

I. Introducción

Los cultivos vegetales y el ambiente

Las plantas son fundamentales para la supervivencia de la humanidad dado su carácter de organismos *autótrofos*, capaces de producir su propia energía química. Utilizando la energía provista por la luz solar, las plantas sintetizan azúcares a partir del dióxido de carbono presente en el aire y del agua que absorben del suelo. Este proceso es denominado *fotosíntesis*. La producción de los cultivos agrícolas es particularmente importante para la economía argentina. No es extraño, entonces, que haya numerosos centros de investigación que dedican sus esfuerzos a entender los mecanismos que están ocultos tras la vida de las plantas y su interacción con el ambiente (el suelo, la atmósfera, etc.). En la medida en que entendemos mejor esos mecanismos son mayores las posibilidades de obtener cultivos más productivos y de elaborar prácticas de manejo que favorezcan la conservación de recursos escasos como el suelo.

Las funciones que cumplen la raíz, el tallo, las hojas, las flores o los frutos son diferentes, pero no tan específicas como en los organismos animales. Las hojas, por ejemplo, contienen los tejidos donde la tasa de fotosíntesis es mayor. Sin embargo, el tallo y las flores o frutos pueden fotosintetizar y en algunos casos la contribución a la producción total de azúcares es importante. Las partes de la planta que son cosechadas varían con el tipo de cultivo. En efecto, los granos de trigo, maíz, soja, girasol, etc. forman parte del fruto. En el caso de las plantas utilizadas como alimento para el ganado se aprovecha su parte aérea, principalmente las hojas. Entre las hortalizas hay mucha variación que incluye las hojas en la lechuga, la raíz en la zanahoria, los tubérculos (tallo modificado) en las papas, etc. Al cosechar, se retiran del campo componentes tomados por la planta del aire y del suelo.

Los cultivos conllevan, entonces, fuertes interacciones de la planta con el ambiente que las rodea. Parte del agua de las lluvias se almacena en el suelo, desde donde puede evaporarse nuevamente hacia la atmósfera. Sin embargo, la cantidad de agua que el suelo pierde a través de las plantas suele ser mucho mayor que la que se evapora de él. El agua es absorbida por las raíces y transpirada por órganos aéreos de la planta (Fig. 1).

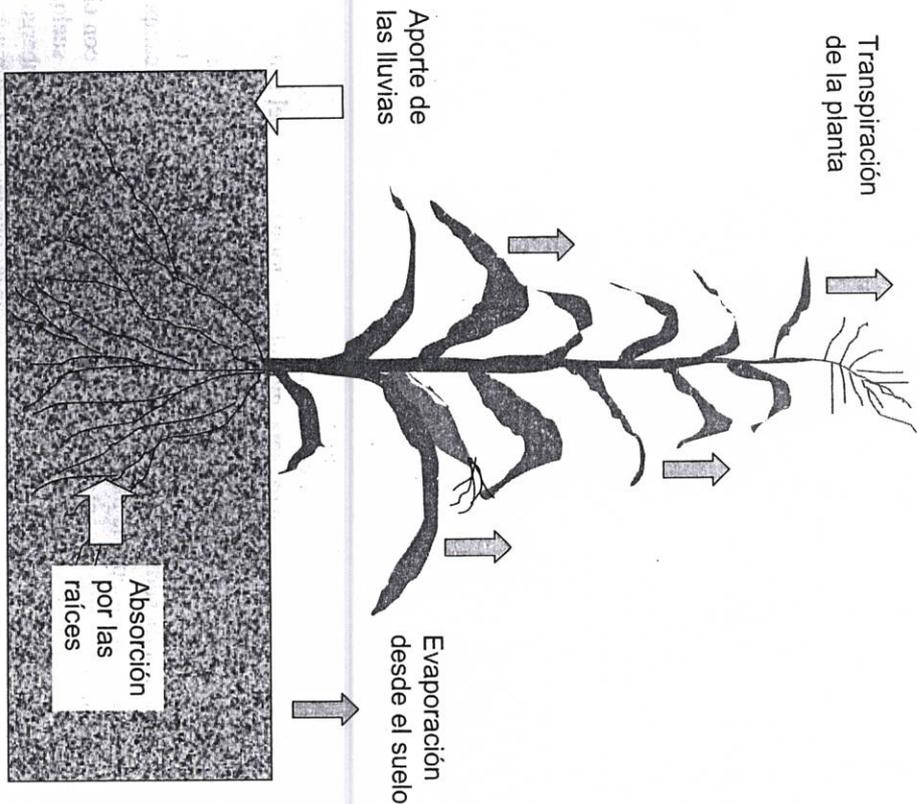


Figura 1: Las plantas absorben agua del suelo y la transpiran a la atmósfera.

De hecho, la cantidad de agua transpirada por una planta es varias veces mayor a la que utiliza en la fotosíntesis. En el caso de cultivos de granos (maíz, soja, trigo, etc.) es deseable que éstos tengan bajo contenido de humedad al momento de ser cosechados, pues esto mejora su almacenamiento y calidad. Por lo tanto, es muy poca el agua que se retira con la cosecha, comparada con la cantidad mucho mayor que consume el cultivo durante su ciclo. Los nutrientes minerales como el nitrógeno, el fósforo, el potasio, etc. son tomados del suelo y una parte importante puede ser removida con la cosecha, ya que los órganos cosechados suelen ser destinados muy importantes de nutrientes minerales. Los nutrientes minerales pueden reponerse por medio de fertilizaciones para evitar que la constante declinación de sus niveles limite la producción de cultivos posteriores. Una parte de los nutrientes absorbidos por la planta vuelve al suelo con el *rastraje*. Éste está constituido por restos que quedan del cultivo (por ejemplo los tallos y hojas del cultivo de maíz) una vez que se ha realizado la cosecha (Fig. 2). El caso del carbono tiene marcas diferentes con el agua o los nutrientes minerales pues su fuente es la atmósfera. Como ya hemos mencionado, las plantas fijan el dióxido de carbono del aire mediante la fotosíntesis. Los azúcares producidos por la fotosíntesis son la base de los hidratos de carbono más complejos y, junto con minerales tomados del suelo, dan lugar a los distintos componentes de la materia orgánica (sustancias que tienen su origen en los organismos vivos). Una proporción de los esqueletos carbonados que sintetiza la planta es utilizada en el proceso respiratorio. Una parte de la materia orgánica de la planta es retirada del campo junto a la cosecha, mientras que el resto permanece en el *rastraje* para luego incorporarse al suelo (Fig. 3).

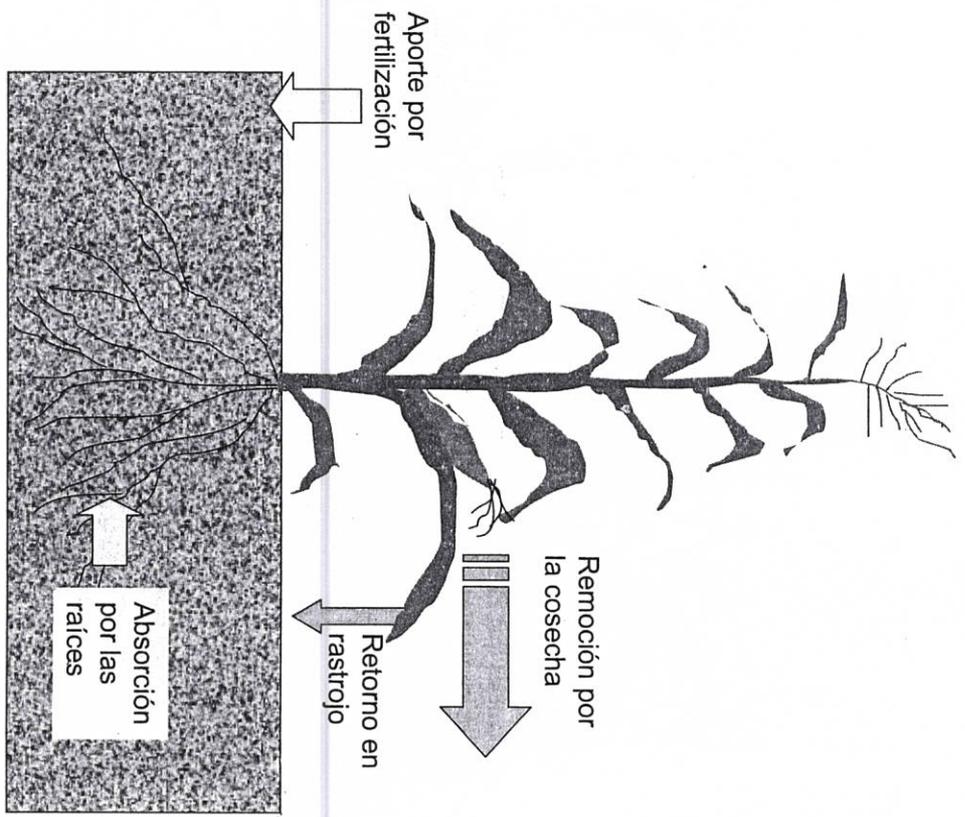


Figura 2. Las plantas absorben nutrientes minerales del suelo. Al final del ciclo del cultivo, parte de los minerales absorbidos se van en la cosecha y parte retorna al suelo con los restos del cultivo (rastrojo).

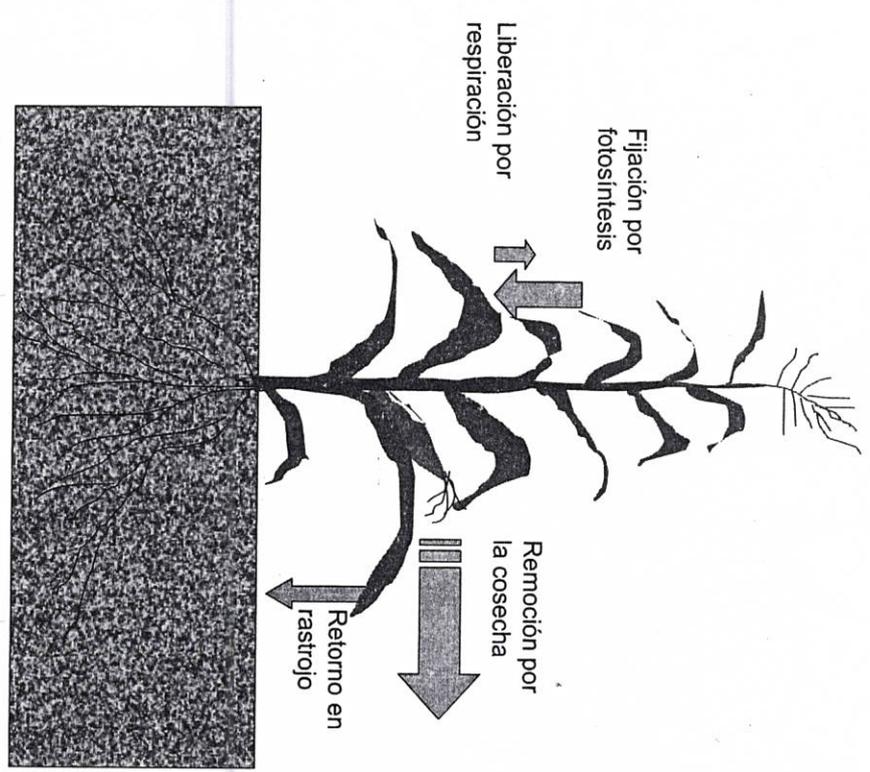


Figura 3. Las plantas absorben dióxido de carbono de la atmósfera mediante la fotosíntesis y liberan algo de ese dióxido de carbono fijado mediante la respiración. El resto forma parte de la materia orgánica de la planta. Al final del ciclo del cultivo, parte de la materia orgánica se va en la cosecha y parte va al suelo con los restos del cultivo (rastrojo).

¿Cómo se ajustan las plantas a su ambiente?

Este libro describe mecanismos básicos en la vida de las plantas en su interacción con el suelo en que se encuentran. Es importante comprender desde un principio que la "necesidad" no explica los mecanismos. Es cierto, por ejemplo, que las plantas necesitan agua, pero las plantas no absorben agua porque la necesitan. No hay conciencia en el individuo vegetal de la necesidad de agua. Por el contrario, hay mecanismos físicos que hacen que el agua ingrese en la planta. Aun cuando la planta necesite agua, si se sobrepasa la capacidad de los mecanismos de absorber agua del suelo la planta dejará de absorber agua y morirá. Mientras leemos este libro estamos respirando y si dejamos de respirar perdemos la vida. Sin embargo, hace unos instantes no estábamos pensando en nuestra respiración. No respirábamos porque era necesario para la vida sino porque poseemos un sistema nervioso que controla músculos del tórax, aun cuando no somos conscientes de ello. A diferencia de las plantas, en cambio, nosotros sí podemos tener conciencia de las consecuencias de nuestros actos y controlar de este modo nuestra conducta. Por ejemplo, sabemos que estudiar nos permite prepararnos mejor para la vida y conscientes de ello estudiamos aun cuando existan actividades alternativas que puedan resultar más divertidas en lo inmediato. Podemos tomar una medicina desagradable para nuestros sentidos porque sabemos que es necesaria para curarnos de determinada enfermedad.

A pesar de no poseer conciencia de sus requerimientos, muchos de los mecanismos de funcionamiento (o mecanismos fisiológicos) de las plantas se ajustan claramente a sus necesidades. Por ejemplo, las plantas no "buscan" en sentido estricto la luz pero, como veremos más adelante, muchas plantas al estar sombreadas por plantas vecinas disparan mecanismos que estimulan el crecimiento de su tallo. Como consecuencia, estas plantas son más altas y cumplen mejor por la luz frente a sus vecinas. Esta coincidencia entre necesidad y mecanismo tiene una explicación evolutiva. A través de las generaciones los individuos pueden sufrir mutaciones en su información genética. Estas mutaciones hacen que determinados mecanismos fisiológicos puedan aparecer o desaparecer. Si un mecanismo fisiológico es ventajoso (es decir, se ajusta a las necesidades), el individuo que lo posea tendrá una mayor descendencia que el que no lo posea. En la próxima generación los individuos con el mecanismo habrán aumentado su proporción y, si la diferencia es muy importante, tal vez sólo las plantas que posean ese mecanismo sobrevivirán. Volviendo al ejemplo, si una planta pierde (debido a mutaciones) la capacidad de responder a la presencia de competidoras, cuando éstas le hagan sombra su tallo seguirá creciendo poco, la planta será más baja, tendrá menos luz

para fotosintetizar y, por consiguiente, menos energía química para producir semillas, dejando pocos descendientes. Con las generaciones, este tipo de planta tenderá a desaparecer, quedando sólo las mejor adaptadas. Completariamente, si una mutación produce cambios que resultan ventajosos, la proporción de individuos con esa mutación tenderá a aumentar y desplazar a aquellos individuos que no posean el mecanismo novedoso.

La célula vegetal

Para entender mecanismos es necesario mirar a las plantas con más detalle, pasando del nivel de órganos al de los tejidos que conforman dichos órganos, de éstos a sus células y a los procesos moleculares, es decir los procesos entre moléculas. Es importante tener una idea muy general de la conformación de las células de plantas. Las células vegetales presentan, desde el exterior hacia su interior, una pared celular y una membrana plasmática que rodean el resto de los contenidos celulares (Fig. 4).

La pared está presente en células vegetales (no en las animales) y está formada por diferentes sustancias, entre las que se incluyen las celulósicas (que son las que se utilizan para producir papel) y otros hidratos de carbono complejos de alto peso molecular, proteínas, etc. La pared forma una matriz porosa precisamente porque las moléculas de celulosa son muy largas y se unen entre sí formando las llamadas *microfibrillas* de celulosa. El resto de los componentes se ubica entre las microfibrillas manteniéndolas unidas pero dejando zonas libres o poros. La pared de la célula no se parece entonces a la pared de una habitación, compacta y difícil de penetrar, sino que deja pasar el agua y los minerales entre sus poros. La estructura de la pared le da rigidez y por lo tanto forma a las células, pero el grado de rigidez es variable. Las células jóvenes tienen paredes menos rígidas y con mayor capacidad de crecer que las adultas, en las cuales se depositan sustancias complejas (como las *ligninas*) que impiden que la célula siga creciendo pero la hacen más resistente. Las paredes celulares nos proveen fibra y constituyen una de las razones por las que debemos incluir vegetales en nuestra dieta.

Pegada a la pared celular, hacia su interior, se encuentra la *membrana celular* o *membrana plasmática*. Sabemos que los lípidos, como las grasas o aceites, no se mezclan bien con el agua y hace falta utilizar detergentes para limpiar las superficies engrasadas. Estos detergentes tienen afinidad por el agua y por los lípidos y se ubican entre ellos, permitiendo que los lípidos viajen rodeados por detergente en medio del agua. La membrana plasmática está formada por un tipo especial de lípidos denominados *fosfolípidos*. Esta molécula consta de dos colas

de ácidos grasos (lípidos) unidas a una cabeza con fósforo (fosfato) mediante un alcohol (Fig. 4). Lo importante es que las colas de lípidos no son afines al agua pero los fosfatos sí. Como consecuencia, al ubicarse en un medio acuoso, las colas lipídicas se unen entre sí dejando hacia afuera a las cabezas fosfato y formando una doble capa o *bicapa de fosfolípidos*. Además, la membrana contiene proteínas que se ubican en la cara externa de la bicapa, en la interna o atravesando la misma de lado a lado. Estas proteínas cumplen diversas funciones. Algunas actúan como receptores de señales que le llegan a la célula, otras delimitan un poro de lado a lado de la bicapa formando un canal, etc. Si bien la pared celular deja pasar el agua y los minerales, la membrana es mucho más selectiva. En efecto, es difícil para el agua y los minerales (que se encuentran disueltos en el agua, con cargas eléctricas) atravesar la zona de los lípidos de la bicapa con quienes no son afines. En cambio, el agua y los minerales pueden atravesar la membrana por los canales, pero como las diferentes proteínas que forman los canales delimitan poros de forma y dimensión variadas, por cada tipo de canal pasa agua o minerales específicos (por ejemplo, los canales de potasio dejan pasar potasio y no calcio). La membrana plasmática y los contenidos que ésta limita constituyen lo que se denomina *protoplasto*.

Hacia el interior de la membrana se encuentra el *citoplasma* (Fig. 4), fase acuosa que contiene numerosas proteínas importantes para diversas funciones celulares (entre otras, la síntesis de nuevas proteínas). Rodeados por el citoplasma, pero separados por membranas, se encuentran la *vacuola*, el *núcleo*, los *cloroplastos* y las *mitocondrias*, entre otras organelas. Estas membranas están formadas por una bicapa de fosfolípidos, excepto en el caso de los cloroplastos en que la bicapa tiene una composición química algo diferente. El núcleo, los cloroplastos y las mitocondrias poseen una doble membrana (dos bicapas lipídicas) que los rodean. La mayor parte de la información genética de una célula vegetal está contenida en el ADN nuclear que, junto con proteínas específicas, forma los cromosomas. La secuencia de ADN define el genoma nuclear pero también hay ADN en los cloroplastos y mitocondrias que se consideran derivados de bacterias endosimbióticas que en algún momento de la evolución quedaron dentro ("endo") de la célula, conectando sus funciones (simbiosis). Tanto los cloroplastos como las mitocondrias son importantes para la energía de la célula, pues en los primeros se captura la energía de la luz y se producen azúcares y almidón (que luego puede volver a azúcares para ser utilizado), mientras que en las mitocondrias los compuestos carbonados liberan energía que es almacenada en moléculas ricas en energía, utilizadas luego en diversos procesos (síntesis de proteínas, etc.). La vacuola puede ocupar una gran proporción del volumen celular (hasta un 80 o 90%) y

contiene agua con minerales, azúcares, ácidos orgánicos, proteínas y sustancias importantes en el sistema de defensa de la célula.

Durante su desarrollo las células se van diferenciando y adquieren una forma y composición particular asociada a las funciones que cumplen. De esta manera se originan los diferentes tejidos del cuerpo de la planta. La diferenciación puede derivar en células que en su estado maduro y funcional carecen de algunos elementos básicos. Un caso evidente es el de los *vasos del xilema*. Por estos vasos se desplaza el agua desde la raíz hasta la parte aérea de la planta. Son células que en su estado maduro y hasta su muerte sólo contienen pared (ya no hay núcleo, ni membranas, etc.). Estas células mueren durante el proceso de desarrollo y sólo así pueden cumplir su función, pues dejan libre el espacio por donde se puede mover el agua. La muerte de ciertas células es parte esencial de la vida, ya que el paso final de su programa de desarrollo es, precisamente, morir. Por eso a este paso se lo denomina *muerte celular programada*. Algunas hojas poseen formas complejas, que derivan de la muerte programada de células en lugares precisos que quedan libres dando origen a la forma (algo similar ocurre con el desarrollo de los dedos en animales). Es claro que hay un programa de desarrollo de las células que se va desencadenando a medida que las células van variando el grupo de genes que expresan. En efecto, todas las células del cuerpo de una planta poseen toda la información genética del individuo, pues contienen toda la secuencia de ADN en su núcleo (mientras esté el núcleo). De toda esa información, en cada célula se va expresando una parte, la parte que le va permitiendo alcanzar su forma y sus funciones y que va cambiando a medida que ésta se diferencia.

2. Durmiendo en el suelo hasta que llegue el momento

Las semillas resisten condiciones desfavorables

Muchas especies vegetales producen semillas que generalmente son dispersadas, cayendo al suelo a variada distancia de la planta madre donde se generaron. La mayoría de los tejidos vegetales están formados por células con un muy alto contenido de agua y, como veremos, el funcionamiento de la planta se resiente, pudiendo llegar a causar su muerte si caen los niveles de hidratación. Las semillas constituyen una excepción pues en las etapas finales de su desarrollo adquieren la capacidad de resistir la desecación. De este modo, una semilla puede tener muy poca agua y mantenerse así viva por mucho tiempo. Es más, la mejor manera de conservar las semillas para poder utilizarlas en el momento oportuno es con un muy bajo contenido de agua y a bajas temperaturas. Éstas son las condiciones que se utilizan en los centros donde las semillas se conservan por años para asegurarse el mantenimiento de la información genética que ellas encierran. Durante la adquisición de la tolerancia a la desecación juega un papel fundamental la hormona llamada *ácido abscísico*, que ya volveremos a citar con relación a otros mecanismos.

En plantas mutantes, en las que la señal de esta hormona no es interpretada correctamente, las semillas no maduran de forma normal. Quedan verdes (en lugar de tomar el color pardusco típico de la especie) y se mantienen vivas tan sólo por unos pocos días una vez que son cosechadas de la planta madre. Las semillas son resistentes a la falta de agua y a otros tipos de estrés como los generados por temperaturas muy altas o muy bajas, que normalmente causarían la muerte si se tratara de la planta en lugar de la semilla. Resulta evidente, entonces, que una de las funciones de las semillas es permitir que se mantenga la vida en condiciones adversas. Hay muchas especies que crecen durante la etapa cálida del año, producen semilla al final del verano o durante el otoño y sobreviven al frío del invierno como semillas. Éstas germinan en la primavera siguiente dando continuidad a los ciclos. Otras especies, con frecuencia en el mismo lugar que las primeras, crecen durante el período frío del año y producen semillas al principio del verano. Estas semillas resisten las

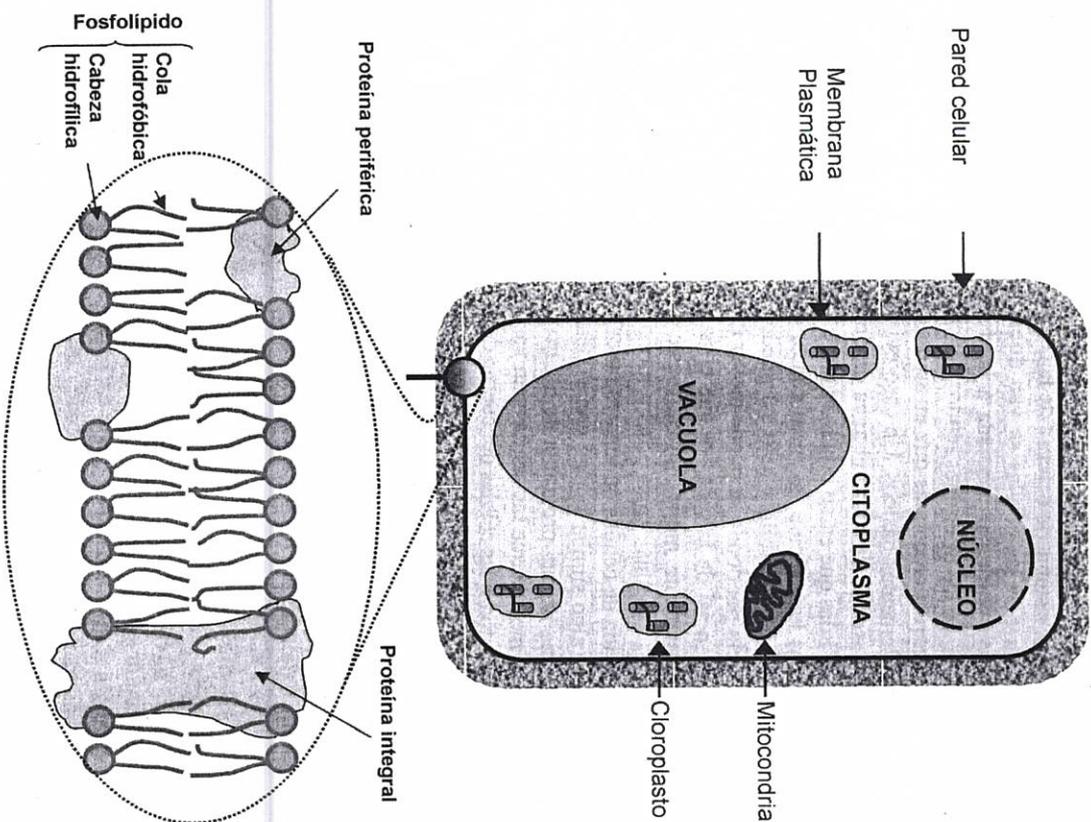


Figura 4. Representación esquemática de una célula vegetal y detalle de la membrana plasmática.