

Plantas Carnívoras



Susana Cruz

Sara Jiménez

Irene Nieto

Beatriz Villarejo

INTRODUCCIÓN A LAS PLANTAS CARNÍVORAS

Durante el siglo XVII, algunos científicos observaron y propusieron la existencia de plantas capaces de digerir pequeños insectos. Uno de ellos fue Darwin, quien reparó en este tipo de planta al observar gran cantidad de insectos adheridos en las hojas de *Drosera* y profundizó en este grupo publicando su libro "*Plantas insectívoras*". Inicialmente se las denominó así, pero se han llegado a descubrir plantas que digieren arañas, invertebrados, y pequeños vertebrados como lagartos, murciélagos, ratones... Por ello, se acuñó el nombre de plantas carnívoras, como término más general.

Las **plantas carnívoras** son organismos principalmente fotótrofos que han desarrollado mecanismos de **atracción, captura y digestión** de pequeños animales para conseguir un aporte extra de nutrientes como adaptación a ambientes con suelos pobres en nutrientes como nitrógeno, fósforo...como las turberas. Las plantas carnívoras obtienen la mayor parte de los nutrientes a partir del agua, sales minerales del suelo y fotosíntesis, y utilizan la digestión de animales como fuente complementaria de éstos.

Las plantas carnívoras son autóctonas de la zona tropical, presentes en Asia, América y Australia y minoritariamente en Europa y África, aunque también existen géneros adaptados al clima templado. La mayoría viven en terrenos pantanosos, turberas, tierras ácidas...ambientes inhóspitos para la mayoría de las plantas.

ADAPTACIONES DE LAS PLANTAS CARNÍVORAS

El reto principal que las antecesoras de las plantas carnívoras tuvieron que afrontar fue la adaptación a **ambientes deficientes en nutrientes**, para lo que desarrollaron la estrategia "carnívora" de forma que conseguían esos nutrientes a partir de los animales que digerían. Para llevar a cabo esta estrategia tenían que adaptarse a tres fases diferentes: atracción, captura y digestión.

Para la **atracción** las plantas carnívoras han desarrollado olores, néctares y colores vistosos. Como las plantas que se alimentan de moscas, que desprenden mal olor imitando el alimento que buscan las presas, o las que atrapan mariposas, que tienen colores vistosos y asemejan el olor de las flores polinizadas por estas.

Para la **captura** han modificado sus hojas, dando lugar a una diversidad muy grande y distintos tipos de trampas, que veremos a continuación.

TRAMPAS

Distinguimos entre plantas activas y trampas pasivas.

Las **trampas activas** son aquellas que cazan a sus presas por medio de movimientos brusco, dejándolas encerradas sin poder escapar.

Las **trampas pasivas** son en las que no se produce movimiento para la captura, de forma que las presas quedan atrapadas por líquidos, sustancias pegajosas...

TRAMPAS ACTIVAS

I) Trampas adhesivas:

Sus hojas tienen emergencias pedunculares terminadas en una cabezuela recubierta por un epitelio glandular que secreta una sustancia viscosa y brillante que atrae a los animales. Estos quedan pegados a la cabezuela y al intentar escapar suelen rozarse con los otros pedúnculos, quedando más retenidos aún. Cuando la planta nota el estímulo mecánico que produce la presencia del animal, los pedúnculos se enrollan sobre sí mismos mediante un mecanismo de crecimiento diferencial: las células de la cara opuesta a la zona de contacto con el animal crecen más rápido que las de la zona contactada.

II) Trampas de succión

Presentes en el género acuático de plantas carnívoras: *Utricularia*. Consisten en vejigas llenas de agua, con una abertura cerrada por un opérculo, que está rodeada de pelos táctiles secretores de sustancias atractivas, de forma que cuando son estimulados por algún animal, el opérculo se abate al interior y la vejiga se dilata, absorbiendo a la presa rápidamente.

III) Trampas bivalvas o cepos

Las poseen plantas carnívoras que tienen sus hojas divididas en dos lóbulos, cada uno de los cuales está densamente cubierto por pelos que secretan enzimas digestivas y néctar, y tres pelos sensoriales de alta sensibilidad. Los animales se ven atraídos por el néctar y cuando tocan dos veces un pelo sensorial, los lóbulos

de la hoja se cierran atrapando al animal, el cual no puede escapar gracias a la presencia de espinas en el filo de la hoja. Este cierre se lleva a cabo por cambios de potencial eléctrico originados en los pelos sensoriales.

TRAMPAS PASIVAS

I) Jarras

En carnívoras exóticas predomina la forma de jarra en el aparato captador. Estas jarras contienen normalmente agua en la que hay enzimas digestivas, que han sido secretadas por las paredes internas de la jarra. En el borde de ésta hay glándulas secretoras de néctar, cuya función es atraer a los animales. Estos se posan en él, y debido a su superficie muy lisa, resbalan al interior y caen en el líquido y allí son digeridos.

Para la **digestión**, las hojas sintetizan enzimas digestivas que son secretadas para la digestión del animal. Algunas plantas carnívoras utilizan bacterias simbióticas que son las que digieren los animales (*Darlingtonia*). Otras especies son simbiotes con insectos, como *Roridula* y el insecto *Pameridea roridulae*, el cual se nutre de los insectos que hay atrapados en la planta y esta se nutre de los excrementos del insecto.

COEVOLUCIÓN ENTRE PLANTAS CARNÍVORAS Y ANIMALES

Las plantas carnívoras dependen de insectos polinizadores para su reproducción. Para asegurarla, las estructuras reproductivas, las flores, están separadas de las estructuras de captura. Pero el insecto polinizador tiene casi las mismas posibilidades de ser capturado y morir que de polinizar las flores y salir ileso. Por ello, en muchos casos, ha habido una evolución en el comportamiento de éstos de manera que no son atraídos por el tipo de planta a la que polinizan.

También hay procesos de coevolución planta-animal sin fines reproductivos, como el ejemplo de las hormigas del género *Colobopsis* que pueden vivir en los zarcillos de *Nepenthes* e incluso zambullirse en el líquido digestivo y buscar alimento en él.

EXCITACIÓN Y MOVIMIENTOS DE LOS ÓRGANOS CAPTORES

En el caso de las trampas activas, la estimulación mecánica de los pelos sensibles conduce a un rápido cierre de los lóbulos, atrapando al insecto, ésta es seguida por el establecimiento de un potencial receptor que se propaga más tarde por un potencial de acción que se propaga por la superficie de la trampa a un velocidad de entre 60 y 170 mm s⁻¹ y conduce al movimiento de cierre. Son necesarios más de un potencial de acción para lograr el cierre, así la planta es capaz de diferenciar un estímulo que no constituye presa (una hoja que cae) y la estimulación producida por una presa auténtica.

El cierre también puede lograrse mediante un estímulo químico basado en efectos osmóticos, como por ejemplo una gota con disolución de NaCl al 30% inicia la actividad eléctrica y el movimiento.

¿QUÉ PARTICIPA EN EL PROCESO DE TRANSMISIÓN?

Es importante la ordenación específica de los plasmodesmos y la alineación concéntrica del RE en las células sensitivas de la zona de indentación para transmitir estos potenciales de acción.

¿CON QUÉ RAPIDEZ?

La consecución de los dos potenciales de acción puede durar entre 2 y 4 segundos, mientras que el cierre de la trampa se realiza en tiempos iguales o algo superiores a 80 ms, aunque a pesar de la rapidez del movimiento, el insecto podría escapar. Si es este el caso y si los lóbulos no sufren estimulación química posterior a la mecánica, la trampa tarda en abrirse de nuevo de 12 a 14 h, mientras que si el insecto es cazado y los lóbulos son químicamente estimulados la trampa reabre al cabo de una o dos semanas.

EL MOVIMIENTO

El movimiento de los lóbulos es un movimiento de variación de la presión de Turgor de las células motoras de la trampa.

Se observó que la estimulación mecánica en *Dionaea* conduce a la producción de una sustancia de concentración muscular, el ácido lisofosfatídico que podría ser debida a la activación de una fosfolipasa D que hidroliza fosfolípidos de membrana, incrementando la permeabilidad de ésta lo que conduce a una pérdida de Turgor de las células motoras.

Los tentáculos de *Drosera* realizan dos tipos de movimientos:

1. Los más rápidos: Desencadenados por la adhesión del animal al mucilago que recubre la cabeza del tentáculo, son movimientos náuticos que requieren al menos dos potenciales de acción en 1 min. Estos potenciales se propagan en ambas direcciones a lo largo del tentáculo, ya que el centro del eje del pedúnculo está ocupado por las traqueadas y sólo las células vivas de las capas externas e internas del tallo pueden ser responsables de la transmisión del potencial de acción.
2. Más lentos: Son tropismos que afectan a los tentáculos en las cercanías del apresamiento, disparados por la transferencia de estimuladores químicos.

En posición de espera, las paredes de las vesículas de *Utricularia* están bajo tensión debida a una fuerte presión hidrostática negativa (-17 kPa) en el lumen de la vesícula. Durante el movimiento la presión hidrostática aumenta a -5 kPa y el volumen del lumen incrementa en un 40% gracias a la entrada de agua. Sydenham y Finlay han demostrado que el movimiento de agua desde las vesículas al exterior es pasivo, como respuesta a un gradiente osmótico local que depende de un TA de Cl⁻ desde el lumen de la vesícula hasta las paredes celulares. Este proceso es dependiente de la respiración y comporta Na⁺ como ión acompañante, esto hace que el potencial de agua interno disminuya ya que el flujo de iones va acompañado de un flujo de agua desde el lumen. Los solutos y el agua pasarían hacia el apoplasto de las células de la vesícula, zona que tiene una mayor permeabilidad para el Cl⁻ y algunos cationes, así como una mayor conductividad hidráulica.

σ lumen/ pared celular es de alrededor de 1

σ pared celular/ apoplasto es menor que 1

Por ello, el flujo hacia el apoplasto de iones y agua debe ser pasivo.

La cutícula, la barrera más externa de la vesícula, debe ser altamente permeable dado que una presión hidrostática crítica abre poros que lo conectan con el exterior por lo que se realiza un eflujo en bloque a través de ellos ($\sigma = 0$).

Estudios han demostrado que los tricomas de cuatro brazos de estrella (H1) de la cara interna de la vesícula y los pelos en forma de botón (H2) de la cara externa transporten activamente Cl^- desde el interior del lumen al exterior. Su citoplasma glandular sugiere que pueden funcionar de manera semejante a las glándulas de excreción salina.

TRANSDUCCIÓN DE LA SEÑAL ELÉCTRICA

En muchos experimentos se demostró que tienen células eléctricamente excitables, se aplicó un pulso de estimulación eléctrica a células distantes de aquellas en las que se medía el potencial de acción se demostró además de que la planta posee células excitables que los potenciales de acción generados pueden ser propagados a través del tejido.

En *Drosera*, el potencial de acción que se inicia en el ápice del tentáculo se propaga hasta su base vía células epidérmicas del pedúnculo.

En *Dionaea*, las células de todos los tejidos principales de la hoja son excitables por lo que los potenciales excitados en las células sensoriales pueden ser conducidos a través de toda la lámina.

- La propagación de señales en distancias cortas como en estas dos plantas no envuelven una vía vascular sino que los plasmodesmos juegan un papel semejante al de las uniones gap en animales. La direccionalidad de la propagación viene dada por la forma de las células envueltas en el proceso y por la frecuencia de los plasmodesmos que conectan cada célula con sus vecinas.
- En el transporte a larga distancia será la arquitectura del sistema vascular lo que marque la direccionalidad.

Para la transducción de la señal juegan un papel muy importante los canales de Ca^{2+} dependientes de voltaje en la membrana plasmática, el Ca^{2+} es una señal intracelular.

Pickard y Ding han propuesto un modelo de centro de control de membrana que consiste en canales mecano-sensoriales de Ca^{2+} localizados en la membrana plasmática e íntimamente asociados con otras proteínas de membrana y con componentes del citoesqueleto. Los canales de Ca^{2+} dependientes de voltaje deben estar envueltos en la transducción de señales eléctricas en respuestas fisiológicas y bioquímicas.

SECRECIÓN DEL NÉCTAR Y DEL MUCILAGO

El **néctar** está compuesto principalmente por:

- Aminoácidos, algunos iones inorgánicos y trazas de vitaminas y ácidos di- y tricarbónicos (en menor proporción)
- Azúcares:

La forma mayoritaria es la sacarosa y sus monosacáridos componentes, asociándose la hidrólisis enzimática del disacárido al propio proceso de secreción. El floema aporta estos componentes azucarados al néctar. Parte de la sacarosa transportada pasaría, vía célula acompañante, hasta las células parenquimatosas y, desde ellas, a las células glandulares mediante un complejo sistema de plasmodesmos.

La superficie externa del plasmalema (capa semipermeable del protoplasma celular) de las células secretoras de los nectarios, aumenta como una consecuencia de la presencia de protuberancias de la pared celular. Este alargamiento efectivo, puede permitir la implantación de transportadores específicos para facilitar la eliminación del néctar por difusión pasiva.

SECRECIÓN GRANULOCRINA

El producto segregado es acumulado en el interior de vesículas producidas por dictiosomas, RE o ambos. La acumulación en estas vesículas puede producirse por síntesis del producto en la vesícula, o por transporte del citoplasma al interior de la vesícula a través de bombas moleculares situadas en la membrana, con gasto de energía provista por el ATP. El producto es secretado por el movimiento de las vesículas hacia la membrana plasmática seguida de la fusión de ambas membranas, que produce la salida del contenido al exterior.

Esta secreción mediante vesículas se ha podido evidenciar en *Drosophylum*, se encontró una abundancia de vesículas del retículo endoplásmico en sus células secretoras.

Sin embargo, esto es solo válido para mucilagos polisacáridicos. La cadena elongada del polisacárido en las vesículas del retículo endoplásmico y complejo de Golgi va llenando progresivamente tales vesículas, que se desgajan del cuerpo central. Los dictiosomas individualizan también vesículas cargadas de polisacáridos, emigran hasta el plasmalema y allí se sueldan a su estructura, vaciando por exocitosis su contenido al exterior. El sistema apoplástico de la pared celular y la cutícula perforada no suponen inconveniente a la salida.

SECRECIÓN ECTOCRINA

Lo anterior no se observa en los nectarios. En la mayor parte de los casos se han desarrollado mecanismos moleculares específicos para el transporte de azúcares, por lo que, en estos casos, se trata de secreción **ectocrina**. Como la cutícula que cubre las células secretoras está generalmente perforada, tampoco supone inconveniente para la salida del néctar. Las células glandulares y sus vecinas poseen muchas mitocondrias, por lo que cabe esperar que la secreción sea dependiente de la obtención de energía. De hecho, la secreción es inhibida por:

- Anoxia
- Inhibidores del transporte electrónico mitocondrial
- Desacopladores de la fosforilación oxidativa.

SECRECIÓN DE ENZIMAS DIGESTIVAS Y ABSORCIÓN DE DIGERIDOS

Nos centramos en los odres de *Nepenthes* y *Sarracenia*. Estos odres cerrados contienen en su interior una disolución de enzimas proteolíticas, aun en ausencia de presa capturada y de contaminación microbiana. La secreción de enzimas es, por tanto, un proceso espontáneo que no ha podido ser experimentalmente estimulado mediante la adquisición de insectos o cuerpos extraños. Por contraste, los órganos de captura abiertos al aire libre requieren estímulos químicos para segregar enzimas digestivas.

Esta secreción **puede estimularse** experimentalmente mediante el suministro de:

- Na⁺, NH₄⁺, urea y aminoácidos, todos ellos compuestos contenidos en la hemolinfa de los insectos.

No se estimula, sin embargo, mediante el suministro de:

- Ovoalbúmina, K⁺, Ca²⁺ o glucosa. La adición de glucosa o sacarosa 0,2 M incrementa el potencial de acción desde el mucilago en tentáculos de *Drosera*, lo que puede ser debido, sencillamente, a una dilución de alto contenido iónico del propio mucilago alrededor de la cabeza del tentáculo.
- **Disoluciones de diferentes sales** causan un descenso de los potenciales eléctricos, por una acción directa sobre los receptores de membrana, ya que los diferentes iones contribuirán a cambios en el potencial transmembrana.
- **Gotas de agua o pequeños cristales** no tienen ningún efecto sobre el movimiento de los tentáculos de *Drosera* ni sobre la secreción de enzimas, mientras que dichos fenómenos son producidos por una variedad de compuestos nitrogenados.
- **El ácido úrico**, componente de las excreciones de los insectos, resulta ser el más efectivo en producir secreción de proteínas, mientras que otros compuestos nitrogenados minoritarios no tienen efecto.

¿CUÁNDO SE ALCANZA EL MÁXIMO DE SECRECIÓN?

El máximo de secreción en *Drosera* y *Dionaea* es alcanzado al tercer o cuarto día de la captura.

- En *Dionaea*, las enzimas están acumuladas en vacuolas y en cisternas del retículo endoplasmático.
- En *Pinguicula*, por el contrario, la máxima acumulación de enzimas se observa en los embalsamientos citoplasmáticos que establecen las protuberancias de las paredes celulares anticlinales de los tricomas sésiles. El apoplasto, se transforma, entonces, en un reservorio de enzimas.

La secreción es, por tanto, **granulocrina en *Dionaea***, y **ectocrina en *Pinguicula*** para las enzimas que se mueven en el apoplasto.

Durante la maduración, las cabezas secretoras se autolisan y se convierten en auténticos sacos pasivos de enzimas. La descarga última de enzimas al exterior es mediada por una salida activa de Cl^- , posiblemente con K^+ como contra ión, lo que causa un eflujo osmótico de agua que drena las enzimas contenidas en la cabeza.

- Las enzimas digestivas encontradas en secreciones glandulares de carnívoras son:
 - Proteasas, fosfatasas, lipasas, amilasa en alguna ocasión, DNasa, transaminasas para las transformaciones glutamato-oxalacetato y glutamato-piruvato, esterases y peroxidasas.

BIBLIOGRAFIA

Plantas carnívoras: Clasificación, origen, cultivo y plagas. Marcel Lecoufle . Ediciones Omega.

Fisiología vegetal ambiental. Carlos Vicente Córdoba, M^a Estrella Legaz Gonzalez. Editorial Síntesis.

Plantas insectívoras: biblioteca darwiniana. Darwin.

Biología de las plantas. Raven, Evert, Eichhorn. Editorial Reverte

<http://www.daepc.org/>

<http://www.carnivorousplants.org/>

<http://biologia.laguia2000.com/botanica/plantas-carnivoras>