

Introducción

De todos los recursos que las especies vegetales necesitan para crecer y desarrollarse el agua es el más abundante y puede ser, también, el más limitante por el gran volumen que una planta debe absorber durante todo su ciclo de vida. No obstante, las plantas sólo conservan aproximadamente el 3% del volumen total del agua que absorben, cantidad que usan en la fotosíntesis y otros procesos metabólicos. El 97% del agua restante, cuya principal función es el transporte de nutrientes disueltos a través de la planta, asciende desde la raíz hasta la superficie de las hojas, donde es evaporada en forma de transpiración.

Según la vía metabólica que utilizan en el proceso fotosintético de fijación de dióxido de carbono (CO_2), las plantas se clasifican en C3 y C4. Se ha estimado que por cada molécula de CO_2 fijada, las plantas C3 deben absorber, transportar y evaporar hacia la atmósfera aproximadamente 500 moléculas de agua. Las plantas C4, como la caña de azúcar, son más eficientes en el uso del agua y se estima que requieren cerca de 250 moléculas de agua para fijar un molécula de CO_2 (Taiz y Zeiger, 2006). De lo anterior se puede deducir que los desbalances en el flujo de agua a través de la planta, incluso si son pequeños, pueden causar graves problemas en muchos procesos celulares que intervienen en la acumulación de materia seca, parámetro utilizado para estimar la productividad potencial de los cultivos.

El agua en el suelo

El déficit de agua en el suelo es el factor principal que impide que los cultivos alcancen su potencial de productividad. El agua afecta la forma química en la que los nutrientes se encuentran en el suelo y cuando ocurre un déficit de humedad se disminuye la disponibilidad de aquellos a pesar de que se encuentren en cantidades suficientes. Para que puedan ser absorbidos por la raíz y transportados a través de la planta hacia los lugares donde van a ser metabolizados, los nutrientes deben estar disueltos en el agua presente en los poros que se forman entre las partículas de suelo, es decir, en la solución del suelo, en la cual el agua actúa como solvente y los nutrientes actúan como soluto.

La cantidad de lluvia y su distribución en el tiempo en un sitio o región determinados pueden permitir que se alcancen rendimientos óptimos en los cultivos o pueden impedirlo. Así, los factores que más limitan la productividad ocurren cuando el volumen de agua debido a la lluvia o por irrigación es menor al requerimiento del cultivo, o cuando se tiene poca disponibilidad de agua en los momentos de demanda máxima en combinación con suelos con baja capacidad para retener la humedad en forma disponible. De la misma forma, en suelos con baja capacidad para evacuar los excesos de agua se puede afectar la productividad, incluso tan negativamente como ocurre cuando el agua disponible es deficitaria.

Aunque el contenido total de agua en un suelo sea muy alto, el agua disponible para el cultivo siempre es menor debido a que el agua aprovechable es la que se encuentra entre los puntos de capacidad de campo y marchitez permanente. Se define como capacidad de campo el contenido de agua del suelo cuando ésta ha sido drenada por efecto de la fuerza gravitacional; para determinar la capacidad de campo se mide la cantidad de agua retenida cuando se le aplica al suelo una succión de $1/3$ de la presión atmosférica. La definición física del punto de marchitez permanente es el contenido de humedad de un suelo sometido a una succión de 15 atmósferas. Biológicamente, el punto de marchitez se define como el contenido de humedad a partir del cual una planta ya no se recupera del daño por deficiencia de agua, a pesar de que se le aplique riego.

La capacidad de un suelo para retener agua disponible para las plantas depende principalmente de la textura del suelo. En general, los suelos arcillosos pueden retener mayor cantidad de humedad que los suelos livianos o arenosos. El agua se mueve a través del suelo principalmente por el flujo masal generado por los gradientes de presión en la masa de suelo. De esta forma el agua se mueve desde regiones de alto contenido de humedad, donde hay macroporos llenos de agua, hacia regiones de menor contenido de humedad, donde solo hay agua en poros de menor tamaño. A medida que la planta absorbe el agua del suelo, cerca de la superficie de la raíz se crea una zona donde el potencial osmótico es bajo, con lo cual se genera un flujo masal de agua proveniente de regiones del suelo cercanas y con mayor potencial osmótico.

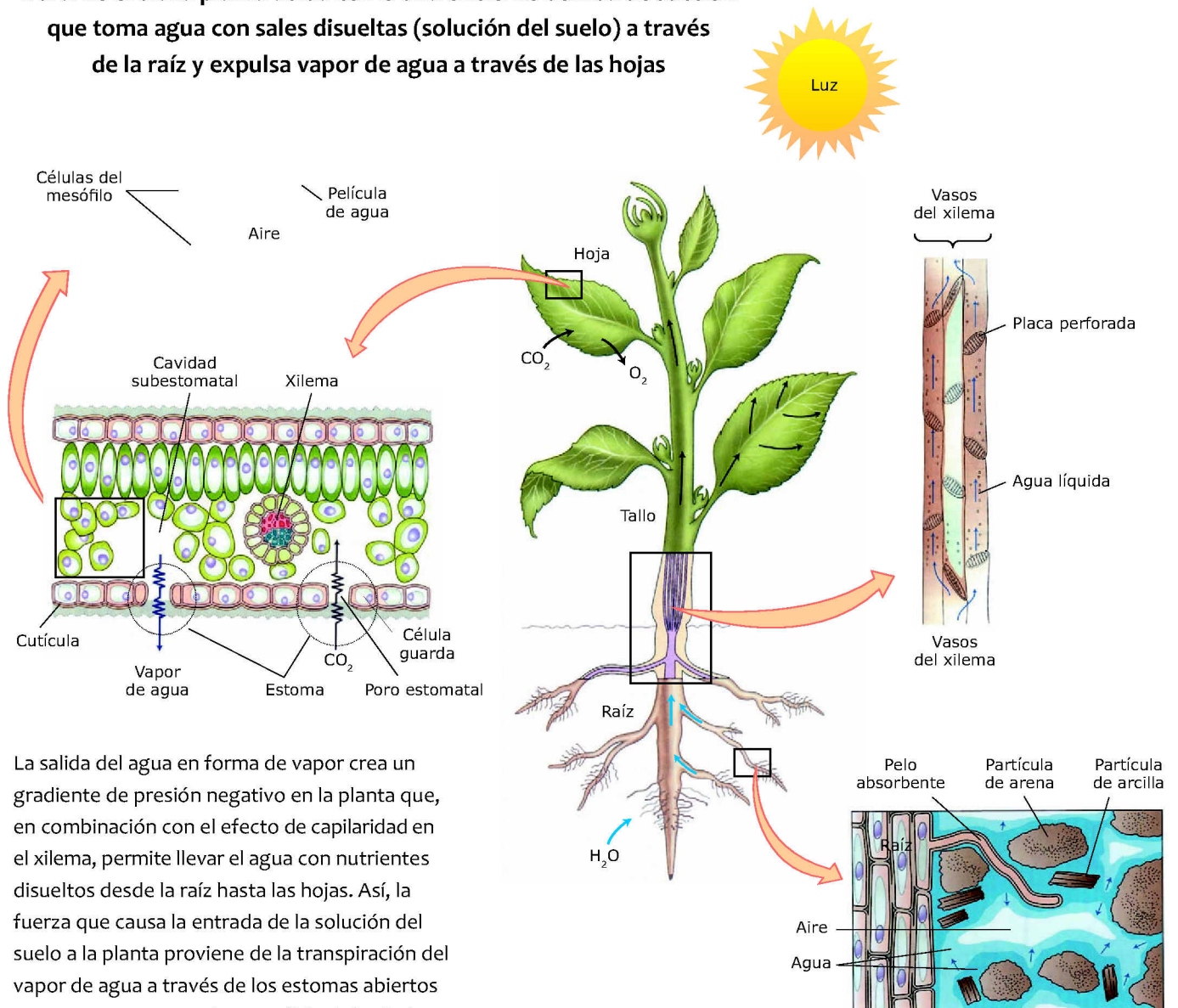
* Ingeniero Agrónomo, Ph.D., Edafólogo de Cenicaña <fmunoz@cenicana.org>

Movimiento del agua desde el suelo hasta las hojas

Para lograr una absorción de agua efectiva debe existir un buen contacto entre la superficie de la raíz y el suelo. El área de contacto se maximiza a medida que crecen los pelos absorbentes, los cuales penetran entre las partículas de suelo. Los pelos absorbentes son extensiones de las células epidérmicas de la raíz que contribuyen a incrementar la superficie radicular y la capacidad para absorber iones y agua del suelo. Se ha encontrado que la superficie de los pelos absorbentes puede representar hasta el 60% del total del área de la superficie radicular (Taiz y Zeiger, 2006). El agua

entra en la planta principalmente por la zona más cercana al ápice de las raíces, donde todavía no se ha desarrollado la capa de células llamada exodermis que contiene materiales hidrofóbicos como la suberina, la cual se acumula en las regiones más viejas de la raíz y la hace relativamente impermeable (Kramer y Boyer, 1995).

Durante el día la planta actúa como una eficiente bomba de succión que toma agua con sales disueltas (solución del suelo) a través de la raíz y expulsa vapor de agua a través de las hojas



La salida del agua en forma de vapor crea un gradiente de presión negativo en la planta que, en combinación con el efecto de capilaridad en el xilema, permite llevar el agua con nutrientes disueltos desde la raíz hasta las hojas. Así, la fuerza que causa la entrada de la solución del suelo a la planta proviene de la transpiración del vapor de agua a través de los estomas abiertos que se encuentran en la superficie de las hojas.

A medida que la raíz absorbe agua del suelo, el agua aprovechable (regiones azul claro, con flechas) disminuye y la solución del suelo queda confinada muy cerca de las partículas de suelo donde la tensión es mayor y es más difícil para la raíz absorberla (azul más intenso).

Ilustración y textos adaptados de Taiz y Zeiger (eds.) 2006.

Para poder ser absorbidos, los nutrimentos deben estar disueltos en el agua existente en los poros que se forman entre las partículas de suelo. La presencia y solubilidad de los elementos minerales necesarios para el desarrollo de las plantas son factores determinantes para que la planta alcance la suficiencia de uno o más nutrimentos o para que sufra la deficiencia de ellos. Así mismo, cuando un elemento mineral está presente en gran cantidad y se encuentra disponible en la solución del suelo, se pueden presentar problemas de toxicidad.

Las hojas son el principal centro de actividad fotosintética de la planta. Para llegar a las hojas, el agua con nutrimentos disueltos debe atravesar diferentes medios (pared celular, citoplasma, membranas y espacios porosos), de forma que utiliza mecanismos de transporte según el medio; entre los mecanismos principales están la difusión molecular (transporte rápido en distancias cortas pero extremadamente lento en distancias largas) y el flujo masal (muy rápido en distancias largas).

Durante el día la planta actúa como una eficiente bomba de succión que toma el agua con sales disueltas (solución del suelo) a través de la raíz y expulsa vapor de agua a través de las hojas. La salida del agua en forma de vapor crea un gradiente de presión negativo en la planta que, en combinación con el efecto de capilaridad en el xilema, permite llevar el agua con nutrientes disueltos desde la raíz hasta las hojas. Así, la fuerza que causa la entrada de la solución del suelo a la planta proviene de la transpiración del vapor de agua a través de los estomas abiertos que se encuentran en la superficie de las hojas (ver ilustración en página anterior).

Los estomas poseen dos células llamadas células guardas que actúan como una válvula que permite el intercambio gaseoso entre la hoja y la atmósfera. En estudios recientes se ha encontrado que los estomas son estructuras tan especializadas que pueden ser activadas por diferentes mecanismos; son los casos de la concentración de potasio que abre los estomas en las mañanas y la concentración de sacarosa, encargada de mantenerlos abiertos el resto del día mientras la planta realiza sus procesos de fotosíntesis (Talbot y Zeiger, 1998). Cuando los estomas se encuentran abiertos, el aire que entra a la hoja evapora la película de agua que cubre las células del mesófilo y entonces se produce la presión hidrostática negativa que genera la succión necesaria para que el agua que se encuentra en el xilema ascienda hacia las hojas; por lo tanto, durante la noche, cuando los estomas se cierran, se detienen la transpiración y la entrada de agua a la planta.

En condiciones de alta humedad relativa del aire, cuando la planta no está transpirando se puede presentar un fenómeno conocido como presión de raíz que ocurre por la acumulación de iones que generan

presión hidrostática positiva en el xilema. Dicha presión origina el fenómeno de gutación que se observa temprano en la mañana en forma de gotas en los bordes de las hojas en algunas especies de plantas. Esas gotas llamadas comúnmente gotas de rocío son, en realidad, gotas de savia, la cual es exudada a través de poros especializados denominados hidátodos.

Efecto del agua en los nutrimentos del suelo

El déficit de humedad del suelo disminuye la disponibilidad de los nutrimentos a pesar de que se encuentren en cantidades suficientes. Las plantas requieren que los nutrimentos se encuentren disueltos en la solución del suelo para que éstos puedan ser absorbidos y translocados hasta los lugares donde van a ser metabolizados. El exceso de agua o el déficit en la zona radicular afectan la forma química en la que están presentes los nutrimentos en el suelo.

El nitrógeno es el nutrimento que más limita la producción de los cultivos de especies no leguminosas. La caña de azúcar, al ser una gramínea, depende del nitrógeno proveniente de la mineralización de la materia orgánica del suelo y de los fertilizantes aplicados como complemento del nitrógeno disponible en la materia orgánica. El nitrógeno es absorbido por las plantas en la forma química de amonio (catión) o en forma de nitrato (anión) y el efecto biológico de absorberlo de una forma u otra puede afectar el desempeño fisiológico y la productividad de los cultivos. Se ha encontrado que en general las plantas requieren una combinación de ambas formas de nitrógeno, aunque la tendencia es que se requiere una mayor proporción de nitrato que de amonio.

La forma predominante del nitrógeno en el suelo depende principalmente del contenido de humedad del suelo. Es así como en suelos con aireación limitada por exceso de humedad se restringe la nitrificación (paso de amonio a nitrato), debido a que este proceso es realizado por bacterias aeróbicas exclusivas. De acuerdo con lo anterior se puede afirmar que la caña de azúcar requiere suelos bien aireados para tener una nutrición nitrogenada balanceada en términos de la relación nitrato/amonio, que permitan alcanzar el rendimiento potencial del cultivo. También, que los suelos con exceso de humedad disminuyen fuertemente la productividad de los cultivos de caña de azúcar.

Referencias bibliográficas

- Kramer, P.J. y Boyer, J.S. 1995. Water relations of plants and soils. Academic Press, San Diego, CA. 325 p.
- Taiz, L. y Zeiger, E. (Eds.) 2006. Plant physiology. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, MS. 764 p.
- Talbot, L. D. y Zeiger, E. 1998. The role of sucrose in guard cell osmoregulation. Journal of Experimental Botany, 49: 329-337.



Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia - Cenicaña
Agroindustria unida en la investigación y el desarrollo

Cenicaña es una institución privada de carácter científico y tecnológico, sin ánimo de lucro, fundada en 1977 por iniciativa de la agroindustria azucarera localizada en el valle del río Cauca. Su misión es contribuir por medio de la investigación, evaluación y divulgación de tecnología y el suministro de servicios especializados al desarrollo de un sector eficiente y competitivo, de manera que éste juegue un papel importante en el mejoramiento socioeconómico y en la conservación de un ambiente productivo, agradable y sano en las zonas azucareras.

Las actividades de investigación y desarrollo son financiadas por los ingenios azucareros y los cultivadores de caña a través de donaciones directas definidas cada año como un porcentaje del valor de la producción de azúcar.

Las áreas de investigación se enmarcan en tres programas: Variedades, Agronomía y Procesos de Fábrica. Los servicios de apoyo son: Información y documentación, Economía y Estadística, Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología y Tecnología Informática. El Centro Experimental está ubicado a 3°13' latitud norte, a 1024 metros de altura sobre el nivel del mar. En este sitio la temperatura media anual es de 23.5 °C, la precipitación de 1160 mm y la humedad relativa de 77%.

La **Carta Trimestral** es una publicación periódica, editada por Cenicaña con el propósito de difundir información y conocimientos científicos y tecnológicos relacionados con el desarrollo de la agroindustria azucarera colombiana. Ofrece documentación resumida sobre los resultados generados por el centro de investigación y las experiencias de ingenios y cañicultores con las nuevas tecnologías, al tiempo que provee las referencias bibliográficas complementarias sobre cada tema. El primer volumen fue editado en 1978, y los cambios más significativos de diseño y concepto editorial se dieron en 1997 cuando la versión impresa comenzó a publicarse también en Internet.

Título: Importancia del agua en la nutrición de los cultivos

Autor: Fernando Muñoz Arboleda

Publicado en: Carta Trimestral. Cenicaña, 2009. v.31, nos. 3 y 4. p.16-18

© Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia, 2010.

Centro Experimental: vía Cali-Florida, km 26
Tel: (57) (2) 6876611 – Fax: (57) (2) 2607853w
Oficina de enlace: Calle 58 norte no.3BN-110
Apartado aéreo: 9138
Cali, Valle del Cauca – Colombia

www.cenicana.org
buzon@cenicana.org