

TOMA, TRANSPORTE Y METABOLISMO DEL AGUA Y NUTRIENTES EN LA PLANTA*

Water and Minerals Uptake, Transport and Metabolism in the plants.

Harvey Arjona Díaz¹

RESUMEN

Desde el punto de vista de la termodinámica, sistema es una región de espacio o cantidad de materia sobre la cual enfocamos nuestra atención. Los sistemas interactúan entre sí. El potencial hídrico de cualquier sistema o parte de un sistema que contiene agua o que puede contener agua es una medida de la máxima energía del agua en el sistema, disponible para hacer trabajo. El agua en el sistema suelo-planta-atmósfera se mueve siguiendo un gradiente de potencial hídrico, el cual es mayor en el suelo y menor en la atmósfera. Los minerales absorbidos de la solución del suelo por la raíz siguen esta corriente, llamada corriente transpiratoria.

Palabras claves: Potencial hídrico, nutrición mineral, sistema.

SUMMARY

From the thermodynamic point of view, a system is a region of space or quantity of matter on which we focus our attention. Systems interact among themselves. The water potential of any system or part of a system that contains water, or could contain water, is a measure of the maximum energy of the water in the system available to do work. Water in the soil-plant-atmosphere-system moves following a water potential gradient which is greater in the soil and lower in the atmosphere. Minerals absorbed by the roots in the soil solution follow this water stream, which is called the transpiration stream.

* Recibido: Diciembre de 1996

¹ Profesor Asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Key words: Mineral nutrition, water and mineral uptake, water and mineral transport, water and mineral metabolism.

1. EL CONCEPTO DE SISTEMA.

Según la termodinámica, sistema es una región de espacio o cantidad de materia sobre la cual enfocamos nuestra atención. Un beaker con una solución, una hoja fotosintetizando, los Andes Colombianos y la Vía Láctea son sistemas dentro de uno más grande que llamamos Universo. Dentro de este orden de ideas, el suelo sobre el cual crece una planta o un grupo de plantas es un sistema; la planta en sí es un sistema compuesto, a su vez, de subsistemas o sistemas más pequeños, como serían la raíz, el tallo o, como se dijo anteriormente, una hoja fotosintetizando o transpirando o metabolizando un elemento esencial es un sistema. De la misma manera, la atmósfera en la cual crece la planta es otro sistema. Generalmente, los sistemas no funcionan aisladamente, sino que, por el contrario, éstos interactúan entre sí, haciendo del estudio de los mismos algo relativamente complejo.

El objetivo de este trabajo es tratar de entender la dinámica del agua y de los minerales en el sistema Suelo-Agua-Planta-Atmósfera.

2. EL CONCEPTO DE POTENCIAL HÍDRICO DE UN SISTEMA.

El potencial hídrico de cualquier sistema o parte de un sistema que contiene agua o que puede contener agua es el potencial químico del agua en el sistema o parte del

sistema, comparado con el potencial químico del agua pura a la presión atmosférica y a la misma temperatura. Por convención, el potencial hídrico del agua pura a la presión atmosférica y a la temperatura ambiente es igual a cero.

Si se tiene en cuenta que el potencial químico de una sustancia (incluyendo el agua) es una medida de la máxima energía disponible para hacer trabajo, se puede decir que el potencial hídrico de un sistema es una medida de la máxima energía del agua en el sistema disponible para hacer trabajo.

La energía siempre se desplaza de un nivel de mayor energía a uno de menor energía. Un fruto cae al suelo porque el nivel de energía (energía potencial) es mayor en el árbol que en el suelo. La corriente eléctrica (energía) va de un mayor potencial a un menor potencial (p.e. de 710 voltios a 600 voltios, generando una corriente de 110 voltios). De la misma manera, el agua en el sistema suelo-planta-atmósfera, se mueve siguiendo un gradiente de potencial hídrico, el cual es mayor en el suelo y menor en la atmósfera. Es decir, el agua no asciende en una planta sino que «cae» del suelo a la atmósfera, a través de la planta siguiendo un gradiente de potencial hídrico.

El potencial hídrico de un sistema se mide en unidades de presión (atmósferas, bares, o megapascuales, abreviado por MPa.). Una atmósfera es igual a la presión barométrica a nivel del mar (760 mm de mercurio o 10,33 m de agua). Un bar es equivalente a 0,98 atmósferas y un megapascal es igual a 10 bares, o sea, que un megapascal es igual a la presión que ejerce una columna de agua de 101 metros.

El potencial hídrico del suelo, dentro del cual se encuentra el agua disponible para las plantas, está entre - 0,0001 MPa y - 0,15 Mpa o 15 atmósferas, punto que, convencionalmente, se ha definido como el punto de marchitez permanente. Para que la raíz pueda tomar agua del suelo, su potencial hídrico debe ser menor que el potencial hídrico del suelo (algún valor entre - 0,0001 y - 0,15 Mpa.). Dependiendo de la especie y de la

condición fisiológica, el potencial hídrico de la raíz puede variar entre - 0,001 y - 3,0 Mpa. A su vez, para que el agua ascienda (caiga) a las hojas, el potencial hídrico de éstas debe ser menor que el de la raíz y, finalmente, para que el agua se evapore de la hoja a la atmósfera, el potencial hídrico de ésta debe ser el menor de todos.

El potencial hídrico de la atmósfera depende de la humedad relativa del aire. Una atmósfera saturada de humedad tiene un potencial hídrico de cero, lo cual implica que, en esta atmósfera, no se presenta pérdida de agua a través de los estomas. Si la humedad relativa de este aire desciende al 94% y la temperatura del mismo es de 21°C, el potencial hídrico desciende a - 8.34 Mpa, lo cual, en teoría, equivale a decir que si el sistema de transporte de la planta fuera 100% eficiente, este aire sería capaz de sostener una columna de agua (hacer ascender a través de una planta una columna de agua) equivalente a 842,34 m (8,34x101m).

3. EL AGUA EN EL SUELO.

El agua, según la tenacidad con la cual es retenida, en el suelo se clasifica en tres categorías, a saber:

.1. **Gravitacional.** Agua de escorrentía y/o de infiltración. Esta agua no es aprovechable para las plantas ya que, al no ser retenida por el suelo, se pierde rápidamente.

.2. **Capilar.** Es el agua disponible para las plantas. Corresponde al agua que se encuentra entre - 0,0001 y - 0,15 Mpa.

.3. **Higroscópica.** No es disponible para la planta, ya que se encuentra retenida a tensiones superiores a - 0,15 MPa.

4. FORMAS COMO LOS MINERALES ENTRAN EN CONTACTO CON LA RAÍZ.

Para que el agua y los minerales puedan ser absorbidos por la raíz, es necesario que éstos entren en contacto físico con la misma. La forma como los minerales entran en contacto con la raíz es:

.1. **Por flujo de masas**, lo cual sucede cuando el agua de riego o la lluvia arrastran consigo las sales a la zona de la rizosfera.

.2. **Por difusión**, debido a gradientes de concentración. Los fluidos - líquidos o gaseosos - se mueven espontáneamente de los sitios de mayor concentración a los de menor concentración. Los minerales en solución en el suelo se mueven por difusión hacia las raíces.

.3. **Por crecimiento de las raíces**. Las raíces agotan rápidamente la rizosfera de minerales y, por ello, están en continuo crecimiento, explorando volúmenes de suelo en donde los minerales no han sido agotados.

5. MOVIMIENTO HORIZONTAL DEL AGUA EN LA RAÍZ.

En la toma de agua y nutrientes por la raíz, éstos, primero, se mueven en forma radial hasta llegar al centro de la raíz donde se encuentra la estela o cilindro central para luego iniciar, desde allí, el movimiento ascendente. Para comprender el movimiento del agua y de los nutrientes en la planta. Es importante tener claridad sobre los conceptos de **apoplasto y simplasto**. Estos dos términos fueron propuestos, por primera vez, por el fisiólogo alemán Munch en 1928, cuando, para explicar el movimiento de los solutos en el floema, propuso su modelo de **Presión de flujo**.

Según Munch, el apoplasto o sistema apoplástico de una planta está formado por todos los espacios intercelulares de los diferentes tejidos, incluida la pared celular y el xilema. Es decir, que el sistema apoplástico de la planta está formado por la parte no viva de la planta. De otra parte, el simplasto o sistema simplástico estaría formado por los citoplasmas de todas las células, los cuales están interconectados entre sí por los plasmodesmos que unen los citoplasmas de células adyacentes.

El agua y los diferentes nutrientes pueden penetrar y moverse radialmente hacia el centro de la raíz, ya sea por vía apoplástica, o por vía simplástica.

En el primer caso, es decir, siguiendo la vía del apoplasto, el agua y los nutrientes atraviesan la epidermis y la corteza hasta la endodermis vía apoplástica. Al llegar a la endodermis el movimiento no puede continuar vía apoplasto, debido a la presencia de las bandas de Caspari que obliga a que, tanto el agua, como los nutrientes penetren al citoplasma de las células de la endodermis y continúen vía simplasto hasta la estela, donde agua y nutrientes pasan al xilema de la raíz. Esto en el caso de que la raíz no tenga exodermis (estrato de células inmediatamente debajo de la epidermis con banda de Caspari), pues, de ser así, el agua y los nutrientes sólo pueden llegar hasta ésta vía apoplástica. Para continuar hacia la estela, agua y nutrientes deben pasar a través de la membrana celular de la exodermis y continuar vía simplasto hasta la estela.

El agua y los nutrientes pueden penetrar directamente al simplasto de la raíz a través de los pelos radicales. En este caso, agua y nutrientes deben pasar a través de la membrana celular del pelo radical y continúan vía simplástica hasta la estela de la raíz, donde pasan al xilema de la raíz como en el caso anterior.

6. MOVIMIENTO ASCENDENTE DEL AGUA Y DE LOS NUTRIENTES.

Una vez el agua y los nutrientes han llegado al xilema de la raíz, éstos deben iniciar el movimiento ascendente hacia las hojas y hacia los ápices de la planta, en la llamada corriente de transpiración. Existen dos modelos (hipótesis) que tratan de explicar este movimiento ascendente. El **Modelo de Presión Radical** y el **Modelo de Cohesión de Dixon**.

El modelo de presión radical es útil para explicar el movimiento del agua en plantas herbáceas, ya que, si el modelo es cierto, el agua no podría ascender por encima de la presión barométrica (10,33 m). Según este modelo, la raíz funcionaría de la misma manera que un osmómetro. Las células de la estela (periciclo y parénquima) bombearían activamente (con gasto de energía para la

planta) iones al apoplasto de la estela, principalmente en el xilema, con lo cual el potencial osmótico de éste disminuiría (se haría más negativo), generando la presión osmótica necesaria para que el agua entre al xilema y ascienda por éste hasta aproximadamente 10 m.

El modelo de cohesión de Dixon se basa en tres elementos fundamentales, a saber: a) Una fuerza motriz o conductora del agua generada por el gradiente de potencial hídrico a lo largo del sistema; b) Las fuerzas de adhesión que forman puentes de hidrógeno entre el agua y las paredes de los vasos o traqueidas del xilema, permitiendo que la vía del xilema se hidrate y el agua se adhiera a las paredes del mismo; y c) Las fuerzas de cohesión entre las moléculas de agua que le confieren a la misma una gran capacidad de tensión y permiten que se forme una columna de agua (continua) desde el suelo hasta la hoja. Cuando una molécula de agua se evapora de la hoja o pasa a través de la membrana celular, la fuerza de tensión se transmite a lo largo de toda la columna hasta el suelo y, de esta manera, el agua asciende en la planta.

De acuerdo con este modelo, la transpiración no, solamente, cumpliría un papel refrigerante en la hoja, sino que, también, estaría contribuyendo a generar el gradiente de potencial hídrico necesario para el ascenso del agua. Sin embargo, debe recalarse que el potencial hídrico generado en la hoja o en los puntos de crecimiento de la planta serían suficientes para producir este gradiente.

7. EL AGUA Y LOS MINERALES EN LA HOJA

Una vez el agua llega a la hoja, existen dos posibilidades: Que se evapore a través de los estomas en el fenómeno conocido como transpiración o que penetre a las células del mesófilo para constituirse en parte integral del citosol o para ser metabolizada en los diferentes procesos que se llevan a cabo en las células de la hoja (fotosíntesis, reacciones de hidrólisis, etc.).

Los nutrientes, por su parte, penetrarían a la célula donde pueden ser metabolizados o ser almacenados en la vacuola o pueden pasar al floema para ser reexportados hacia los órganos demanda o vertederos, cuando se trate de elementos con buena movilidad en el floema.

Con el transcurso del tiempo, las hojas van acumulando nutrientes que no se pueden eliminar en las formas descritas y ésta puede ser una de las causas de senectud de las hojas. Estos elementos son restituidos al suelo, cuando las hojas caen al mismo.

8. MOVILIDAD DE LOS ELEMENTOS EN EL FLOEMA.

CUADRO 1. Movilidad de los elementos minerales en el floema.

Móvil	Intermedio	Poco móvil
Nitrógeno	Hierro	Calcio
Fósforo	Magnesio	Boro
Potasio	Cinc	
Magnesio	Cobre	
Azufre	Molibdeno	
Cloro		
Sodio		

Tomado de Emmanuel Epstein, 1972. Mineral Nutrition of Plants. Principles and Perspectives.

9. BIBLIOGRAFIA

1. **Barceló, J. et al.** Fisiología Vegetal. Ediciones Pirámide, S.A., Madrid. 1987.
2. **Epstein, E.** Mineral Nutrition of Plants. Principles and Perspectives. John Wiley and Sons, INC., N.Y. 1972.
3. **Kramer, I.P.** Water Relations of Plants. Academic Press, N.Y. 1983.
4. **Salisbury, F. B. and C. W. Ross.** Plant Physiology. 4th edition. Wadsworth Publishing Company. Belmont, California. 1992.