

**Universidad Nacional Autónoma de  
México**

**F.E.S. IZTACALA**

**Unidad 1. Relaciones Agua Suelo Planta**

**Tema:**

**Papel de la transpiración, Mecanismos de  
apertura estomática y Medidas de la  
transpiración.**

**Dra. en C. Elvia Lucía Pavón Meza**

## Introducción.

En su origen, hace aproximadamente 480 m.a., las primeras plantas terrestres (más parecidas a hepáticas actuales), debieron hacer frente a un ambiente hostil, debido, entre otros factores, a la excesiva radiación UV y a una gran desecación, provocada por los fuertes vientos y la insolación, por lo que necesitaron desarrollar adaptaciones especiales, tales como la capacidad de adquirir nutrientes y fuentes de energía fuera del ámbito acuático, mecanismos moleculares de reparación celular, y protección contra la radiación y la desecación (Moreno Sanz, 2003; Cubas, 2008).

En los ambientes terrestres, las plantas necesitaron tomar el dióxido de carbono de la atmósfera, pero al mismo tiempo deben evitar la pérdida de agua a través de la transpiración. De acuerdo a lo que señala el registro fósil, muchas de las plantas parenquimatosas ya poseían cutículas y cutina (algunas también poros), pero seguramente reducían o paralizaban su metabolismo en los periodos de desecación, tal como lo hacen las hepáticas y musgos actuales. Por otra parte, las plantas euvasculares desarrollaron además de la cutícula y los estomas, el aerénquima, que permitía que el CO<sub>2</sub> fuera acumulado en el interior de la planta y continuar la fotosíntesis aún con los estomas cerrados. El aerénquima, además, distribuiría hormonas volátiles (como el etileno) y proporcionaría suplemento de oxígeno a rizomas y raíces, detalle importante para plantas que crecían en zonas propensas a la inundación (orillas de cuerpos de agua, donde se piensa se desarrollaron las primeras plantas terrestres) y una atmósfera con menos oxígeno que la actual (Moreno Sanz, 2003)

Como se muestra en la Fig. 1, en el largo camino evolutivo, las plantas actuales siguieron estrategias diferentes para adaptarse a los períodos de sequía, las briofitas (plantas no vasculares) toleran grandes fluctuaciones en la disponibilidad de agua (son poiquilohídricos) y pueden resistir largos períodos de sequía en los que su metabolismo es prácticamente nulo; pero cuando las condiciones de humedad son favorables, captan rápidamente el agua y su metabolismo se activa rápidamente sin sufrir daño alguno (Martínez Zavala *et al.*, 2009). En cambio, las plantas vasculares (traqueofitas) son homeohídricas (regulan el grado de humedad interna) y para ello han desarrollado diferentes estrategias que les permiten evitar la desecación, como cutícula y estomas regulables; además de un sistema eficiente que les permite absorber agua del suelo, además de servir como sostén (raíces) y un sistema de transporte de agua y productos de la fotosíntesis (sistema vascular especializado) (Beck, 2012). La aparición de dicho sistema

lignificado y el desarrollo de un extenso sistema de raíces, permitieron mantener el protoplasma en estado activo a pesar de los repentinos cambios de humedad ambiental que les permitió colonizar nuevos hábitats y desarrollar órganos especializados que ha hecho de éste grupo el más exitoso de los vegetales terrestres actuales por su alta productividad. Y aunque la inversión de las plantas vasculares en tejidos estructurales y en biosíntesis de lignina es energéticamente costoso, el subsecuente logro de la homeohidria condujo a mayores tasas de crecimiento (Universidad Nacional de Colombia, 2015).

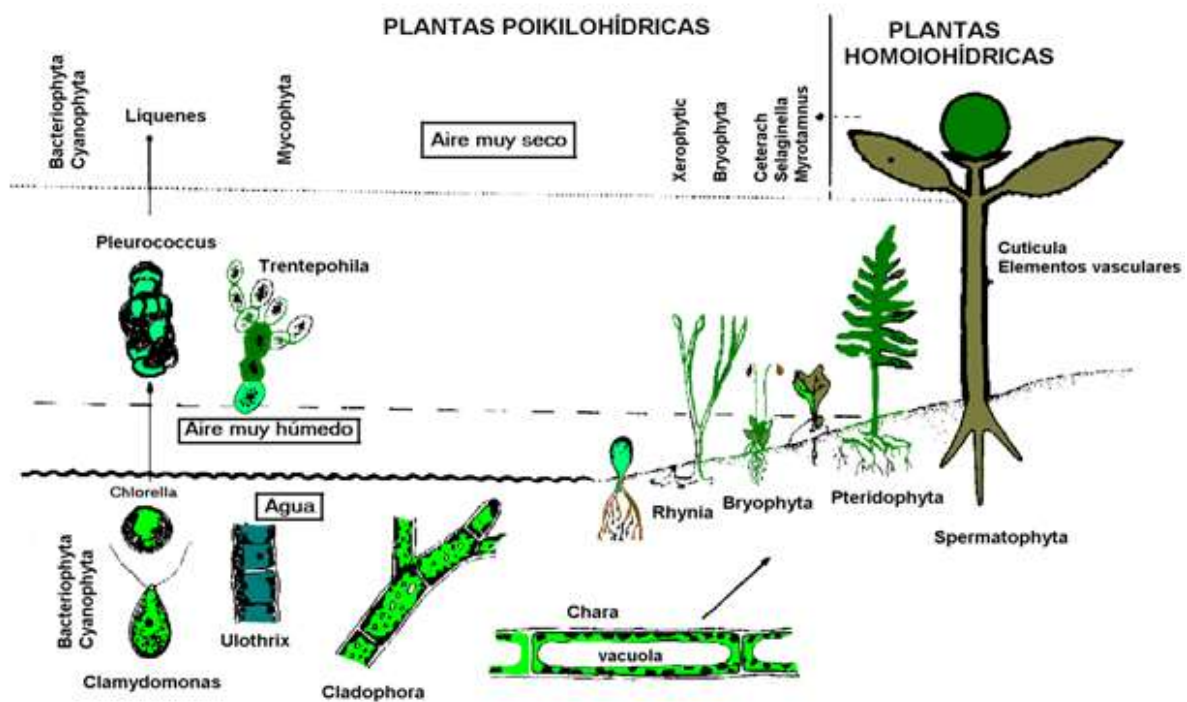


Fig. 1 La evolución de las relaciones hídricas de las plantas, permitió su crecimiento en todas las condiciones terrestres. Transición desde algas acuáticas con células no vacuoladas a algas poiquilohídricas aéreas (Izquierda). Desarrollo de vacuola en algas acuáticas verdes y Characeas. (Centro). Transición de talofitos vacuolado a plantas vasculares homoiohídricas (ej: los musgos higrofitos están restringidos a hábitats con alta humedad del aire y en hábitats secos llegan a ser poikilohídricos secundariamente; también hay formas poikilohídricas secundarias entre Pteridófitos y angiospermas pero no entre gimnospermas). En general, las plantas vasculares, son homoiohídricas porque tienen una cutícula que limita la transpiración y porque sus células son considerablemente impermeables (Tomado de: [http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000051/lecciones/cap01/04\\_03.htm](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000051/lecciones/cap01/04_03.htm)[26/05/2015 04:53:50 p.m.]

## Transpiración.

De acuerdo al Diccionario de la Real Academia, en Botánica, la transpiración se define como la salida de vapor de agua, que se efectúa a través de las membranas de las células superficiales de las plantas, y especialmente por los estomas. Se diferencia de la transpiración en animales, ya que en ellos es un mecanismo de termorregulación, mediante la secreción de líquido proviene de las glándulas sudoríparas a través de la piel y sobre su superficie, de modo que cuando un animal no transpira, la pérdida de agua a través de la piel es lenta pero constante, por lo que no es regulada por los organismos (Hill y Wisie, 2006). En cambio en las plantas, aunque la pérdida de agua en una planta, también es en forma de vapor de agua; ésta pérdida tiene lugar mayoritariamente en las hojas y concretamente en los estomas (Fig. 2). Otras rutas posibles pueden ser la cutícula que recubre toda la epidermis y las lenticelas de los tallos (Fig. 3), pero son minoritarias (Salisbury y Ross, 1994; Beck, 2010).

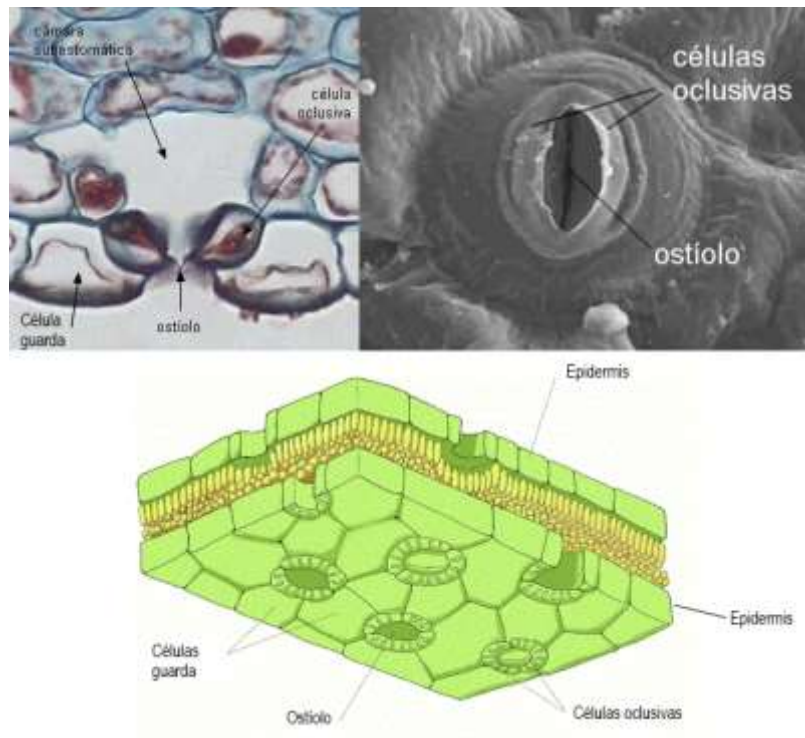
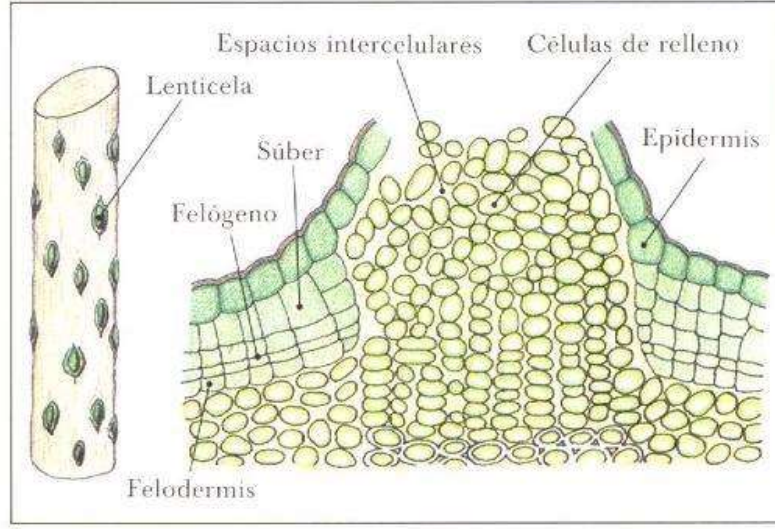


Fig. 2 Forma general de los estomas



*Tallo con lenticelas y detalle de una de ellas.*

Fig. 3. Estructura general de las lenticelas

En los vegetales, la importancia de la transpiración radica en que permite el intercambio gaseoso, el ascenso de la savia, el movimiento de elementos minerales y nutrientes y la disipación de la energía radiante, ya que en el sistema suelo-planta-atmósfera; la planta es intermediaria, está ligada al flujo de agua conducido desde el suelo (fuente restringida) hacia el aire ambiente (vertedero de capacidad ilimitada). En consecuencia, el estatus hídrico del cuerpo de la planta se regula por un control sensible a la absorción y a la pérdida (U.N.P.S.J.B., 2015). Y junto al intercambio de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), la tasa de transpiración determina la eficiencia de uso del agua de una planta.

Las hojas pierden agua a través de sus estomas como una consecuencia de la actividad fotosintética de las células del mesófilo. Los estomas ejercen el mayor control a corto plazo en las relaciones hídricas de una planta debido a que controlan la salida de agua que ocurre en respuesta a un fuerte gradiente de diferencia de presión de vapor (DPV) entre el aire y la hoja, ya que la transpiración a través de la cutícula y lenticelas no es controlada por la planta y cuantitativamente representan no más del 10% restante, pero adquieren fundamental importancia cuando los estomas se encuentran cerrados, por ej. Por deficiencia de agua. En hojas de plantas xerófitas (típicas de zonas áridas), que tienen una cutícula muy gruesa y a veces cubierta de ceras, la transpiración

cuticular frecuentemente no supera el 1% del agua perdida por los estomas (Lallana y Lallana, 2003).

Tanto la absorción desde suelo por la raíces como la transpiración por las hojas, ejercen un control primario en la regulación de la conductancia estomática (Squeo y León, 2007). El flujo de agua a través de la planta responde entonces a dos ambientes distintos. Por un lado, el ambiente aéreo a que está expuesta la hoja y que puede ser definido en términos de radiación, temperatura, diferencia de presión de vapor, contenido de CO<sub>2</sub> y condición de la capa límite. Por otro lado, las raíces comúnmente generan señales de estrés hídrico, las que sumadas a las señales en la conductividad hidráulica del xilema también controlan la pérdida de agua por la hoja (Salisbury y Ross, 1994).

Como lo señala Ángeles Álvarez (2013), la teoría que mejor explica el ascenso del agua en las plantas, es la llamada coheso-tenso-adheso-transpiración, comúnmente reducida a *coheso-tenso-transpiración* o CT. Esta teoría debe su nombre a las fuerzas a las que se encuentra sometida la savia dentro de los conductos de las plantas:

- 1) La fuerza de cohesión que existe entre las moléculas de agua, la cual es resultado de la atracción de dos cargas opuestas —la del H y la del O—;
- 2) la transpiración de las hojas, que jala la savia hacia arriba y
- 3) desde abajo, la fuerza de atracción de la gravedad jala la savia hacia el suelo, generando así una fuerza de tensión.

Las paredes de los vasos no son lisas, sino que presentan relieves más o menos complejos —dependiendo de la especie—, los cuales aumentan la superficie interna de los vasos, donde las moléculas de agua se adhieren, resistiendo así la fuerza de gravedad.

Esta combinación de fuerzas: la de cohesión entre moléculas de agua y la adhesión de ellas a las paredes de los vasos conductores permite que se formen cadenas largas y continuas de agua, desde las raíces hasta las hojas. El agua que se evapora de la superficie de las hojas es remplazada por el agua almacenada en su interior, que a su vez es sustituida por el agua contenida en las ramas. El agua que se pierde en el tronco se suple con la de las raíces, pues éstas se encuentran absorbiendo constantemente agua del suelo.

La transpiración requiere que el potencial hídrico de la atmósfera sea menor que el de la planta. Como consecuencia de la pérdida de agua desde las células del mesófilo a la atmósfera, se produce un déficit hídrico en las células más externas

del mesófilo. Este déficit hídrico se propaga sucesivamente hasta llegar a la altura de los conductos del xilema, lo que permite que el flujo de agua a través de la planta sea un proceso pasivo. Es decir, que el agua se mueve como una respuesta a fuerzas físicas, hacia regiones de potencial hídrico bajo o de baja energía libre. En otras palabras, no se requiere de una bomba operada por energía metabólica movida por la hidrólisis de ATP, que empuje el agua de un sitio a otro (Hernández Gil, 2007).

A menos que la HR sea del 100%, la diferencia de potencial de la hoja y del aire es muy grande. Por ejemplo si la HR es 100% el potencial hídrico del aire será cero, pero si la HR es 90% a 27 C ° el potencial hídrico del aire será  $-135,9$  atm. Considerando que en las hojas de una mesófito el potencial de las células es de  $-10$  atm aproximadamente, puede interpretarse porqué el agua se evapora de los tejidos (Salisbury y Ross, 1994). La naturaleza capilar del xilema y la acción de las propiedades de cohesión de las moléculas de agua entre sí sumado a la adhesión a las paredes celulares y el déficit hídrico existente, provocan una tensión (presión negativa) capaz de elevar una columna de agua de forma continua desde el extremo inferior de los vasos hasta las hojas. Como consecuencia de ello, el descenso del potencial hídrico en los extremos inferiores del xilema, determina el flujo hidráulico desde las células de la estela de la raíz y por propagación de los déficit hídricos, sucesivamente en el parénquima cortical, epidermis y suelo (Figura 4).

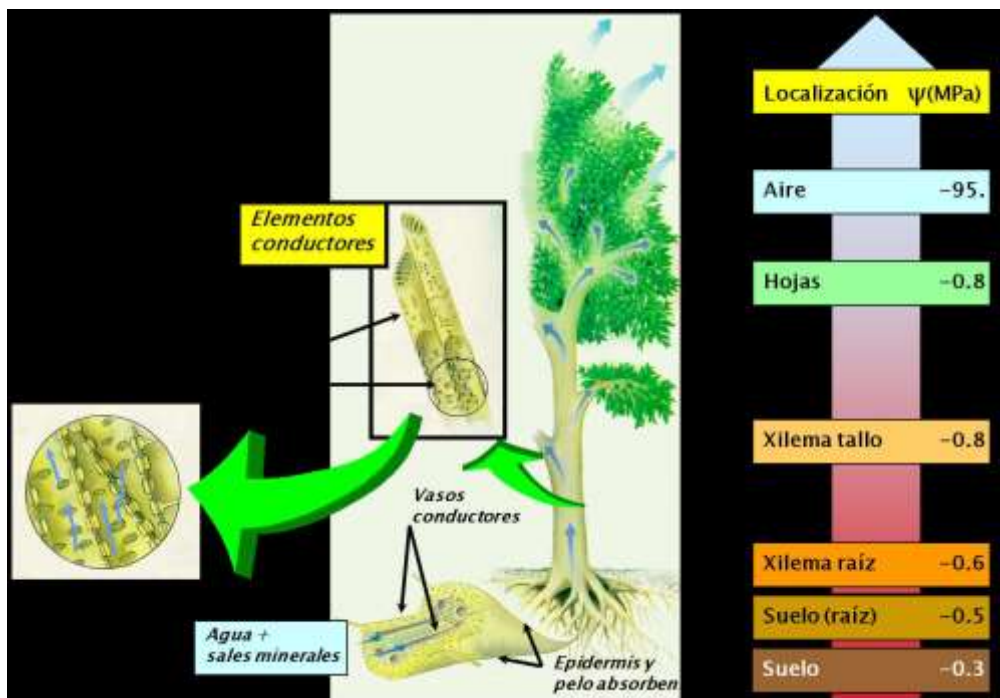


Fig. 4. Gradientes de potencial hídrico en el continuo suelo-planta.

## **Funciones de la transpiración.**

Hasta el 99% del agua absorbida por las raíces se pierde por transpiración (Ángeles Álvarez, 2013), por lo que la vegetación es un factor considerable en la humedad ambiental, pues según lo señala la Universidad Complutense de Madrid (en línea), el 10% de vapor de agua de la atmósfera se debe a este fenómeno, mientras que el 90% restante se debe a la evaporación de las superficies acuosas, océanos, lagos, ríos principalmente.

Mientras los estomas están abiertos y el agua se evapora en las hojas, las raíces incorporan agua desde el suelo y el transporte ascendente del agua en la planta es continuo, por lo que la transpiración de las plantas, eleva la humedad del aire circundante y aumenta las precipitaciones. Es por ello que las zonas boscosas tienen un mayor índice de pluviosidad que los terrenos a los que se les ha despojado de su bosque natural debido a las talas masivas a los que se les ha sometido (Fernández Muerza, 2008).

El volumen de agua transpirada por las plantas es variable y depende de varios factores. Así por ejemplo, los cultivos tradicionales, como el maíz, pueden transpirar diariamente entre 5 y 10 litros por metro cuadrado de terreno ocupado; y especies de humedales como la espadaña tienen una transpiración diaria, en verano, muy elevada, entre 15 y 20 litros por metro cuadrado y especies arbóreas como el roble, pueden transpirar 150.000 litros por año (Universidad Complutense de Madrid en línea).

De ésta manera, aunque menos del 5% del agua absorbida por las raíces es retenida, ésta es vital para la estructura y funcionamiento de la planta (Salisbury y Ross, 1994). Esta pequeña cantidad de agua retenida es indispensable para los procesos bioquímicos, así como para crear la turgencia que permite las funciones vitales de las células. A continuación se señalan otros beneficios que, según Sterling y Hernández-Ríos (2005), la transpiración confiere a las plantas:

**Enfriamiento por evaporación.** Cuando el agua pasa del estado líquido al estado gaseoso durante la evaporación en la interfase entre las células de las hojas y la atmósfera, hay una liberación de energía. Este proceso es exotérmico; es decir, usa energía para romper los fuertes enlaces de hidrógeno que unen a las moléculas de agua; la energía usada es tomada de las hojas y transferida a las moléculas de agua para convertirlas en un gas altamente energético. Las moléculas de agua en estado gaseoso y su energía asociada son liberadas a la atmósfera, enfriando a la planta.

**Obtención de nutrimentos del suelo.** El agua que entra a la raíz contiene nutrimentos esenciales para el crecimiento de la planta. Se cree que la transpiración incrementa la absorción de nutrimentos por las plantas.

**Entrada de bióxido de carbono.** Cuando una planta transpira, los estomas se encuentran abiertos, permitiendo el intercambio de gases entre la hoja y la atmósfera. Así, a través de los estomas el agua sale pero al mismo tiempo se permite la entrada de  $\text{CO}_2$ , a la planta; el bióxido de carbono es necesario para que ocurra la fotosíntesis. Desafortunadamente, la cantidad de agua que sale es mucho mayor que la cantidad de  $\text{CO}_2$  que entra, por tres razones:

1. Las moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$  son más pequeñas que las de  $\text{CO}_2$ , por lo que se mueven más rápido en su ruta de escape.
2. El  $\text{CO}_2$  representa solo el 0.036% de la atmósfera, por lo que su gradiente de entrada a la planta es mucho menor que el gradiente de salida de  $\text{H}_2\text{O}$ , que se mueve de una hoja hidratada hacia una atmósfera seca.
3. el  $\text{CO}_2$  tiene que viajar una mayor distancia desde la atmósfera para alcanzar su destino en los cloroplastos, mientras que el  $\text{H}_2\text{O}$  solo tiene que moverse de la superficie de la hoja hacia la atmósfera circundante.

Este intercambio desproporcionado de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  conlleva a una paradoja: entre mayor es la apertura del estoma, más fácil es la entrada de  $\text{CO}_2$  a las hojas; sin embargo, una gran apertura permitirá también la pérdida de grandes cantidades de agua, con los consecuentes riesgos de deshidratación o estrés hídrico para la planta. Como una forma de reducir estos riesgos, las plantas son capaces de mantener los estomas ligeramente abiertos para perder menos moléculas de agua por cada molécula de bióxido de carbono que entra, de manera que se incremente la eficiencia en el uso del agua ( $\text{H}_2\text{O}$  perdida/ $\text{CO}_2$  ganado). Las plantas con mayor eficiencia en el uso del agua están más capacitadas para soportar periodos de baja humedad en el suelo (Ángeles Álvarez, 2013).

### **Estrés hídrico.**

A diferencia de la sequía, que se define como la “disminución temporal en la disponibilidad de agua o humedad, notablemente bajo lo normal o esperado durante un período específico” (Muñoz Henríquez y Navarro González, 2011), el estrés hídrico se produce, según el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), cuando la demanda de agua excede la cantidad disponible

durante un periodo determinado o cuando su baja calidad restringe su uso. Así, se produce un deterioro de los recursos de agua destinada al consumo tanto en cantidad (sobreeplotación de los acuíferos, ríos secos, etc.) como en calidad (eutrofización, contaminación, intrusión salina, etc.) (Fernández Muerza, 2008).

**El balance hídrico de la planta como indicativo de** su estatus hídrico, depende de la velocidad relativa con que se absorbe agua por la raíz y se pierde por transpiración; los dos procesos están acoplados por las columnas de savia del xilema, pero no siempre operan sincrónicamente debido a la capacitancia, factor de almacenamiento de agua generado en las células del parénquima de hojas tallos y raíces. En general, en la mañana la absorción de agua se retrasa de la transpiración y este evento resulta en pérdida de turgor y marchitamiento hacia el medio día; lo mismo sucede cuando las plantas crecen en suelos húmedos. Por tanto, el estatus de agua no puede predecirse a partir de las medidas de humedad del suelo, sino que debe ser medido directamente sobre la planta (Universidad Nacional de Colombia, en línea).

En las plantas, el déficit hídrico asociado a altas tasas de transpiración y altas tensiones xilemáticas, la congelación del xilema en invierno y su descongelación posterior puede producir burbujas o la acción de patógenos (*Ceratocystis ulmi*) (Universidad Politécnica de Valencia, en línea) , pueden provocar que, a pesar de las fuerzas de cohesión de las moléculas de agua, las columnas de agua en el xilema se pueden romper (cavitar), esto es debido a que los gases disueltos en el agua, bajo tensiones extremas tienden a escapar formando burbujas (Figura 5). Las burbujas pueden interrumpir la columna líquida y bloquear la conducción, produciendo una embolia (Salisbury y Ross, 1994; Taiz y Zeiger, 2006)). El agua del vaso bloqueado puede moverse entonces lateralmente hacia otro vaso contiguo y continuar así su camino. Los gases de la burbuja pueden redisolverse si aumenta la presión en el xilema, bien por disminución de la tensión, bien por presión radical durante la noche (Universidad Politécnica de Valencia, en línea).

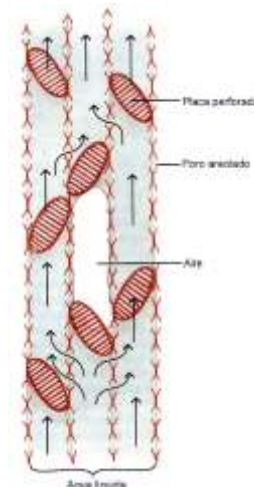


Fig. 5. **Las columnas de agua se pueden romper, debido a que los gases disueltos bajo tensiones extremas** tienden a escapar formando burbujas. Las burbujas pueden bloquear la conducción. Tomado de [http://apuntescientificos.org/imagenes\\_fq/el%20agua/Figura12\\_12.jpg](http://apuntescientificos.org/imagenes_fq/el%20agua/Figura12_12.jpg)

El estudio de las limitaciones hidráulicas en el xilema y, en particular, de la vulnerabilidad al embolismo, ha permitido entender mejor las respuestas de las plantas a la sequía. Sin embargo, quedan todavía muchas cuestiones sin resolver en aspectos tan fundamentales como el papel de las células vivas en el transporte xilemático, el mecanismo de recuperación de las embolias, o las interrelaciones entre los aspectos estructurales y funcionales del xilema (Martínez-Vilalta y Piñol, 2003).

### Estructura y función de los estomas.

Como se mencionó anteriormente, los estomas constituyen la vía más importante para el intercambio gaseoso y vapor de agua entre el mesófilo y la atmósfera. El número de estomas por unidad de superficie varía según las especies y las condiciones ambientales en las cuales se desarrolla la planta, pudiendo oscilar entre 50 y 500 por  $\text{mm}^2$  (Beck, 2010). Existen plantas con estomas solamente en la cara superior de la hoja: hojas epistomáticas, como algunas acuáticas (hidrófitas) que tienen hojas flotantes; otras tienen estomas a ambos lados de las hojas: anfiestomáticas. Sin embargo son más numerosas las plantas que tienen mayor número de estomas en el envés: hipostomáticas (Salisbury y Ross, 1994).

Se denomina estoma a la unidad conformada por un poro y las dos células oclusivas que lo rodean. Estas células oclusivas o guardianas se hallan en contacto con las células adyacentes de la epidermis y en muchos casos se ha comprobado la existencia de relaciones metabólicas muy estrechas entre las células oclusivas y las adyacentes. Los estomas de las dicotiledóneas poseen células oclusivas de forma arriñonada y su distribución en la lámina es al azar. En las monocotiledóneas, particularmente en las gramíneas, son alargadas y casi paralelas, y se distribuyen en la lámina paralelos a las nervaduras (Fig. 6) (Lallana y Lallana, 2003).

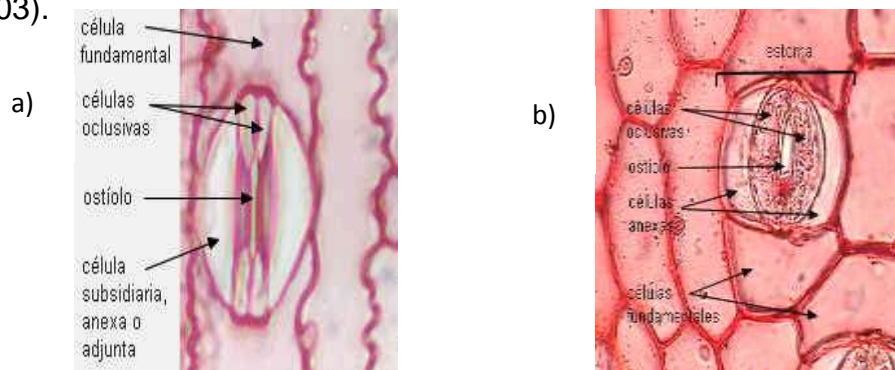


Fig. 6. Estomas de monocotiledóneas (a) y de dicotiledóneas (b) (tomado de <http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema13/images13/tema%2020.jpg>)

Al aumentar la turgencia celular, el poro se abre y al disminuir se cierra. Esto es así, debido a una característica especial de la anatomía submicroscópica de sus paredes celulares. Las microfibrillas de celulosa que forman esta pared, está organizada alrededor de la circunferencia de las células guardianas, en forma de anillo y radiadas desde un punto en el centro del estoma. Este arreglo se denomina micelación radial (Universidad Politécnica de Valencia, en línea; Taiz y Zeiger, 2006).

Aún cuando la superficie ocupada por los estomas es muy baja en relación al área foliar total (1% ó menos), su eficiencia difusiva es mucho mayor que si fuese una superficie evaporante libre. Ello está regido por el principio de difusión a través de áreas cribadas, que expresa que la velocidad de difusión es proporcional al perímetro y no al área de los orificios (Lallana y Lallana, 2003).

El mecanismo de apertura y cierre del poro estomático, responde a variaciones de ciertos factores ambientales e internos, en particular la luz, la concentración de CO<sub>2</sub>, el potencial agua de la hoja y la temperatura. Las plantas adaptadas a ambientes secos (xerófitas), tienen con frecuencia los estomas hundidos en la epidermis o agrupados en cavidades de las hojas, las cuales a veces, tienen una densa cobertura pilosa. Todos estos factores tienden a disminuir considerablemente la pérdida de agua. Por el contrario las plantas que viven en ambientes húmedos (higrófitas), tienen adaptaciones como: estomas elevados, pelos y emergencias vivas que favorecen la transpiración (Ingrouille, 1992).

La transpiración presenta una periodicidad diurna relacionada con las condiciones meteorológicas. En general es baja durante la noche, aumenta con rapidez después del amanecer hasta un máximo al final de la mañana o principios de la tarde y luego disminuye gradualmente hasta la noche (Taiz y Zeiger, 2006). La transpiración de una planta o una hoja puede variar de un momento a otro, debido a efectos de los factores ambientales que modifican condiciones fisiológicas intrínsecas del vegetal (pH, potencial agua, etc.). Estos factores pueden ser:

- **Temperatura-** Las altas temperaturas favorecen el aumento de la cantidad de agua que puede contener el aire, lo cual se traduce en una mayor pérdida de agua por parte de las plantas.
- **Radiación Solar-** Los estomas, principalmente, se abren con la luz para permitir que se realice la fotosíntesis, y esta apertura estomática facilita la transpiración. Un exceso de radiación solar, incrementa por tanto la transpiración.

- **Humedad relativa-** El bajo contenido de humedad en la atmósfera hace que exista una gran diferencia entre el contenido acuoso de la hoja y el aire circundante, lo cual facilita la transpiración.
- **Velocidad del viento-** El viento arrastra el vapor de agua que rodea a la superficie de las hojas. Como consecuencia, se incrementa la transpiración.

### **Medidas de Transpiración.**

La bomba de presión de tipo "Scholander" es el aparato más usado para medir estrés hídrico en vides para vino. Aunque su uso se ha restringido mayormente a la estimación de la frecuencia de riego en viñedos que utilizan el estrés hídrico para mejorar la calidad de las bayas, recientes avances científicos han permitido su incorporación a la programación del riego en otros cultivos frutales (Calderón, 2013). Como lo mencionan Lallana y Lallana (2003) éste instrumento electrónico portátil se puede determinar la resistencia que ofrece la epidermis a la difusión de un gas (en este caso, vapor de agua). Consta de un medidor portátil de resistencia eléctrica y un sensor de humedad cuya resistencia varía en forma inversamente proporcional al grado de humedad. Para medir se adosa el sensor a la hoja y se mide con un cronómetro el tiempo que tarda en disminuir la resistencia entre dos valores de una escala. A mayor apertura estomática, más rápido será el cambio ya que disminuye la resistencia. Se calcula así la resistencia estomática (y su inversa la conductancia), conociendo la temperatura de la hoja (medida por el instrumento) y del aire.

Dentro de los métodos que se pueden utilizar, se encuentran

a) Pérdida de peso de una planta en una maceta: se calcula pesando una planta y su recipiente, debidamente sellado para evitar la evaporación del suelo, a intervalos de tiempo convenientes. También se puede usar un lisímetro, con el suelo sellado. Considerando que la cantidad de agua utilizada en el crecimiento es menor del 1 % del peso seco final (225 kg de agua por kg de materia seca), se asume que todo cambio en peso en el intervalo de tiempo considerado se debe a la transpiración.

En una balanza sensible es posible medir la pérdida de peso de una hoja o rama cortada a intervalos de 1 o 2 minutos. Si el órgano no sufre estrés hídrico, el método da una medida satisfactoria y rápida, pero se cometen serios errores si la planta está sufriendo déficit hídrico, o se mide durante períodos mayores a los mencionados.

b) Método de Freeman: la planta o una de sus partes se aísla en un recipiente de cristal, en el que se hace fluir una corriente de aire seco. El vapor de agua se recoge en tubos que contienen pentóxido de fósforo o cloruro de calcio y se pesa. Como testigo se utiliza un aparato similar sólo que en ausencia de la planta. Adolece de serias objeciones dada la artificialidad del sistema que hace cambiar las condiciones experimentales.

c) **Potómetro: si se admite que la absorción compensa la pérdida de agua por transpiración, con el potómetro se puede determinar de manera indirecta la intensidad de la pérdida de agua por la planta o vástago cortado, midiendo la tasa de absorción.** Consiste en un depósito de agua en el que se introduce una planta o una parte de ella y un tubo capilar de vidrio de diámetro interno conocido, acoplado al depósito (Fig. 7). En el tubo se introduce una burbuja de aire, y la velocidad de movimiento de ésta sobre una escala sirve como indicador de la intensidad de la transpiración. Para disminuir el error se recomienda usar plantas enteras, de todas formas no es un método muy preciso.

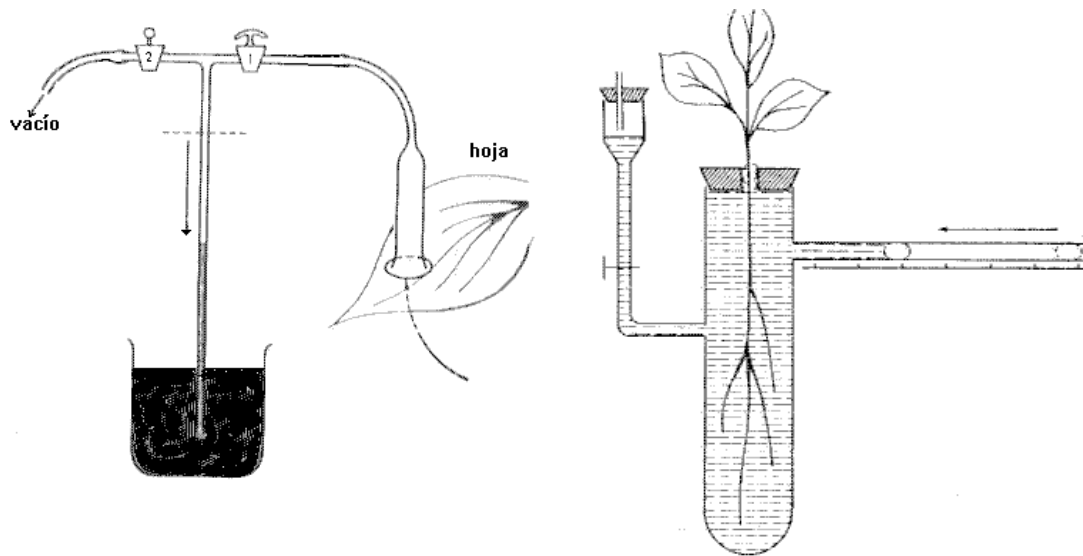


Figura 7. La figura de la izquierda muestra el principio básico de medición de un potómetro de difusión. Al principio se aspira el líquido mediante la trompa de vacío cerrando la llave 1 y abriendo la 2. Luego se corta el vacío (cerrando la llave 2) y se abre la 1: el gas se difunde a través de la lámina foliar y hace descender la columna de agua en el tubo. Cuando más rápidamente descienda la columna, más rápidamente difunde el aire, por lo cual los estomas estarán muy abiertos. La figura de la derecha representa un potómetro, que mide la cantidad de agua absorbida por el desplazamiento del menisco de aire en el capilar horizontal.

Sin embargo, dada la importancia que están tomando el efecto del cambio climático sobre los diferentes cultivos, se están probando métodos comunes y novedosos, para medir el potencial hídrico de plantas en el campo (Barajas *et al.*, 2006; Busso, 2013).

### Literatura citada.

Ángeles Álvarez, G. 2013. Plomería vegetal. Revista Ciencia y Desarrollo en línea. <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/265/articulos/plomeria-vegetal.html> Consultado el 27 de mayo del 2015.

Barajas, E.; Rubio, J. A; Arranz, C. y Yuste, J. 2006. Respuesta del potencial hídrico foliar a la variación de la distancia entre cepas. Vida Rural. En línea <http://www.eumedia.es/user/articulo.php?id=116> Consultado el 27 de mayo del 2015.

Beck, Ch. B., 2010. An Introduction to Plant Structure and Development. Plant Anatomy for the Twenty-First Century. Segunda edición. Cambridge University Press. 441 pp.

Busso CA, 2008. Uso de la cámara de presión y los psicrómetros a termocupla en la determinación de las relaciones hídricas en tejidos vegetales. Revista Internacional de Botánica Experimental. 77: 327-350

Calderón, A., 2013. Opinión: Uso de la bomba de tipo “Scholander” como indicador de estrés hídrico. En línea [http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&ved=0CEoQFjAJ&url=http%3A%2F%2Fwww.uchile.cl%2Fdocumentos%2Fopinion-uso-de-la-bomba-de-tipo-scholander-como-indicador-de-estres-hidrico-22022013-pdf-173kb-89416\\_0.pdf&ei=6UpnVZ2xK8ftsAWYvYDYAw&usq=AFQjCNGlynKo4ZeCNAheHEOTgATxoCwB4Q&bvm=bv.93990622,d.b2w](http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&ved=0CEoQFjAJ&url=http%3A%2F%2Fwww.uchile.cl%2Fdocumentos%2Fopinion-uso-de-la-bomba-de-tipo-scholander-como-indicador-de-estres-hidrico-22022013-pdf-173kb-89416_0.pdf&ei=6UpnVZ2xK8ftsAWYvYDYAw&usq=AFQjCNGlynKo4ZeCNAheHEOTgATxoCwB4Q&bvm=bv.93990622,d.b2w) Consultado el 27 de mayo de 2015.

Cubas P., 2008. Las plantas terrestres: embriofitos. Botánica [www.aulados.net](http://www.aulados.net) Consultado el 24 de mayo de 2015.

Diccionario de la Real Academia Española. <http://buscon.rae.es/drae/srv/search?val=transpiraciones> Consultado el 25 de mayo de 2015.

- Fernández Muerza, A, 2008. Estrés hídrico. En línea [http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/urbano/2008/10/23/180934.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/urbano/2008/10/23/180934.php) Consultado el 26 de mayo de 2015.
- Hernández Gil, R. 2007. En línea: <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/relahid/> Consultado en 17 de mayo de 2015.
- Hill, R. W. & Wyse G. A. 2006. Fisiología Animal. Ed. Médica Panamericana. 1038 pp.
- Ingrouille, M. 1992. Diversity and Evolution of Land Plants. 1a edición, Chapman & Hall, Gran Bretaña. 340 pp.
- Lallana, V. H. y Lallana, M. C., 2003. Manual de Prácticas de Fisiología Vegetal (Edición digital). [http://www.academia.edu/4740422/Manual\\_de\\_Pr%C3%A1cticas\\_de\\_Fisiolog%C3%ADa\\_Vegetal\\_-Edici%C3%B3n\\_digital\\_-Lallana](http://www.academia.edu/4740422/Manual_de_Pr%C3%A1cticas_de_Fisiolog%C3%ADa_Vegetal_-Edici%C3%B3n_digital_-Lallana) Consultado el 25 de mayo del 2015.
- Martínez Zavala, A.; Arroyo Becerra, A. y Villalobos López, M. A. 2009. Briofitas. Plantas programadas para enfrentar la sequía. <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/238/Articulos/Briofitas/Briofitas1.html> Consultado el 26 de mayo de 2015.
- Martínez-Vilalta, J. y Piñol, J. 2003. Limitaciones hidráulicas al aporte de agua a las hojas y resistencia a la sequía. Ecosistemas 2003/1 (URL: <http://www.aeet.org/ecosistemas/031/investigacion1.htm>)
- Moreno Sanz, M. 2003. La colonización de la tierra por los vegetales. *Monograf. Jard. Bot. Córdoba*. 11: 11- 27.
- Squeo, F.A. y León, M. F., 2007. Capítulo III. Transpiración. En Fisiología Vegetal. Squeo & Cardemil, eds. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile 3: 67-84
- Sterling y Hernández-Rios (2005). La Transpiración - Movimiento del Agua a Través de las Plantas. En línea <http://croptechnology.unl.edu/printLesson.cgi?lessonID=1123617035> Consultado el 25 de mayo del 2015.
- Universidad Complutense de Madrid (En línea). <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/dicix/proyectos/agua/transpiracion.html> Consultado el 27 de mayo del 2015.

Universidad Nacional de Colombia (en línea).

[http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000051/lecciones/cap01/03\\_03.htm](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000051/lecciones/cap01/03_03.htm)

Consultado el 26 de mayo del 2015.

Universidad Politécnica de Valencia (en línea).

[http://www.euita.upv.es/varios/biologia/temas/tema\\_12.htm](http://www.euita.upv.es/varios/biologia/temas/tema_12.htm) Consultado el 27 de

mayo del 2015.

Taiz, L. y Zeiger, E. 2006. Fisiología Vegetal. Universidad Jaume I. Servicio De Comunicacion Y Publicacione. 1160 pp.