

aplicaciones de la psicrometría termoeléctrica en edafología y fitología

La medición del estado energético del agua en el suelo y las plantas es una técnica complementaria de la medición del contenido de agua por medios radiactivos.

El autor del presente artículo, Profesor Dr. Walter H. Gardner, de la Universidad Estatal de Washington, Pullman, Wash. (Estados Unidos de América), trabaja, cedido por un año, en la División Mixta FAO/OIEA de la Energía Atómica en la Agricultura y la Alimentación.

Las técnicas radiactivas basadas en la atenuación o dispersión de los neutrones o rayos gamma de baja energía por el agua ocupan hoy un lugar importante e indispensable en el estudio del agua contenida en los suelos y otros medios porosos. Son los únicos métodos no destructivos existentes que no están afectados por las indeterminaciones debidas a las relaciones no unívocas entre el contenido de agua y la energía, en el caso del agua contenida en cuerpos porosos. Aunque las mediciones volumétricas del contenido de agua por medios radiactivos adolecen de ciertas limitaciones, proporcionan valiosa información sobre la cantidad de agua contenida en el suelo, información que sirve para calcular las necesidades de irrigación y el agua disponible para las plantas en crecimiento. Igualmente, esas mediciones son de gran utilidad para los ingenieros que construyen sobre terrenos y otros materiales porosos, donde el contenido de agua o la densidad es un aspecto importante. No obstante, el contenido volumétrico de agua solo, por significativo que sea, no caracteriza plenamente un material poroso en cuanto a su humedad. En muchos aspectos es más útil conocer la fuerza con que el agua es retenida por el cuerpo poroso. En efecto, el que dicho cuerpo se comporte como húmedo o seco depende más de la fuerza con que retiene el agua que de la cantidad de agua que contiene. Un suelo determinado — o un material de construcción — puede comportarse como

húmedo con sólo un 5% de su volumen ocupado por el agua, mientras que otro suelo o material de textura y poros más finos quizá no se comporte así hasta que la proporción sea del 20 al 30%. Sin embargo, ambos se comportarán de manera análoga si el estado energético del agua, es decir, la fuerza con que es retenida, es aproximadamente igual. Este principio general es importante, pues es aplicable a las plantas en crecimiento y afecta también a las propiedades técnicas de los materiales porosos.

Existen relaciones entre la cantidad y el estado energético del agua retenida por un cuerpo poroso. Sin embargo, estas relaciones varían grandemente con la porosidad y las propiedades de humectación. Además, los materiales porosos no se humedecen de la misma manera cada vez que se les añade agua, pudiendo existir considerables diferencias en la relación contenido de agua-energía, que dependen exclusivamente de cómo se produjo la humectación. En algunos casos, las diferencias son tan pequeñas que, midiendo sólo el contenido de agua, pueden sacarse conclusiones útiles acerca de las propiedades de los materiales porosos húmedos relacionadas con la energía. Sin embargo, esto no es siempre así y con frecuencia las diferencias son tan grandes que se cometerían graves errores si se obrase de esa manera. Por tanto, es evidente que son importantes dos propiedades por lo menos de los materiales porosos húmedos relacionadas con el agua: el contenido de agua y la energía necesaria para extraerla.

Este artículo trata de un método psicrométrico relativamente nuevo para medir el estado energético del agua del suelo, propiedad complementaria del contenido volumétrico del agua, el cual puede determinarse por técnicas radiactivas. De todas formas conviene repasar brevemente los métodos tradicionales de medición. El aparato más sencillo para determinar la fuerza con que el agua es retenida por el suelo, el tensiómetro, está formado por una vasija porosa y una columna de agua suspendida, según se ve en la figura 1. El agua es retenida firmemente por los poros finos de la vasija frente a la tracción que ejerce la columna suspendida de agua, h . El agua puede pasar desde la vasija al suelo, o viceversa, hasta alcanzar el equilibrio, en cuyo momento la altura de la columna de agua, h , indica la energía necesaria para extraer el agua (la energía potencial por unidad de volumen viene dada por la expresión ρgh , donde ρ es la densidad del agua, g la fuerza de la gravedad, y h la altura de la columna. Es posible sustituir la columna de agua por un manómetro de mercurio o un vacuómetro, lo que es más cómodo, pues estos aparatos pueden colocarse sobre la superficie del suelo. Esta técnica es útil en los suelos húmedos, pero a medida que el suelo se seca se plantean problemas de cavitación que limitan la altura de la columna de agua que el manómetro puede soportar sin que ésta se rompa. Por consiguiente, no puede determinarse una gran parte de los valores de interés. Existe un método de laboratorio, aplicable a muestras, que soslaya este problema utilizando presiones positivas, pero no puede emplearse sobre el terreno.

El método psicrométrico de medición de la energía del agua se basa en que la tensión del vapor, en un material poroso que contiene exclusivamente agua pura, depende también de la fuerza con que el agua es retenida por las superficies y los poros finos del material, lo mismo que la altura de la columna de agua del tensiómetro. Por tanto, la medición de la tensión del vapor en un sistema poroso es una medición análoga, y el potencial viene dado por la ecuación de la figura 1. La razón p/p_0 es la humedad relativa; dicho esto, se hace obvia la función del psicrómetro. La presencia de materiales solubles en el agua del suelo afecta igualmente al estado energético y entonces el potencial medido es la suma del potencial «matricial más el osmótico». El tensiómetro sólo mide el potencial matricial, ya que los materiales disueltos atraviesan libremente las paredes de la vasija porosa. Provisto de una membrana, el tensiómetro mediría también el potencial matricial más el osmótico. Sin embargo, esta membrana prolongaría el tiempo de reacción del instrumento hasta límites inaceptables, por lo que no se utiliza.

El psicrómetro empleado para el agua del suelo difiere de modo apreciable del tradicional usado para medir la humedad atmosférica. Ello se debe a que los valores de interés, en la

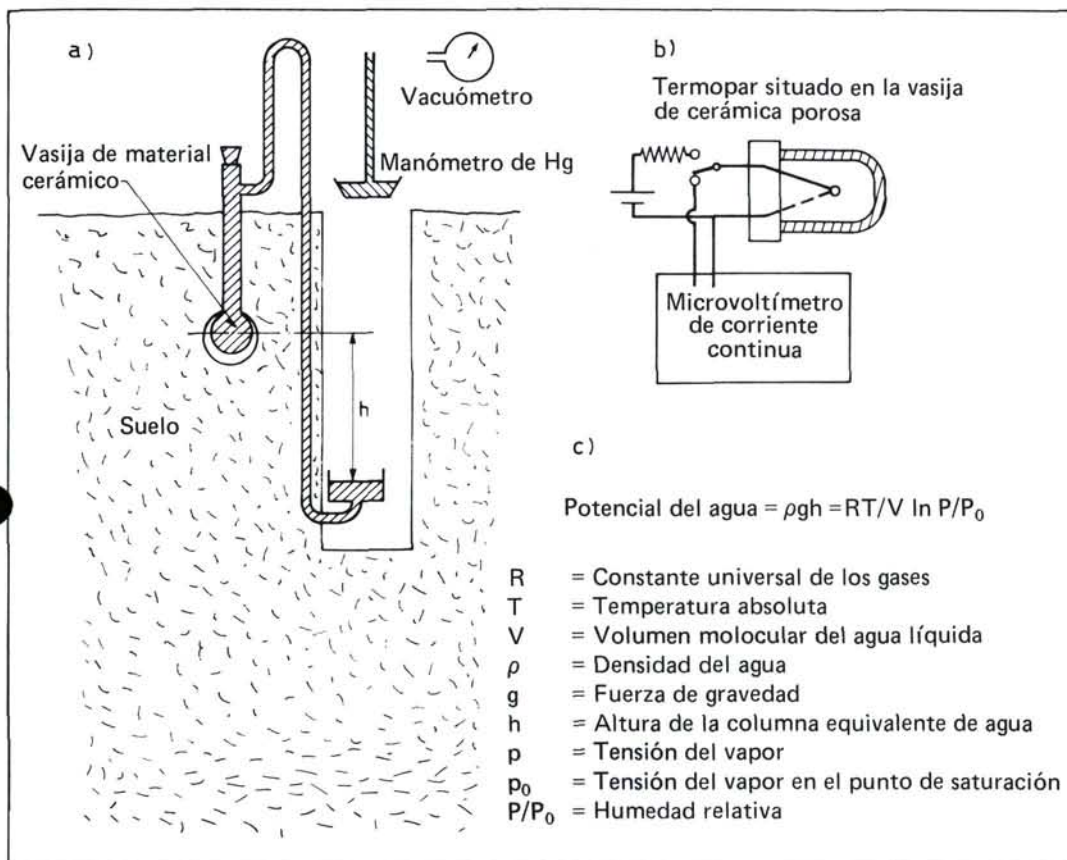


Figura 1 a) esquema de un tensiómetro
 b) esquema de un psicrómetro
 c) fórmula del potencial del agua

mayoría de los materiales porosos, están muy cercanos al 100% de humedad relativa, región en que se requiere una precisión extremadamente elevada. Además, el elemento sensor del psicrómetro debe ser tal que el aparato pueda insertarse fácilmente en el suelo. El psicrómetro utilizado puede verse en esquema y fotografiado en la figura 1. Posee un termopar de cromel-constán fabricado al microscopio con alambre muy fino, colocado en una vasija porosa. Las uniones de referencia de este termopar están en la base del aparato, de manera que cuando el agua se deposita en la unión del termopar y después se evapora, la diferencia de temperatura medida es la misma que la del termómetro clásico de cubeta humedecida, en la que se basa el empleo de las tablas higrométricas. Como deben medirse temperaturas del orden de la milésima de grado en la escala de Celsius, se requiere un microvoltímetro de corriente continua muy sensible. Para humedecer la unión del termopar se hace pasar una pequeña corriente continua (de 3 a 8 mA) a través del mismo durante unos 10 segundos, en sentido tal que enfríe la unión (enfriamiento de Peltier). La unión se enfría por debajo del punto de rocío y el agua se condensa sobre ella. Cuando se interrumpe la corriente de enfriamiento, el agua de la unión se evapora y pasa a la atmósfera a una velocidad que depende de la humedad relativa de la atmósfera. La diferencia de temperatura entre esta unión y las uniones de referencia situadas en la base del aparato, durante la primera parte de este proceso de evaporación, es la



Un psicrómetro en acción sobre una hoja de planta y en el suelo.

misma que permite observar el termómetro de cubeta humedecida. El aparato no reúne todas las condiciones propias de un psicrómetro perfecto para el que existen tablas estándar (de todas formas, no existen tablas suficientemente precisas para la región próxima a la saturación), por lo que el instrumento suele calibrarse directamente en unidades apropiadas de potencial utilizando atmósferas estándar conseguidas con soluciones osmóticas.

El psicrómetro de suelos es sensible a la temperatura, por lo que el aparato debe colocarse a profundidad suficiente en el terreno, a fin de que las fluctuaciones térmicas sean pequeñas. Sin embargo, colocando psicrómetros idénticos muy cerca de grandes masas térmicas (por ejemplo, un bloque de aluminio de 2 x 2 x 3 cm), es posible efectuar mediciones in situ del potencial del agua en hojas en crecimiento. El instrumento se utiliza también en laboratorio, en muestras de suelo y de tejido vegetal. En laboratorio se emplea cada vez más para medir el potencial osmótico de zumos procedentes de tejidos vegetales congelados o triturados.

Lo mismo que con otros muchos instrumentos, es difícil indicar la fecha de su descubrimiento y el autor del mismo. Sin embargo, parece que el primer investigador que utilizó el psicrómetro para medir el contenido de agua del suelo fue L. A. Richards, del U. S. Salinity Laboratory de Riverside (California), alrededor de 1938. Richards aplicó agua a una pequeña unión con una micropipeta, regulando exactamente la temperatura de todos los componentes por medio de un baño especial. Hacia 1951, D. C. Spanner se sirvió en Inglaterra del efecto de Peltier para humedecer el termopar, suprimiendo de esa manera la necesidad de acceso directo al termopar y eliminando las perturbaciones térmicas. Así se soslayó uno de los mayores obstáculos que se oponían al empleo práctico del aparato y se hicieron posibles las mediciones in situ. El perfeccionamiento de las técnicas y su aplicación a problemas fitoedafológicos se aceleró a principios de los años sesenta, gracias en gran parte a un descubrimiento de S. L. Rawlins, realizado en el Salinity Laboratory de los Estados Unidos, quien comprobó que podían eliminarse casi por completo los problemas planteados por la temperatura colocando el termopar del psicrómetro dentro de una pequeña vasija porosa insertada en el suelo, a una profundidad a la que la velocidad de los cambios de temperatura sea pequeña. Hoy día muchos laboratorios se interesan por esta técnica, habiéndose logrado considerables adelantos en los últimos años.

El valor práctico de la psicrometría, en el caso de las mediciones efectuadas en el suelo y en las plantas, se debe a la importancia de conocer los cambios del estado energético del agua a medida que ésta circula por el suelo y por las plantas hasta pasar a la atmósfera, y a la necesidad de determinar qué propiedad del agua influye más directamente en el crecimiento vegetal. Desde hace mucho tiempo se sabe que el efecto del agua sobre el crecimiento de las plantas guarda más relación con la fuerza con que el agua es retenida por el suelo y los tejidos que con la cantidad de agua. Sin embargo, los métodos de medición del estado energético eran, en el mejor de los casos, complicados y las mediciones in situ imposibles. Con el desarrollo de la psicrometría aplicada a los suelos y a las plantas, esas mediciones son hoy día relativamente fáciles. El empleo generalizado de la psicrometría ha permitido elaborar nuevos conceptos, conocer mejor el complejo suelo-planta-atmósfera y obtener muchos resultados útiles para mejorar los métodos de cultivo de las plantas a fin de producir más alimentos y de mejor calidad. En el laboratorio del autor (Soil Physics Laboratory, Department of Agronomy and Soils, Washington State University, Estados Unidos) y en otros muchos laboratorios se están observando relaciones interesantes entre el crecimiento vegetal y el potencial del agua de los tejidos de las hojas, en plantas tales como el trigo y las patatas. El especular sobre las posibles ventajas económicas de estos conocimientos es aventurado. Sin embargo, es un hecho que el rendimiento de muchos cultivos en condiciones reales es a veces muy inferior al que se sabe que podría obtenerse en condiciones ideales. Por ejemplo, el rendimiento en condiciones ideales de cierta variedad de patata se ha comprobado que es por lo menos el doble del alcan-