

Evaluación del atmómetro de disco poroso negro en comparación con el tanque de evaporación y el Piché

A. C. RAVELO¹

(Recibido: 11 de agosto, 1971)

RESUMEN

El conocimiento de la evaporación es sumamente importante para muchas actividades humanas, siendo indispensable para el uso eficiente del agua, sobre todo en zonas áridas y semiáridas.

La medición de la evaporación se efectúa con los evaporímetros, analizándose en este trabajo el comportamiento de tres aparatos frente al ambiente y entre sí; dos de ellos, el tanque americano de evaporación tipo A y el evaporímetro Piché, son reconocidos y aceptados universalmente, en cambio, el restante, el atmómetro de disco poroso negro, es de reciente creación.

La eficiencia de un evaporímetro está dada por su sensibilidad a los factores determinantes de la evaporación: radiación solar, viento, temperatura y déficit de saturación del aire. Para los tres aparatos ensayados se comprobó una similar reacción frente a los factores mencionados. Se evaluaron, además, como indicadores de la evapotranspiración potencial, con excelentes resultados. De las correlaciones efectuadas se concluyó que los centímetros cúbicos leídos en el atmómetro de disco poroso negro pueden transformarse, por medio de dos ecuaciones de regresión, en valores de evapotranspiración potencial con una desviación cuadrática media, para la estimación semanal de sólo 0,5057.

Las características de este aparato en cuanto a comportamiento instrumental, economía de construcción, sencillez de manejo y cuidados, hace suponer una rápida difusión en los establecimientos de experimentación agrícolas del país.

SUMMARY

A certain knowledge on evaporation is extremely important for many activities, since it is indispensable for the efficient use of water, specially in arid and semiarid zones.

Evaporation is measured with evaporimeters. In this study three instruments are taken into account, to analyze their reactions towards the environment and between each other; two of which, the Class A pan evaporimeter and the Piche evaporimeter, are universally accepted, where as the remaining one, the Black Porous Disc atmometer is of recent creation.

An evaporimeters' efficiency is given by its sensibility to the determinate factors of evaporation: solar radiation, wind, temperature and air saturation deficit. For each of the three instrument tested a similar reaction was observed towards these factors. They were also evaluated as indicators of potencial evapotranspiration, from which excellent results were obtained. As a result of the correlations that were made, it was concluded that, the cubic centimeters read on the Black Porous Disc atmometer can be transformed through two regression equations, to potencial evapotranspiration values with a standard error of only 0,5057 for the weekly estimation.

This instruments' characteristics, regarding instrumental reaction, economical construction, easy management and care, permits one to assume a fast diffusion in agricultural experimentation stations throughout the country.

¹ Profesor adjunto interino, Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas, Instituto de Ciencias Agronómicas, Universidad Nacional de Córdoba.

INTRODUCCION

Se ha demostrado que la evaporación es, luego de la radiación, el factor más importante del balance calórico. Su medición es una necesidad para muchas actividades y su conocimiento es indispensable para solucionar los numerosos problemas que se presentan en el uso eficiente del agua, especialmente en zonas áridas y semiáridas. En las tareas de planeamiento, diseño y funcionamiento de diques, estanques, sistemas de riego y drenaje es fundamental contar con datos fidedignos de evaporación.

El proceso de evaporación del agua está condicionado, en términos generales, a : 1) disponibilidad de energía a nivel de la superficie evaporante para satisfacer la demanda del calor latente de evaporación; 2) capacidad del aire de transferir el vapor de agua desde dicha superficie a la atmósfera circundante, y 3) disponibilidad de agua en la superficie de evaporación.

Por lo tanto, la cuantificación del pasaje de agua del estado líquido al de vapor implica disponer de un instrumento que tenga la máxima respuesta a la influencia integrada de los factores meteorológicos que, fundamentalmente, determinan dicho fenómeno. Tales factores son: la radiación solar, la temperatura del aire, el déficit de saturación del aire y la velocidad del viento. Teniendo en cuenta esta premisa, la Sección de Agrometeorología del Ministerio de Agricultura del Canadá diseñó el atmómetro de disco poroso negro cuyo uso se generalizó, al igual que otros tipos de atmómetros, en las estaciones agrometeorológicas canadienses con resultados satisfactorios, aunque por sus características, el atmómetro de disco poroso negro, superó en eficiencia a los otros modelos (CARDER, 1960; QUINTELA, 1962).

En el año 1963, el Dr. GEO W. ROBERTSON, Jefe de la Sección de Agrometeorología del Canadá observó dos atmómetros de disco poroso negro a la cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires que los puso en funcionamiento en la Estación Agrometeorológica de Castelar del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuarias. Pasados ocho años, resulta oportuno evaluar los resultados obtenidos en ese ambiente en comparación con medidores universalmente aceptados para medir la evaporación.

Si se encontrara una buena respuesta del aparato, las ventajas de su uso son obvias pues por la sencillez de su manejo y económica construcción permitiría establecer una red densa de aparatos distribuidos en toda la región agrícola argentina, actualmente bastante escasa de registradores de evaporación.

MATERIAL Y METODOS

Instrumental utilizado. Los instrumentos que se utilizaron en el presente estudio fueron:

- a) el tanque americano de evaporación tipo A (Servicio Meteorológico Nacional, 1948);
- b) el evaporímetro Piché (Servicio Meteorológico Nacional, 1948), y
- c) el atmómetro de disco poroso negro (Canada Department of Agriculture, 1962).

Este último (Fig. 1), por ser muy poco conocido en la Argentina requiere una breve descripción. Está constituido por:

- 1) Un reservorio plástico graduado de 200 centímetros cúbicos de capacidad.
- 2) Un tubo plástico de alimentación de 20 centímetros de longitud y 0,9 centímetros de diámetro interno. Su función es conducir el agua del reservorio a la superficie evaporante.
- 3) Un disco poroso negro de "Alundum" de 7,25 centímetros de diámetro y 0,3 centímetros de espesor que constituye la superficie evaporante. En su centro hay un orificio donde desemboca el tubo de alimentación.
- 4) Una platina metálica de forma cilíndrica que sostiene al disco poroso.
- 5) Dos pinzas dobles unen al conjunto reservorio-tubo de alimentación-disco poroso y platina a un soporte metálico fijo al suelo.

La superficie evaporante se instala a 1,20 metros de altura.

Información meteorológica. La información meteorológica fue obtenida de los boletines semanales de la Estación Agrometeorológica de Castelar del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (34° 40' S; 58° 39' W; 22 m. s.n.m.) y comprendió un período de siete años (1963 a 1970) de observaciones diarias de: radiación global (ly.día^{-1}),

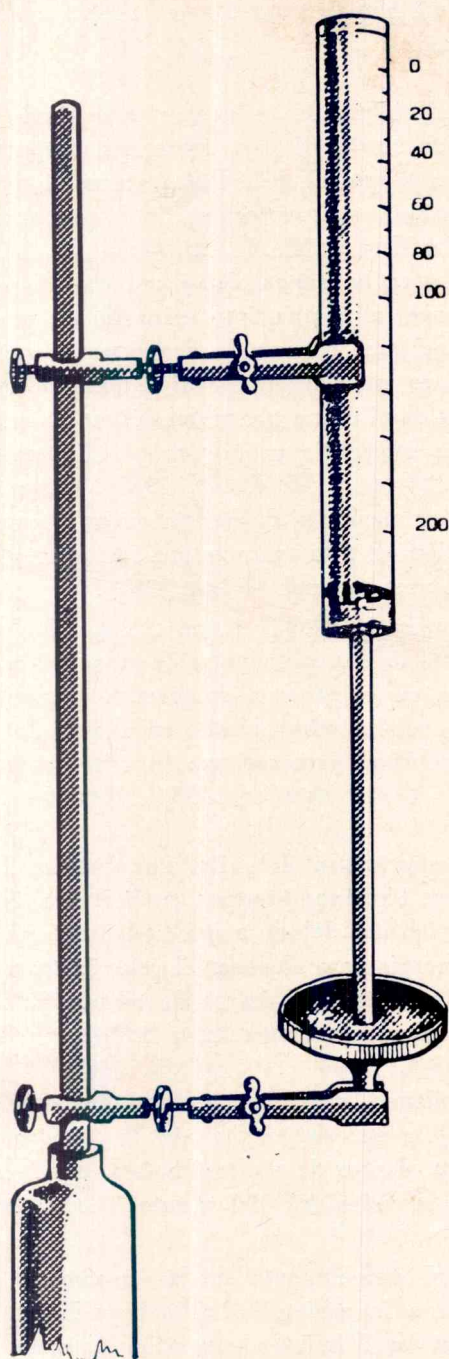


Fig. 1. — Esquema del atmómetro de disco poroso negro

temperatura media del aire en abrigo ($^{\circ}\text{C}$), déficit de saturación del aire (mb), velocidad del viento a 2 metros de altura (km. hora^{-1}) y evaporación en el tanque americano (mm).

Los datos del atmómetro (cm^3) corresponden al lapso 1963/67 y los del Piché (mm) de 1967 a 1970.

Método de trabajo. La información meteorológica se analizó estadísticamente (FISHER, 1949) obteniéndose, para promedios semanales, los coeficientes de correlación entre:

- la evaporación en los distintos instrumentos y la radiación global, la temperatura del aire, el déficit de saturación del aire y la velocidad del viento;
- las evaporaciones medidas por cada evaporímetro para períodos similares;
- la evapotranspiración potencial calculada y la evaporación ocurrida en tanque, atmómetro y Piché, respectivamente.

Con valores diarios y promedios semanales de evaporación en el atmómetro de disco poroso negro y la evapotranspiración potencial, además de los coeficientes de correlación, se calcularon las ecuaciones de las líneas de regresión correspondientes.

La evapotranspiración potencial se calculó por el método gráfico de Penman-Bavel (PAEZ DE CAMARGO, 1962), utilizando valores diarios de radiación solar astronómica expresada en milímetros de agua evaporada, temperatura media del aire y heliofanía relativa (relación entre heliofanía efectiva y teórica).

Para la significancia de los resultados obtenidos se usaron tablas estadísticas (DOCUMENTA GEIGY, 1965).

Cabe aclarar que si bien se consideraron siete años de observaciones diarias, sólo se analizaron dos lapsos ininterrumpidos de ciento noventa y cinco semanas, casi cuatro años cada uno, debido a la falta de observaciones simultáneas publicadas de evaporación en atmómetro y Piché.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los coeficientes de correlación hallados (cuadro 1), indican que existe distinta respuesta de los instrumentos a los elementos meteorológicos. Los coeficientes correspondientes al tanque, al atmómetro y al Piché permiten inferir que:

- el tanque demuestra poseer una correlación altamente significativa para con todos los elementos considerados, que puede interpretarse como una muy buena respuesta del apa-

CUADRO 1. — Coeficientes de correlación simple ¹ y múltiple ² entre valores medios semanales de evaporímetros y elementos meteorológicos (N = 195).

	Radiación global (Rg)	Temperatura del aire (t)	Déficit de saturación (ds)	Velocidad del viento (v)	Rg + t + ds + v
	r	r	r	r	R
Tanque...	0,90	0,84	0,93	0,38	0,97
Atmómetro	0,89	0,79	0,93	0,37	0,96
Piché....	0,76	0,76	0,88	0,29	0,90

¹ P 0,05 = 0,141

P 0,01 = 0,184

² P 0,05 = 0,195

P 0,01 = 0,235

rato a los factores determinantes de la evaporación. Sólo con respecto a la velocidad del viento la correlación disminuye mucho, posiblemente porque los días con precipitaciones se corresponden con mayor velocidad media del viento. Para días claros y sin lluvias fue de 5,8 km/hora y para días lluviosos de 8,9 km/hora. Como la precipitación implica un menor goce de radiación solar, un descenso de la temperatura del aire y un consecuente menor déficit de saturación, la evaporación disminuye o a lo sumo se mantiene constante a pesar del aumento de la velocidad del viento; de allí el coeficiente de correlación menor;

b) el atmómetro presenta coeficientes algo menores pero todos altamente significativos. La correlación más baja también corresponde con el viento. El comentario efectuado para el tanque es igualmente válido aquí habiéndose comprobado, además, que el viento hace vibrar al aparato con pasaje de mayor cantidad de agua al disco poroso. El agua en exceso es arrastrada por el viento en forma de pequeñas gotas, distorsionando los valores de la verdadera evaporación. Este inconveniente se solucionó, a sugerencia de la institución donante del aparato, colocando dos discos porosos y elevando las paredes de la platina sostén. De este modo se controla más eficientemente el flujo de agua del reservorio a la superficie evaporante;

c) las correlaciones del evaporímetro Piché indican que son altamente significativas, aun-

que menores que las del tanque o del atmómetro.

Al considerar la influencia individual de cada elemento meteorológico sobre los evaporímetros, se aprecia que el déficit de saturación posee las correlaciones más estrechas con la evaporación registrada. Esto señala la existencia de variaciones paralelas en la evaporación y cantidad de vapor de agua en el aire, principio utilizado en numerosas fórmulas para estimar la evaporación que incluyen entre sus parámetros al contenido de vapor de agua en el aire a través del déficit de saturación o de la diferencia psicrométrica (PENMAN, 1948, 1956; SLATIER y Mc ILROY, 1961). Otros autores tienen en cuenta la diferencia entre la presión de saturación para la temperatura del agua y la presión de vapor actual (WEBB, 1960).

La radiación global ocupa el segundo lugar en magnitud de los coeficientes de correlación. Su influencia en el proceso evaporativo es destacable, por lo cual ha sido incluida en el método del balance calórico para estimar la evaporación (ANDERSON, 1954; BUDYKO, 1956; HARBECK *et al.*, 1958).

La temperatura del aire, no obstante hallarse en tercer término, presenta coeficientes de correlación elevados debido a que constituye una fuente de energía para alcanzar el calor latente de evaporación. Además el déficit de saturación del aire es función de la temperatura ambiente (ROBERTSON, 1955).

Por último, el viento presenta los coeficientes más bajos; esto demuestra que la evaporación no aumenta, dentro de ciertos límites, por incrementos en la velocidad del viento (GANGOPADYAYA, 1966).

Con el conocimiento de las respuestas de los aparatos a la acción individual de la radiación, temperatura, déficit de saturación y viento, se trató de analizar el comportamiento del instrumental ante la acción conjunta de dichos factores ambientales. Este objetivo se logró mediante una correlación múltiple (cuadro 1). Los coeficientes son todos altamente significativos, indicando una elevada correlación entre los factores que determinan la evaporación y las mediciones en los evaporímetros.

Comprobada la utilidad de los aparatos, interesa conocer la relación existente entre los valores

de evaporación simultáneas en cada uno de ellos. Los coeficientes de correlación hallados fueron:

Tanque/Atmómetro	= 0,94
Piché/Atmómetro	= 0,90
Tanque/Piché	= 0,89

valores de *r* todos altamente significativos con niveles de P 0,05 y P 0,01 de 0,141 y 0,184 respectivamente. Esto señala una eficiencia evaporante similar del tanque, del atmómetro y del Piché para las condiciones ambientales de este trabajo. El coeficiente mayor corresponde a la relación tanque-atmómetro, siendo muy similar al hallado por ROBERTSON y HOLMES (1958) para el tanque y el atmómetro de plato negro de Bellani.

Dado que el instrumental probado tiene una gran eficiencia para medir la evaporación, se trató de comprobar la relación entre las mediciones de cada uno y el cálculo de la evapotranspiración potencial. Para ello se efectuaron las correlaciones simples correspondientes, resultando:

Tanque/Evapotranspiración Potencial	= 0,96
Atmómetro/Evapotranspiración Potencial	= 0,93
Piché/Evapotranspiración Potencial	= 0,83

valores de *r* todos altamente significativos con niveles de P 0,05 y P 0,01 de 0,141 y 0,184 respectivamente. Esto indica la posibilidad de transformar matemáticamente los valores de evaporación en valores de evapotranspiración potencial. Como antecedente, SHAW utilizó las observaciones de evaporación en tanque para calcular la evapotranspiración y posteriormente el balance hidrológico en cultivos de maíz y praderas (SHAW, 1963; 1964).

ROBERTSON y HOLMES (1958) trabajando con el atmómetro de plato negro de Bellani, encontraron

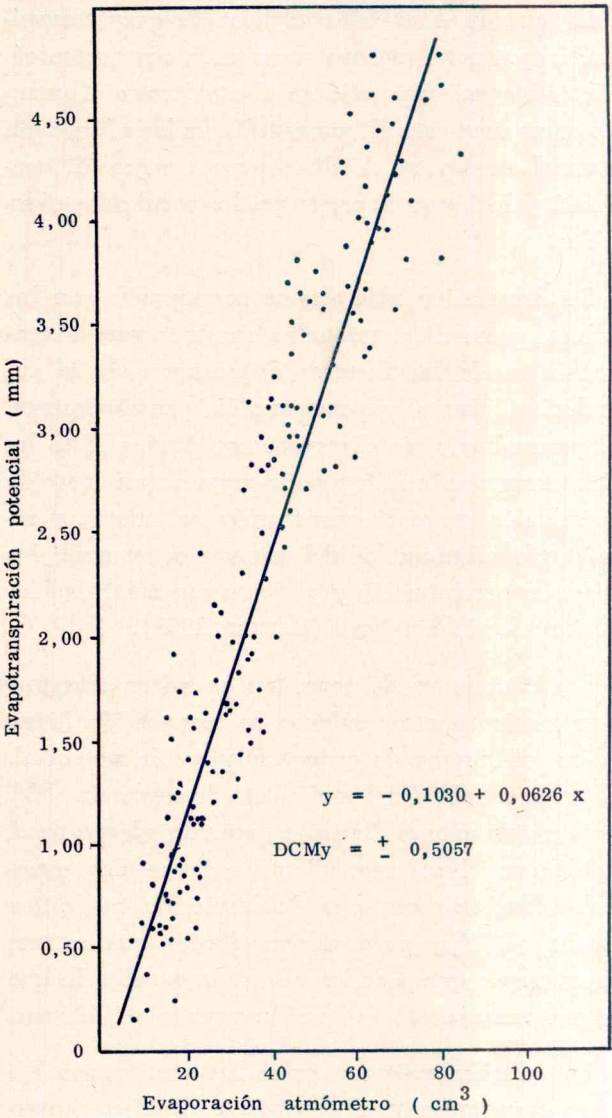


Fig. 2. — Línea de regresión y ecuación correspondiente para valores medios semanales de evaporación en atmómetro (cm³) y evapotranspiración potencial calculada (mm). DCM_y, desviación cuadrática media.

CUADRO 2. — Coeficientes de correlación simple y de la ecuación de regresión (*Y*: *a* + *b* *X*) para valores de atmómetro y evapotranspiración potencial calculada

	N	r	a	b	Error standard de b	Desviación cuadrática media (DCM _y)
Valores diarios	449	0,80	-0,0280	0,0554	0,0028	1,5603
Valores semanales.....	195	0,93	-0,1030	0,0626	0,0018	0,5057
N : 195	P 0,05 : 0,141	P 0,01 : 0,184				
N : 449	P 0,05 : 0,098	P 0,01 : 0,128				

una relación de 0,0036 pulgadas de evapotranspiración potencial registrada por cada centímetro cúbico de agua evaporada en el atmómetro. Tomando como base este último estudio, se hizo lo propio para el atmómetro de disco poroso negro. El cuadro 2 y la figura 2 presentan los resultados obtenidos.

La correlación más alta se corresponde con los valores promedios semanales, sin duda por la compensación de los factores dispersantes de la correlación, viento y precipitación principalmente, al promediar siete observaciones diarias. Esto ha sido comprobado al lograr un mayor coeficiente de correlación entre la evaporación en tanque y atmómetro eliminando, del promedio semanal, los días con precipitación y/o viento con velocidad superior a los 12 km/hora (RAVELO, 1969).

Las ecuaciones de regresión permiten transformar los centímetros cúbicos de evaporación latente en milímetros de evapotranspiración potencial. El error standard del coeficiente de regresión (S_b) para observaciones diarias es, aproximadamente, el doble que el correspondiente a promedios semanales. Esto se acentúa en la desviación cuadrática media (DCMy) para valores diarios que es tres veces mayor que para los valores semanales, lo que asigna ventajas de utilización para estos últimos.

La relación existente entre los centímetros cúbicos evaporados en el atmómetro de disco poroso negro y los milímetros de evapotranspiración potencial representa un aporte interesante para estudios agroclimáticos que requieran datos de evapotranspiración potencial, por lo cual sería muy conveniente la instalación en red de este aparato. Sólo se requiere comprobar si las relaciones encontradas en este análisis se mantienen constantes para diferentes localidades, motivo de otra investigación cuando se disponga de las instalaciones correspondientes.

CONCLUSIONES

Por todo lo expuesto, se concluye que:

- 1) La sensibilidad del atmómetro a los elementos meteorológicos responsables de la evaporación es muy elevada y equiparable a la de los instrumentos ampliamente aceptados como medidores de la evaporación.
- 2) No se observaron diferencias significativas en el comportamiento de los tres evaporímetros frente a idénticas condiciones ambientales. Esto implica la posibilidad de utilizar indistintamente cualquiera de ellos para cuantificar la evaporación.
- 3) La evapotranspiración estimada por fórmula guarda estrecha relación con lo que sucede en el tanque, atmómetro y Piché, es decir, resultan excelentes indicadores de la evapotranspiración potencial.
- 4) Los centímetros cúbicos de evaporación en el atmómetro pueden transformarse en milímetros de evapotranspiración potencial a través de las ecuaciones de regresión. El error que se comete en esta transformación es menor para valores medios semanales.
- 5) Por las ventajas que presenta el atmómetro de disco poroso negro en cuanto a facilidad de instalación y cuidado, el bajo costo del instrumento y la sencillez de su manejo, se puede vislumbrar posibilidades futuras de difusión en las áreas agrícolas de nuestro país a muy breve plazo.

AGRADECIMIENTOS

A los profesores A. J. PASCALE y E. A. DAMARIO de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires y Facultad de Agronomía de La Plata, respectivamente, por las sugerencias y correcciones efectuadas durante la elaboración de este trabajo y al Dr. F. FERRERO de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional de Córdoba, por la colaboración prestada en el análisis estadístico de los datos.

BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, E. R., 1954. *Energy Budget Studies in water loss investigations: Lake Hefner studies*. Prof. Pap. U.S. geol. Surv. 269 : 71-119.
- ARGENTINA. SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL, 1948. *Evaporimetría. Instrucciones hidrológicas*. Serie D, n° 2, 3ª parte. Buenos Aires.
- BUDYKO, M. I., 1958. *The heat balance of the Earth's surface*. (Original en ruso). Tech. Transl. Off. tech. Servs.
- CANADA DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1962. *The black porous disc atmometer for measuring latent evaporation*. Ottawa, Plant Research Institute, Agrometeorological Section, Agroclimatological Observations, Bull. 9 : 1-4.
- CARDER, A. C., 1960. *Atmometer assemblies, a comparison*. Can. J. Pl. Sc. 40 : 700-706.
- DOCUMENTA GEIGY, 1965. *Tablas científicas*, 6ª ed. Basilea, J. R. Geigy S.A., 783 p.
- FISHER, R. A., 1949. *Métodos estadísticos para investigadores*. Madrid, Aguilar, 322 p.
- GANGOPADHYAYA, M. et al., 1966. *Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration*. Tech. Notes Wld. met. Org. 83 : 1-3.
- HARBECK, G. E. et al., 1958. *Water loss investigation: Lake Mead studies*. Prof. Pap. U.S. geol. Surv. 298.
- PAEZ DE CAMARGO, A., 1962. *Contribuição para o determinação de evapotranspiração potencial no Estado do São Paulo*. Bragantia, 21 (12) : 182-185.
- PENMAN, H. L., 1948. *Natural evaporation from open water, bare soil and grass*. Proc. R. Soc. serie A, 193 : 120-145.
- 1956. *Estimating evaporation*. Trans. Am. geophys. Un. 37 : 43-50.
- QUINTELA, R. M., 1962. *Estudios experimentales sobre evaporación*. Buenos Aires, Servicio Meteorológico Nacional, serie C, 1 : 1-10.
- RAVELO, A. C., 1969. *Análisis comparativo de observaciones de evaporación en Castelar*. Trabajo de intensificación, Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía y Veterinaria, 18 p. (dactilog.).
- ROBERTSON, G. W., 1955. *The standardization of the measurement of evaporation as a climatic factor*. Tech. Notes Wld met. Org. 11 : 1-3.
- ROBERTSON, G. W. and HOLMES, R. M., 1958. *A new concept of the measurement of evaporation for climatic purposes*. Intern. Assoc. Sci. Hydrol. I.U.G.G Assemblée Générale de Toronto 1957 (Gentbrugge, 1958), 3 : 399-406.
- SHAW, R. N., 1963. *Estimation of the soil moisture under corn*. Res. Bull. Iowa agric. Exp. Stn. 520 : 968-980.
- 1961. *Prediction of soil moisture under meadow*. Agron. J. 56 (3) : 320-324.
- SLATYER, R. O. and MC ILROY, I. C., 1961. *Practical micro-climatology*, s.l. C.S.I.R.O. (Australia), p.v.
- WEBB, E. K., 1960. *Evaporation from Lake Eucumbene*. Tech. Pap. Div. met. Phys. C.S.I.R.O. Aust. 10.

