

DETERMINACION DE LA RAZON DE BOWEN EN SUPERFICIES CON VEGETACION NATURAL CON UN SISTEMA PSICROMETRICO

Víctor L. Barradas.

Resumen

Se diseñó y construyó un sistema psicrométrico para determinar la razón de Bowen en superficies con vegetación. Este sistema tiene un rango de medición de -10 a 60 °C, con una precisión absoluta de 1% y una precisión relativa de 0.01%. Estas características hacen que este sistema psicrométrico sea capaz de determinar la razón de Bowen en sitios donde los gradientes verticales de temperatura y humedad del aire son muy pequeños. Se usaron cuatro circuitos integrados LM3911 como sensores, tanto de temperatura del bulbo seco como húmedo. Este sistema se puede conectar a una graficadora de un canal mediante un multicanalizador o directamente a un sistema de adquisición de datos.

Abstract.

A psychrometric apparatus for Bowen ratio determination on vegetated surfaces was designed and built. This system has a measurement range from -10 to 60 °C. Wet and dry bulb temperatures differences were measured with an error of 0.01%, and absolute temperatures with an error of 1%. Therefore, this measuring system is capable of determining Bowen ratio where temperature and humidity gradients are very small. The wet and dry temperature sensors were four integrated circuits LM3911. The data generated by this system can be collected by a graph recorder or a data logger.

Introducción.

La determinación de la evapotranspiración en superficies con vegetación natural requiere de modelos matemáticos que tienen que ser alimentados con datos, que en la mayoría de los casos son generados por sistemas de medición muy sofisticados y por ello muy caros.

El modelo más sencillo de determinar la evapotranspiración es el del balance energético, que requiere de la determinación de la razón de Bowen. Sin embargo, la vegetación natural impone algunas restricciones para la

determinación de este parámetro, debido a que los gradientes, tanto el de temperatura como el de presión de vapor del aire por encima de la cobertura vegetal, son muy pequeños (Barradas, 1989).

Este problema relacionado con el comportamiento de los gradientes de temperatura y humedad puede solucionarse instalando muy separadamente los sensores del sistema de medición de la razón de Bowen, sin embargo, esta solución no resulta práctica. Por eso, es necesario contar con un instrumento cuyos sensores tengan una separación adecuada, una buena precisión y una gran sensibilidad.

Por otro lado, este sistema de medición debe ser capaz de generar datos confiables durante períodos de tiempo bastante largos, como lo requiera el estudio de la evapotranspiración de un sitio.

Las gradientes de humedad del aire se pueden determinar de diferentes formas a partir de la temperatura del bulbo húmedo, temperatura del punto de rocío y humedad relativa. Sin embargo, la determinación de estas dos últimas requiere de instrumentos de manufactura sofisticada o cuya precisión es baja, o presentan una gran histéresis. En cambio, la determinación de la temperatura del bulbo húmedo no requiere de sistemas de medición sofisticados, ni presenta precisiones bajas o histéresis.

Otro de los inconvenientes que pueden presentarse en la fabricación de un sistema de medición es la accesibilidad a las piezas o partes del mismo, es decir, que los componentes no se encuentren en el mercado nacional.

En este trabajo se describe el diseño y el desarrollo de un sistema psicrométrico de medición de la razón de Bowen preciso, sensible y de fácil construcción. Además de que todos sus componentes se encuentran en el mercado nacional.

Teoría.

A partir del balance energético en un sitio y definiendo a la razón de Bowen (B) como la razón del flujo de calor

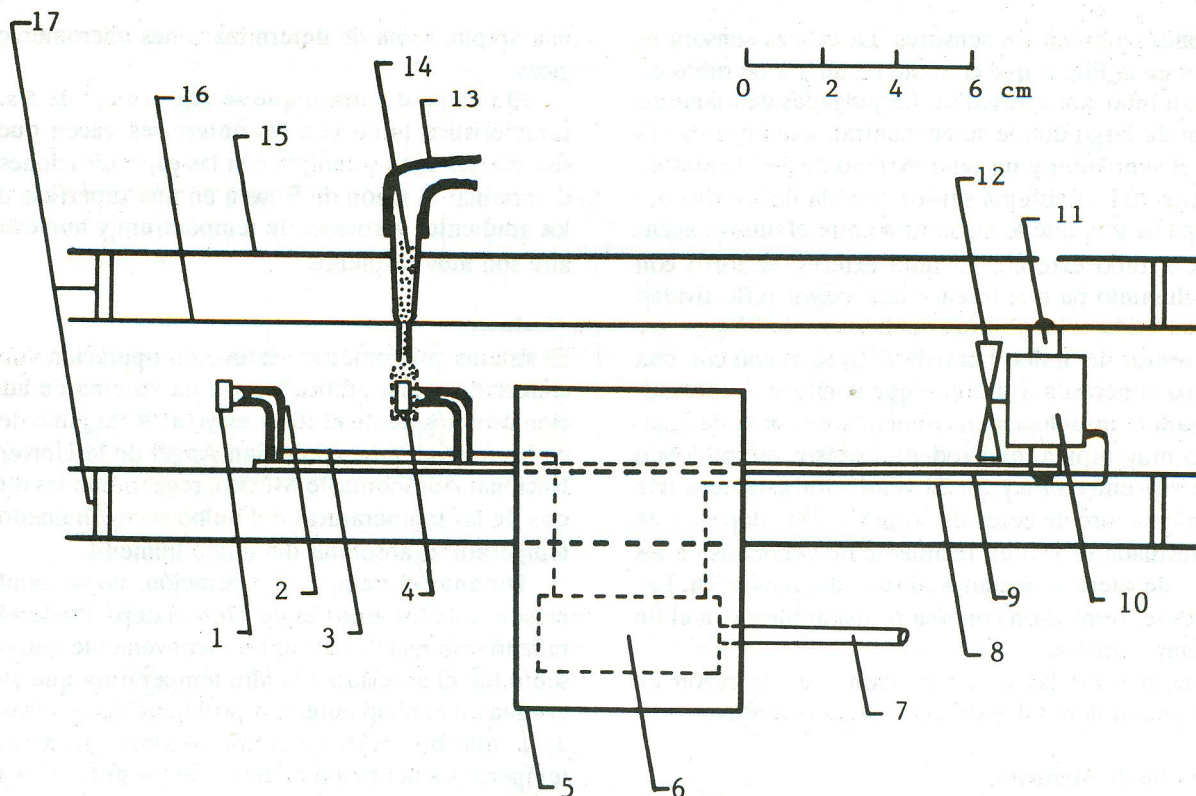


Fig. 1. Armazón de la cabeza sensora. (1) Temperatura del bulbo seco (T_s), (2) soporte de cemento epóxico del sensor, (3) conexiones de los sensores, (4) temperatura del bulbo húmedo (T_h), (5) caja de conexiones eléctricas, (6) circuito de la parte A del circuito electrónico, (7) conexiones de la parte B del circuito electrónico, (8) conexiones del motor, (9) soporte del micromotor y los sensores, (10) micromotor de 5 V, (11) soporte del micromotor, (12) ventilador, (13) tubo de equipo de venoclisis, (14) muselina, (15) tubo externo de PVC de 3 pulgadas forrado de papel aluminio, (16) tubo concéntrico de 1.5 pulgadas y (17) soportes del tubo concéntrico.

sensible (H) y el flujo de calor latente (LE), es decir $B = H/LE$, la evapotranspiración (E) se puede calcular como sigue:

$$E = \frac{R_n - G}{L(1 + B)} \quad (1)$$

donde R_n es la radiación neta, G es la tasa de almacenamiento de energía en la vegetación y el suelo y L es el calor latente de vaporización. En latitudes tropicales el término G se puede despreciar ya que las oscilaciones térmicas tanto diurnas como estacionales o anuales son muy pequeñas (Landsberg 1984).

Sargeant y Tanner (1967) dan la razón de Bowen en función de valores psicrométricos:

$$B = \{ (s/j + 1) (\Delta T_h / \Delta T_s) - 1 \}^{-1} \quad (2)$$

donde s es la pendiente de la curva de presión de vapor de saturación a la temperatura del bulbo húmedo

(T_h), j es la constante psicrométrica. T_h y T_s son las diferencias de la temperatura del bulbo húmedo y del seco a dos alturas por encima de la cobertura vegetal, respectivamente. De aquí que se necesita medir las diferencias de T_h y T_s y las temperaturas absolutas de T_h .

Sistema de medición.

Cabeza Sensora.

Una de las piezas fundamentales en cualquier instrumento micrometeorológico es el sistema de medición, ya que al instalar el sensor en el medio hay que protegerlo de las variables del mismo medio que no vaya a determinar. Tal es el caso de la temperatura del aire, donde el sensor necesita ser aislado de la radiación solar directa, corrientes azarosas del aire de diferentes velocidades, de la precipitación pluvial, etc.

La cabeza sensora es semejante a la descrita por Barradas (1988) con algunos cambios tanto en las di-

mensiones como en los sensores. La cabeza sensora se muestra en la Fig. 1, que consiste en un par de tubos de PBC. Un tubo concéntrico de 1.5 pulgadas de diámetro y 30 cm de largo donde se encuentran los sensores (T_s y T_h), el ventilador y un tubo externo de 3 pulgadas de diámetro. Así, el sistema sensor se aísla del medio por una capa de aire que se encuentra entre el tubo concéntrico y el tubo externo. El tubo externo se forró con papel aluminio para mantener una mayor reflectividad de la radiación solar y duración del tubo de PVC.

El sensor del bulbo húmedo (T_h) se atavió con una muselina conectada a un tubo que conduce agua destilada. Para la muselina se recomienda una gasa de algodón no muy tupida, que rodee el sensor, permitiendo que se vea entre el tejido. El ventilador establece una corriente de aire de cerca de 10 m/s. Como depósito de agua destilada se usó un recipiente de venoclisis de los equipos de suero conectados al tubo del sensor T_h . Los sensores se barnizaron con una resina acrílica con el fin de intemperizarlos.

Para realizar las determinaciones de la razón de Bowen se requieren dos de estas cabezas sensoras.

El Circuito de Medición

El circuito electrónico de medición psicrométrica se muestra en la Fig. 2. Este circuito consta de dos partes, la parte A que es el circuito común de los sensores y la parte B donde se generan las diferencias de T_s y T_h .

El circuito de la parte A está constituido principalmente de cuatro sensores LM3911 de cápsula metálica (dos sensores para determinar T_s a dos alturas diferentes y otros dos para T_h). Los sensores LM3911 tienen la capacidad de generar una diferencia de potencial de 10 mV/°C, en el rango de -25 a 85 °C (Anónimo, 1978).

La parte B del sistema está constituido por un circuito integrado LM747 que es un amplificador operacional doble conectado de tal forma que genera las diferencias ΔT_s y ΔT_h .

Calibración

Este sistema se calibró contra un psicrómetro de termopares (cobre-constatan) cuyo error en mediciones relativas es de 0.001% (Fitzjarrald, 1979). Se encontró una respuesta completamente lineal, con una sensibilidad de 10 mV/°C en rango de -10 a 60 °C y una precisión relativa de 0.01% y absoluta del 1%.

El rango de trabajo que se usó fue inferior al reportado por el fabricante, debido a que la calibración no se llevó más allá de los -10 y 60 °C por inconvenientes técnicos, no obstante, este rango es apto para realizar

una amplia gama de determinaciones micrometeorológicas.

El tiempo de atraso que se registró fue de 5 s. Esta característica junto con las anteriores hacen que este sistema sea apto y cumpla con las especificaciones para determinar la razón de Bowen en una superficie donde los gradientes verticales de temperatura y humedad del aire son muy pequeños.

Evaluación

El sistema psicrométrico estuvo en operación continua conectado a un graficador y a un sistema de adquisición de datos desde el 10 de mayo al 20 de junio de 1989 en la reserva Pedregal de San Angel de la Universidad Nacional Autónoma de México, registrando las diferencias de las temperaturas del bulbo seco y húmedo y las temperaturas absolutas del bulbo húmedo.

Durante el tiempo de operación, no se cambió la muselina de los sensores de T_h , y el depósito de agua se rellenó sólo una vez. El único inconveniente que se presentó fue el asociado a la alta temperatura que alcanzó el agua en el recipiente, y la proliferación de algas en el agua, que provocaron determinaciones erróneas en la temperatura del bulbo húmedo. Estos problemas se corrigieron cubriendo el recipiente del agua con papel aluminio para eliminar la proliferación de algas y colocándolo en un abrigo semejante a los termométricos para eliminar el calentamiento del agua.

En la Fig. 3 se muestra un ejemplo de las trazas de las temperaturas obtenidas por el graficador durante el día y la noche. Las diferencias de las temperaturas se pueden leer con una resolución muy alta y no excedieron de 0.4 °C durante el día y -0.2 °C durante la noche.

En la Fig. 4 se muestra un ejemplo de una variación diurna de la razón de Bowen en función de las diferencias de temperatura y cuando se lleva mayormente a cabo la evapotranspiración. Tanto las diferencias de las temperaturas, como la razón de Bowen y el flujo de calor latente (LE) muestran un comportamiento típico siguiendo un curso normal durante el día. Los valores de la razón de Bowen se mantuvieron por debajo de 1.5.

La máxima evapotranspiración se registró hacia las 16:00 hora local (hl), unas dos horas después de la máxima insolación, mientras que los máximos de DT_s y DT_h se registraron a las 14:00 hl. Los valores que alcanzó la razón de Bowen de las 08:00 a las 12:00 hl se debieron posiblemente a que el flujo de calor sensible se incrementa más rápidamente que el flujo de calor latente durante las horas de la mañana.

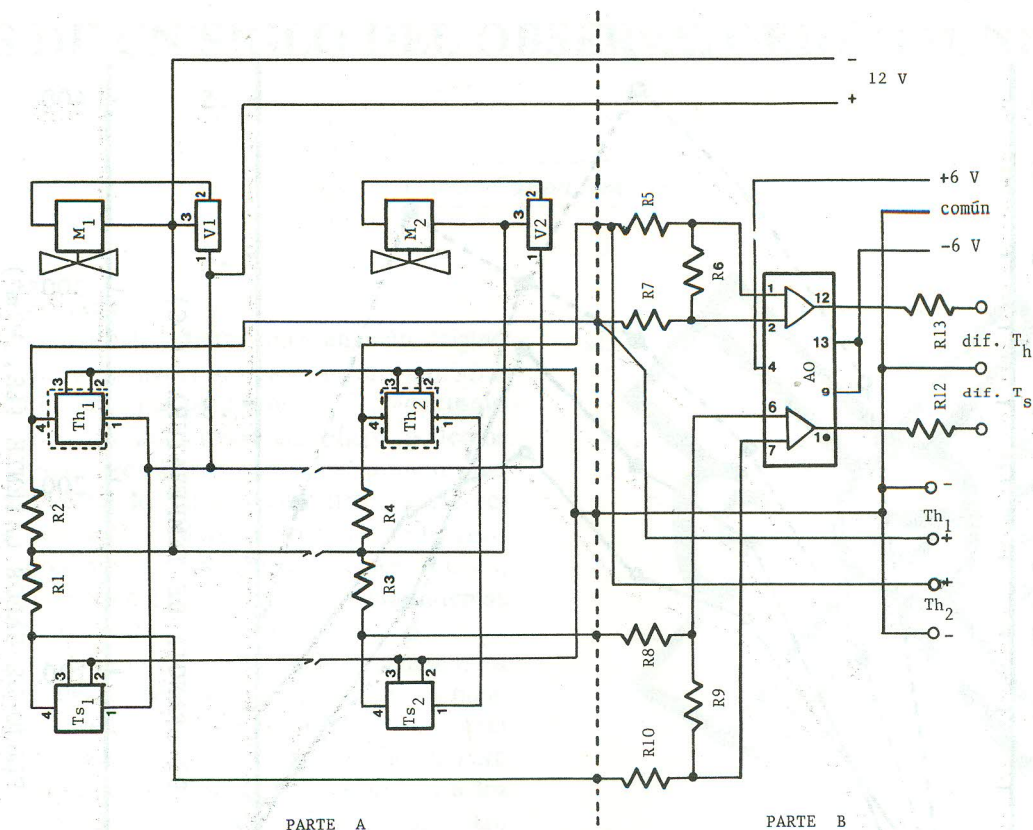


Fig. 2 (Cicuito electrónico del sistema de medic[i]on de la raz[on] de bowen. Parte A: Circuitos LM3911 (Th_1 , R_2 , R_3 , y R_4). Parte B: Amplificador operacional LM747 (AO), resis[t]encias de 1 Mohms (R_5 , R_7 , R_8 y R_{10}), resis[t]encias de 8.2 Mohms (R_6 y R_9) y resis[t]encias de 2.2 Komhs (R_{11} y R_{12}).

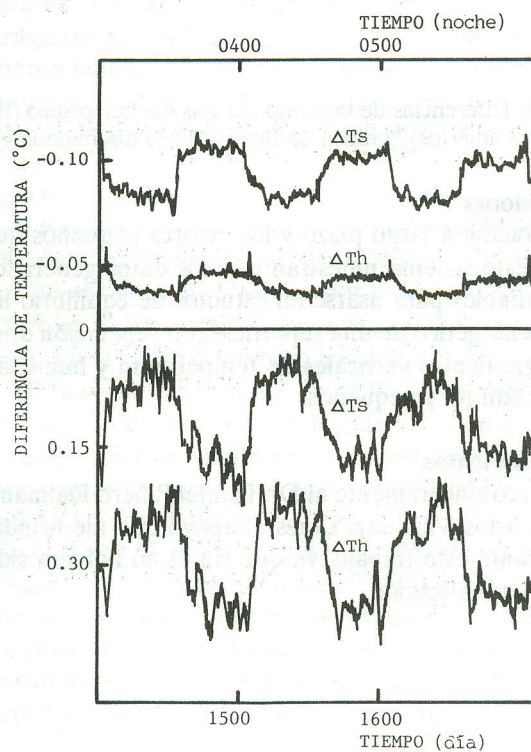


Fig. 3. Muestras de las trazas de las diferencias de las temperaturas del bulbo seco y húmedo (ΔTs y ΔTh) obtenidas con el sistema psicrométrico.

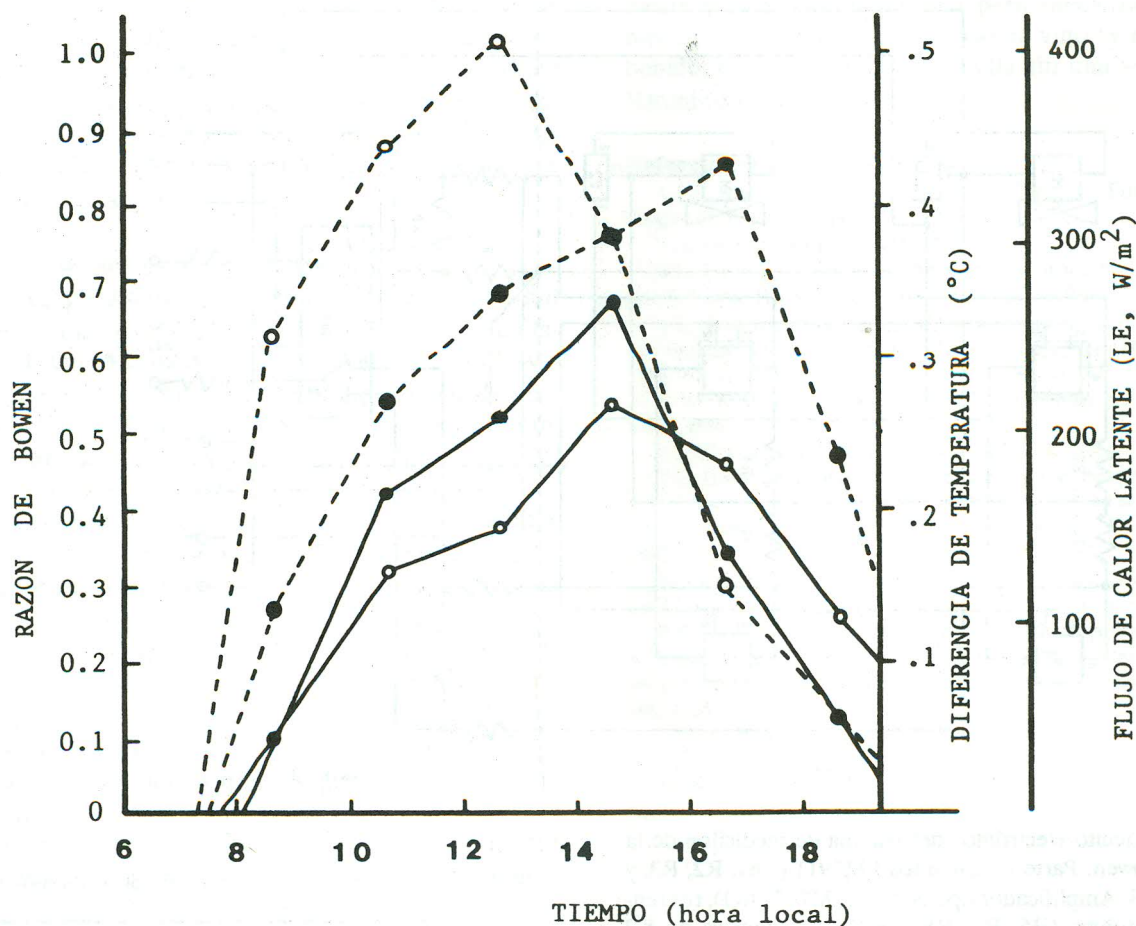


Fig. 4. Diferencias de las temperaturas del bulbo seco (línea continua y símbolos cerrados), del bulbo húmedo (línea continua y símbolos abiertos), la razón de Bowen (línea discontinua y símbolos cerrados) el día 10 de junio de 1989.

Conclusiones

La operación a largo plazo y los errores pequeños que genera este sistema muestran que los datos generados son confiables para usarse en estudios de equilibrio hídrico y energético de una superficie con vegetación donde los gradientes verticales de temperatura y humedad del aire son muy pequeños.

Agradecimientos

Agradezco sinceramente al Dr. Daniel Piñero Dalmau y al Dr. Carlos Vázquez-Yanes el apoyo que me brindaron durante este trabajo, ya que sin él no hubiera sido posible su realización.

Referencias.

- Anónimo. 1978. Semiconductor Reference and Application Handbook Cat. No. 276-4002. Radio Shack Corporation. Forth Worth, Texas, USA.
- Barradas, V.L. 1989. El papel de la micrometeorología en las fisiología ecológica vegetal. Boletín de la Sociedad Botánica de México 49 (en prensa).
- Barradas V. L. 1988. Diseño, construcción y evaluación de un psicrómetro ventilado digital. En: Memorias del III Congreso Interamericano de Meteorología y III Congreso Mexicano de Meteorólogos A. C., México, D.F., México.
- Fitzjarrald, D. R. 1979. Lectures on meteorological variables and instruments. Reporte Técnico. 50 pp. Centro de Meteorología Aplicada. Universidad Veracruzana. Jalapa, Veracruz. México.
- Landsberg, J. J. 1984. Physical aspects of the water regime of wet vegetation. In: Physiological Ecology of Plants of the Wet Tropics (Medina, E., Mooney, H. A. y Vázquez-Yanes C. eds.), pp 13-26. Dr. W Junk Publ. The Hague.
- Sargeant, D. H. y C. B. Tanner. 1967. A simple psychrometric apparatus for Bowen ratio determinations. J. Appl. Meteorol. 6: 414-418.