasan el invierno bajo tierra en forma de bulbo, como el tulipán y el jacinto, donde han almacenado alimentos. Hay árboles que pierden todas las hojas en invierno para que no se hielen, y otros que poseen hojas en forma de aguja y recubiertas de una capa dura para protegerse, como ocurre en los pinos, que pueden soportar temperaturas inferiores a los  $-50^{\circ}\text{C}$  (Figura 6).



**Figura 6: Bajas temperaturas**

Los pinos son un ejemplo de especies vegetales que pueden vivir en condiciones de frío extremo.



Fuente: <http://www.fotonatura.org/galerias/fotos/usr10526/KDD-BN.jpg>

### **La clave de la respuesta al estrés: el ácido abscísico**

Las respuestas de las plantas a cada tipo de estrés son variadas y particulares. Sin embargo, existe un factor común a todas estas respuestas. Ese factor es una hormona vegetal, llamada ácido abscísico (comúnmente mencionada por sus siglas: ABA). El ácido abscísico fue descubierto a principio de los años '60 de forma independiente por varios grupos de investigación. Se sabe que el ABA es necesario para el desarrollo de las semillas, regulando procesos esenciales para la vitalidad y la germinación. En 1970 se logró demostrar que la pérdida de agua causaba una rápida acumulación de ABA en la planta. Una década después, ya se sugería que en el suelo seco las raíces deshidratadas sintetizan ABA rápidamente y esto producía un aumento en su concentración en el flujo xilemático (vasos conductores de las plantas), viajando como información química, hasta alcanzar hojas y yemas, aún turgentes. Allí interviene en el cierre de los estomas, como una señal a larga distancia desde la raíz, o liberándose desde los reservorios de la hoja como resultado de la deshidratación propia del tejido foliar. A largo plazo, además, el ABA influye sobre la tasa de crecimiento de raíces y hojas, aumentándola e inhibiéndola, respectivamente. No importa cual sea el motivo de estrés, ya que en general el resultado es la deshidratación celular, el ABA es la señal de que algo anda mal. A partir de su síntesis o liberación, se desencadenan procesos que conducen a salvar la situación. Además de la respuesta fisiológica, los procesos que involucran al ABA incluyen (en un estadio más avanzado del estrés), el encendido de toda una batería de genes (se cree que son cientos) cuyos productos intervienen en la respuesta a la adversidad: el ABA induce la síntesis de proteínas con funciones protectoras, proteínas de canales de agua, enzimas necesarias para la síntesis de osmoprotectores, proteínas anticongelantes, y muchas otras. Por esta razón, generalmente se refiere al ABA como la "hormona del estrés".

### **Lo que puede hacer la biotecnología por las plantas estresadas**

Es sabido que el cambio climático está alterando, entre otras cosas, los regímenes de precipitaciones. Es por ello que la agricultura debe adaptarse empleando estrategias que van desde cambiar las prácticas agrícolas tradicionales, hasta el desarrollo de cultivos genéticamente modificados (ver cuaderno nº 5 y 8) que puedan tolerar mejor las sequías y otros tipos de estrés. Varias son las disciplinas científicas que, junto a la biotecnología, han puesto el foco en detectar los genes con que la naturaleza dotó a las plantas adaptadas a condiciones de estrés extremas, con el objetivo de identificarlos, aislarlos e insertarlos en plantas de interés agronómico (ver cuadernos nº 4, 6, 18, 26 y 28). Existen numerosos grupos de investigación alrededor del mundo que estudian desde hace años este tema tan complejo. Según los expertos, es probable que para la próxima década los productores tengan en sus manos plantas de interés comercial resistentes a la sequía. Actualmente, compañías multinacionales participan en



proyectos junto a instituciones públicas y privadas, aunando esfuerzos para poner la tecnología de maíz tolerante a la sequía a disposición de los pequeños agricultores de Kenia, Ruanda, Tanzania y Sudáfrica. También existen líneas de investigación abiertas en países como Argentina o Estados Unidos, en cultivos de algodón y soja. Otras empresas trabajan en desarrollos de híbridos de maíz capaces de usar el agua de modo más eficiente, manteniendo un mejor comportamiento en los períodos de estrés hídrico. En México, varios investigadores han identificado en condiciones naturales variedades de maíz que toleran la falta de agua, han aislado esos genes, los han secuenciado y están haciendo transformación genética de las variedades que más rinden. Recientemente, científicos australianos han conseguido expresar el gen de una proteína transportadora de sal exclusivamente en las células de las raíces de arroz. Esta nueva estrategia permitiría acumular la sal en las raíces, minimizando el daño en el resto de la planta. Asimismo, un grupo argentino de la UNL diseñó plantas transgénicas (ver cuadernos nº 18, 26 y 28) capaces de soportar heladas, sequías y la salinidad excesiva de los suelos. Aunque aún se encuentran en etapa de laboratorio, los resultados en especies modelo son muy alentadores. En la actualidad existen en el mercado plantas transgénicas con un gen que les confiere resistencia específica a un estrés biótico como la presencia de insectos lepidópteros (maíz y algodón Bt), resistencia que, además, ha demostrado no afectar a otros insectos del ambiente. Solo es cuestión de tiempo, para que los aportes conjuntos del mejoramiento tradicional y la biotecnología vegetal, den sus frutos. La toma de conciencia en el uso racional del agua, sumado al cuidado del medio ambiente como política de estado y al esfuerzo de un sinnúmero de científicos, agricultores y productores, sin duda hará realidad la posibilidad de obtener alimentos en cantidad y calidad para las generaciones venideras.



- **CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS**  
**Evolución:** Resulta fundamental tener en claro que las diferentes características, **CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS** plantas no son "estrategias" o "búsquedas para resolver" las situaciones estresantes a las que se exponen, sino que son adaptaciones evolutivas. Esto significa que en su evolución, que los plantas han dado origen a un producto de un largo proceso evolutivo. Durante este proceso que las plantas hoy en día poseen ciertas características que les permiten vivir en esas condiciones más con sépt que en las que genéticamente podían sobrevivir en ambientes con condiciones de estrés. Esta idea pretende repasar un concepto de la evolución que es básico y que se refiere a la selección natural, la reproducción, y la herencia de las características. De esta forma también, se puede destacar la "no intencionalidad" de los cambios, es decir apoyar la teoría de la evolución de Darwin frente a las ideas de la teoría de Lamarck que sostenían la intencionalidad de los cambios y la herencia de los caracteres adquiridos. Las plantas no buscan modos de resolver la situación en la que se encuentran, sino que tienen características y funciones predeterminadas genéticamente que les permiten sobrevivir en esas condiciones.
- **Adaptación y Acomodación.** Vinculado con la idea anterior, es interesante distinguir entre adaptaciones (características heredadas producto de la evolución), y la acomodación. Si bien la acomodación misma también se puede considerar una característica heredada, se diferencia de las adaptaciones ya que implican un cambio en las características o funcionamiento del organismo en respuesta al estrés, y como un modo de "resolver" la situación. Por ejemplo, en el ser humano, una respuesta de acomodación conocida es la fabricación de mayor cantidad de glóbulos rojos al ascender a alturas donde la concentración de oxígeno es baja. Este cambio que se produce en el organismo, aunque está genéticamente "programado", es una característica "temporaria", que sólo se manifiesta en esa situación como un modo de "resolver" la necesidad de captar más oxígeno por minuto en un ambiente en el cual el oxígeno es escaso.
- 
- **Estructura y funcionamiento celular:** para comprender los mecanismos que permiten a las plantas sobrevivir a situaciones ambientales extremas, es necesario repasar las estructuras celulares. De este modo será posible interpretar los cambios en las vacuolas, en la turgencia celular, en la concentración de iones, en la fluidez de la membrana, entre otros cambios que se mencionan en este Cuaderno. También es importante repasar conceptos

vinculados con el transporte de sustancias a través de la membrana celular, transporte activo y pasivo, difusión, ósmosis, gradiente de concentración.

**Metabolismo**: repasar el concepto de metabolismo, como todas aquellas reacciones químicas que ocurren en un organismo, y que implican tanto reacciones de síntesis como de degradación. Por ejemplo, la síntesis de proteínas (trabajado en el Cuaderno nº 123).

**Estructura y funciones de las proteínas:** relacionado con el concepto anterior, se puede retomar conceptos relacionados con la estructura de las proteínas, la acción enzimática, la temperatura óptima de funcionamiento enzimático, la desnaturalización de proteínas y la inhibición de la función por inmovilidad a bajas temperaturas.

**Características de las plantas:** es importante, al trabajar este Cuaderno, que los alumnos conozcan las características de los seres vivos en general, y de las plantas en particular. Por ejemplo, debería estar claro que si bien las plantas no se desplazan, como hacen los animales, tienen la capacidad de moverse. Asimismo, aunque no responden como lo hace un animal, tienen la capacidad de captar los estímulos externos e internos y dar respuestas a ellos.

**Organismos extremófilos**: Un tema interesante para trabajar a partir de este Cuaderno, es el referido a los organismos extremófilos ("amantes de las condiciones extremas"), sus características y sus aplicaciones biotecnológicas (ver Cuaderno nº 57).

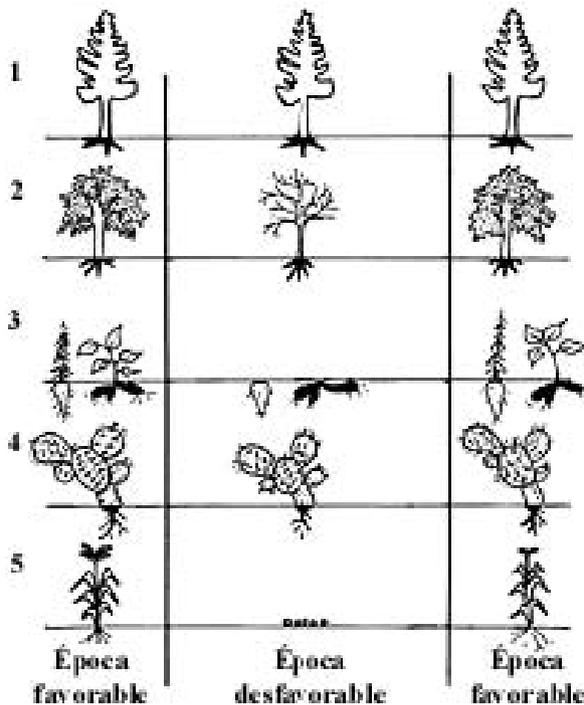
**Concepto de "estrés"**. Este término se usa habitualmente para referirse a situaciones que le suceden a los seres humanos, es decir que los alumnos tienen una idea del significado corriente del término. Es interesante discutir con los alumnos la idea que ellos tienen del concepto de "estrés", para luego arribar a una definición más amplia que abarque a las plantas, y a situaciones extremas a las que se exponen todos los seres vivos, y ante las cuales emiten una respuesta que les permite la supervivencia.



## El Cuaderno de Porqué Biotecnología

**Plantas transgénicas:** al trabajar este Cuaderno es una oportunidad para que los alumnos conozcan nuevos desarrollos biotecnológicos relacionados con plantas modificadas para resistir las condiciones extremas, y los beneficios que esto puede aportar a las agriculturas regionales (por ejemplo en zonas desérticas).

**ACTIVIDADES Actividad 1: Describir adaptaciones** Las maneras en que las plantas sobreviven frente a una estación desfavorable en el año son variadas, y aquí se representan algunas de ellas. Analizar el dibujo y responder que adaptación se muestra en cada caso:



Fuente:

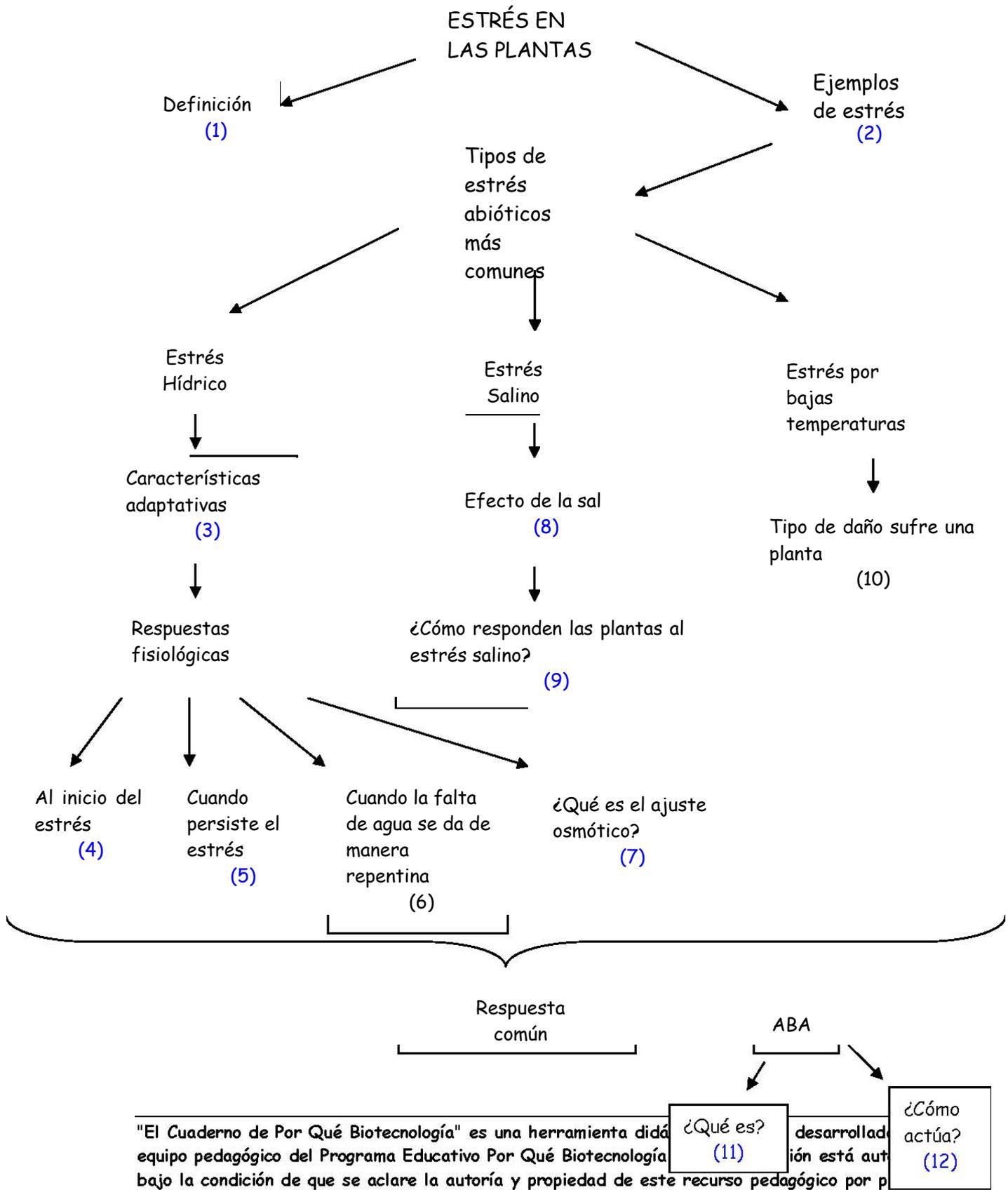
<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/48/imgs/f25p73.gif>

### Respuestas

1. Plantas con tejidos verdes muy resistentes al frío que no sufren mayores cambios y sólo interrumpen su crecimiento.
2. Árboles que pierden sus hojas en la época seca, disminuyendo así su gasto de agua.
3. Plantas de las que sólo sobreviven las partes subterráneas (bulbo, tubérculo).
4. Plantas con reservas de agua en sus tejidos que no sufren mayores cambios en la época seca.
5. Plantas de las que sólo sobreviven las semillas que darán origen a nuevos individuos.



**Actividad 2: Para fijar los conocimientos**  
A partir del texto, completar el cuadro sinóptico.





## Respuestas

1. Un estrés es el conjunto de condiciones capaces de producir una influencia desventajosa en los procesos fisiológicos de las plantas.
2. Sequía, inundación, altas y bajas temperaturas, salinidad del suelo, daño mecánico, efecto del viento, radiación, campo magnético, polución del ambiente, metales pesados, pesticidas, toxinas, PH del suelo, competencia, alelopatía, herbivoría, patógenos.
3. Las plantas de zonas secas suelen adoptar formas esféricas, tienen hojas pequeñas u hojas como espinas y reservorios de agua en los tallos. Sus raíces están muy desarrolladas, pueden proteger sus yemas en bulbos, rizomas, tubérculos, detener su crecimiento o perder sus hojas, conservando sus yemas entre escamas. Algunas plantas eluden la falta de agua con un ciclo de vida corto, producen poca biomasa y cuando la disponibilidad de agua es casi nula se mantienen en estado de semilla.
4. Si la falta de agua se presenta de manera gradual, las células pierden turgencia, dejan de elongarse y como consecuencias las hojas disminuyen su crecimiento. Así, con menor área foliar la planta transpira menos, conservando el agua limitante en el suelo para su uso por períodos más largos.
5. Como consecuencia de la inhibición en la expansión de las hojas, la planta reduce el consumo de carbono y energía; una gran proporción de los fotoasimilados se redistribuyen hacia las raíces que crecerán preferencialmente hacia capas más profundas del suelo, donde la pérdida de agua es menor. El fruto también es un destino de fotoasimilados ya que será el que perpetúe la planta a través de las semillas.
6. Cuando el estrés es rápido o cuando se produce luego de que el área foliar ya llegó al máximo, la planta responde cerrando sus estomas. De esta manera, reduce la transpiración y por lo tanto la pérdida de agua. Si la duración del estrés aumenta, la eficiencia en el uso del agua disminuye y comienza a afectarse la fotosíntesis: se irá inhibiendo el metabolismo de las hojas y con ello la cantidad de fotosintatos disponibles para ser exportados desde las hojas hacia otras partes de la planta. En estadios muy avanzados, también se verá afectada esta capacidad de translocar los fotosintatos.
7. Es un mecanismo que involucra un incremento en la concentración de iones y de solutos compatibles. Las plantas poseen una característica físico-química denominada potencial hídrico que determina la dirección e intensidad del movimiento del agua en relación con su ambiente. El potencial hídrico será más bajo, más negativo, cuanto mayor sea la concentración de iones y solutos en las células. El tejido que posea un potencial hídrico bajo, tenderá a absorber agua de su entorno. Este diferencial tiene como consecuencia, entonces, la entrada de agua a la célula. La planta capaz de realizarlo, puede mantener la elongación celular, la turgencia de sus hojas y facilitar el intercambio gaseoso aún cuando el agua es escasa.
8. El efecto de sal es doble ya que, por un lado deshidrata a las células y por otro tiene un efecto tóxico, propio del ión.



9. A nivel celular, las células vegetales disminuyen su potencial hídrico mediante la acumulación de iones en la vacuola, expulsándolos hacia fuera de la célula o sintetizando solutos compatibles en el citoplasma celular. A nivel fisiológico, las plantas minimizan el daño ocasionado por la sal excluyéndola de los meristemas, en general mediante su absorción a nivel de xilema durante la transpiración. Un grupo particular de plantas poseen glándulas en la superficie de las hojas donde almacenan la sal en forma de cristales.
10. Si la temperatura está entre los 20° C y 0° C, la planta sufre daño por enfriamiento. La mayoría de las especies poseen una habilidad denominada "aclimatación" que hace reversible este daño (que afecta principalmente la germinación de la semilla y el desarrollo de la planta). La aclimatación involucra mecanismos de prevención de la desnaturalización de proteínas y precipitación de moléculas, acumulación de solutos y estabilización de las membranas celulares. Si la temperatura externa cae por debajo del punto de congelación del agua, lo que experimentan las plantas en esta situación es un congelamiento intra y/o extracelular. Cuando el congelamiento es intracelular, se daña la estructura citoplasmática y los cristales de hielo formados pueden matar a la célula; si el congelamiento es extracelular, la formación de hielo fuera de la célula impone una fuerza deshidratadora a la solución no congelada intracelular, es decir que el agua celular es transferida a los cristales de hielo que se forman en los espacios intercelulares.
11. El ácido abscísico o ABA es una hormona vegetal. El ABA, también llamada la hormona del estrés, es el factor común en la respuesta de las plantas a todo tipo de estrés, ya que sus niveles normales se incrementan cuando es percibida una situación ambiental desfavorable.
12. El ABA puede actuar como señal a larga distancia entre tejidos o liberándose de los reservorios de las hojas. Puede determinar el cierre estomático y/o la activación de una batería de genes que producen proteínas relacionadas con la respuesta al estrés.

### Actividad 3: Para analizar en clase

Los siguientes links proveen mapas de la república Argentina donde se detallan las zonas áridas, salinas, regiones con diferentes temperaturas, Ph del suelo, efecto de los vientos y otros. Mapa zonas secas

[http://www.apsavt.com.ar/images/imagen\\_947\\_g.jpg](http://www.apsavt.com.ar/images/imagen_947_g.jpg)

Mapa temperaturas

[http://www.zonu.com/imapa/americas/Mapa\\_Temperaturas\\_Argentina.jpg](http://www.zonu.com/imapa/americas/Mapa_Temperaturas_Argentina.jpg)

Mapa climas

<http://www.visitingargentina.com.ar/mapas/mapa-climas-argentina.jpg>

Mapa erosión eólica

<http://lageografia.files.wordpress.com/2008/10/argentina-erosion-eolica.gif>



<http://lageografia.files.wordpress.com/2008/10/argentina-erosion-eolica-como-limitante-de-la-produccion-del-suelo.gif>

<http://www.fao.org/ag/aql/agll/lada/arg/archivos/03%20-%20Propiedades/mapaeolica.htm>

Mapa salinidad Argentina

<http://www.fao.org/ag/aql/agll/lada/arg/archivos/04%20-%20Recursos/mapasalinidad.htm>

Mapa uso potencial de las tierras Argentina

<http://www.fao.org/ag/aql/agll/lada/arg/archivos/06%20-%20Uso/mapa.htm>

Mapa vegetación argentina

<http://www.fao.org/ag/aql/agll/lada/arg/archivos/04%20-%20Recursos/mapavegetacion.htm>

Mapa ph suelos Argentina

<http://www.fao.org/ag/aql/agll/lada/arg/archivos/04%20-%20Recursos/mapaalcalinidad.htm>

Utilizando estos mapas, pensar y debatir en clase los siguientes aspectos:

- . Observar qué regiones son las óptimas para la agricultura (comparar los distintos mapas).
- . Buscar ejemplos de especies que viven en cada región.
- . Discutir qué otros tipos de estrés afectan a las plantas.
- . Investigar cuáles son las especies que toleran climas adversos extremos.
- . Determinar qué tipo de adaptaciones evolutivas desarrollaron estas plantas para poder vivir en las distintas zonas.
- . Debatir qué podemos hacer nosotros para mejorar el uso del agua

#### **Actividad 4: Periodistas por un día**

En el siguiente link se encuentra una nota periodística que describe un desarrollo argentino de plantas resistentes a la sequía y a las heladas de la Universidad del Litoral y el Conicet. <http://www.unl.edu.ar/noticias/noticia.php?nid=7309>

-Leer con los alumnos el artículo y analizar su contenido. (Puede ser a través de un cuestionario o guía)

-Con esta nota a modo de ejemplo, pedirles a los alumnos que en forma grupal elijan una institución o universidad y un cultivo resistente a algún tipo de estrés que ellos consideren que puede ser útil para nuestro país. (Ejemplo: INTA o Universidad de Buenos Aires - Cultivo "imaginario" elegido: maíz resistente a la sequía).

-Imaginar que son periodistas y, en base al contenido de este cuaderno y la nota, elaborar una serie de preguntas que le realizarían al grupo de investigación de la institución elegida acerca del cultivo en cuestión.

Ejemplos de preguntas que pueden realizarse:



## El Cuaderno de Porqué Biotecnología

- ¿Cuál es el interés por obtener estos cultivos?
- ¿En qué zona se cultivarán?
- ¿Cuáles fueron los pasos seguidos en el proceso de investigación?
- ¿Cómo llegaron a descubrir el gen que confiere la característica de resistencia a la sequía?
- ¿Hay algún interés por obtener otros cultivos con esta misma característica?  
¿Por qué?
- ¿Cuántos años de estudio llevó esta investigación? ¿Cuándo veremos este cultivo en el campo, ya sembrado?



## El Cuaderno de Porqué Biotecnología

- Páginas de interés sobre factores de estrés Instituto argentino de investigaciones de zonas áridas (IADIZA)

<http://wiki.mendoza-conicet.gob.ar/iadiza>

Instituto de Biología Molecular y Celular de Plantas (IBMCP)

<http://www.ibmcp.upv.es/>

Institute of Plant Physiology, Plant Stress Molecular Biology Department (Sofia, Bulgaria)

<http://www.bio21.bas.bg/ipp/molecular/molecular.html>

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

<http://www.inta.gov.ar/index.asp>

- Artículos sobre la fisiología del estrés

[http://www.uach.mx/extension\\_y\\_difusion/synthesis/2009/04/27/Fisiologia\\_%20d\\_el\\_estres\\_ambiental\\_en\\_plantas.pdf](http://www.uach.mx/extension_y_difusion/synthesis/2009/04/27/Fisiologia_%20d_el_estres_ambiental_en_plantas.pdf)

<http://www.bibliociencias.cu/gsd/collect/libros/index/assoc/HASH01fe.dir/doc.pdf>

[http://www.inta.gov.ar/ediciones/2004/biotec/parte8\\_cap12.pdf](http://www.inta.gov.ar/ediciones/2004/biotec/parte8_cap12.pdf)

- Videos

Nuevos avances para aumentar la resistencia de los cultivos a las situaciones de sequía. [http://www.youtube.com/watch?v=xBS67nlH6\\_U](http://www.youtube.com/watch?v=xBS67nlH6_U)

Nuevo sensor para hojas alerta cuando las plantas tienen sed

<http://arquitecturaverdeinteractiva.blogspot.com/2010/04/nuevo-sensor-para-hojas-alerta-cuando.html> - El video esta en inglés, pero la explicación del texto es en

español.