

DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DE UN LISÍMETRO HIDRÁULICO PARA MEDICIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

Luis Khan P. *, José A. Gil * y Ricardo Acosta *

RESUMEN

Un lisímetro hidráulico relativamente económico fue diseñado e instalado con el objeto de comprobar su funcionalidad para medir la evapotranspiración potencial (ETP). Tres tanques cilíndricos de 57 cm de diámetro y 88 cm de altura se utilizaron como envases receptores de suelo; en ellos se sembró pasto pangola (*Digitaria swazilandensis*) y debajo se colocaron sensores en forma de aro, conectados cada uno a un manómetro de agua. Dos de los lisímetros se usaron para medir evapotranspiración y al tercero se le interrumpió la pérdida o ganancia de agua, con el fin de detectar las variaciones del nivel de agua en su manómetro por el solo efecto de la temperatura y mediante estas variaciones, poder corregir las lecturas. La experiencia en el invernadero demostró la buena estabilidad del lisímetro, así como también su sencillez y fácil manejo. Los resultados obtenidos demostraron buena confiabilidad en las mediciones del aparato. Se encontró un valor de 0,71 para la relación ETP/Evaporación medida en tina.

Palabras claves adicionales: *Digitaria swazilandensis*, riego

ABSTRACT

Design and performance of a hydraulic lysimeter for measurement of potential evapotranspiration

A relatively economical hydraulic lysimeter was designed and installed in order to check its performance for measurement of potential evapotranspiration. Three 57 cm-diameter and 88 cm-height cylindrical tanks were used as receptor containers of soil. In these tanks, Swazi grass (*Digitaria swazilandensis*) was sown. Like-hoop sensors were put under the tanks and connected to water manometers. Two of the lysimeters were used to measure evapotranspiration. In the third one, the loss or gain of water was interrupted in order to detect variations of the water level in its manometer because of the unique temperature effect and these variations were used to correct the lysimeter readings. The glasshouse experience proved the good stability of the lysimeter which showed its simplicity and easy use. The results demonstrated the good reliance of the responses of the apparatus. A value of 0,71 was found for the relationship between ETP and pan evaporation

Additional key words: *Digitaria swazilandensis*, irrigation

INTRODUCCIÓN

En la planificación de proyectos de riego es esencial el conocimiento de los valores de evapotranspiración potencial (ETP) de las diferentes regiones geográficas (Doorenbos y Pruitt, 1977). Esto va a permitir determinar las exigencias en agua de cada cultivo y, por lo tanto, sus posibilidades de adaptación en cada región, según los recursos de agua de que se disponga. Tomando en cuenta que el recurso agua es un factor limitante de la producción agrícola, se hace necesario la realización de estudios orientados en la obtención de métodos

satisfactorios para determinar las necesidades de riego que permitan una mejor utilización de dicho recurso. En Venezuela, se han venido utilizando fórmulas empíricas para la determinación de ETP, pero no se sabe con exactitud si estos valores se correlacionan bien con la evapotranspiración real (ETR) de los cultivos, ya que los datos de evapotranspiración medida existentes son muy escasos, especialmente en la zona oriental del país. En base a lo anterior es de primordial importancia establecer una metodología sencilla y económica con el fin de realizar medidas de evapotranspiración en el campo, y que permita ajustar fórmulas de estimación en base a

Recibido: Abril 7, 1998

* Profesor. Departamento de Ingeniería Agrícola. Escuela de Ingeniería Agronómica. Universidad de Oriente. Núcleo Monagas. Maturín. Venezuela

elementos climáticos. Una de las formas de lograrlo es mediante el uso de lisímetros (Aboukhaled, 1982; Allen et al., 1991).

El presente trabajo, realizado bajo condiciones de invernadero, tuvo como finalidad diseñar y comprobar la confiabilidad de un lisímetro hidráulico, así como establecer correlaciones preliminares con la evaporación medida en tina tipo A.

MATERIALES Y MÉTODOS

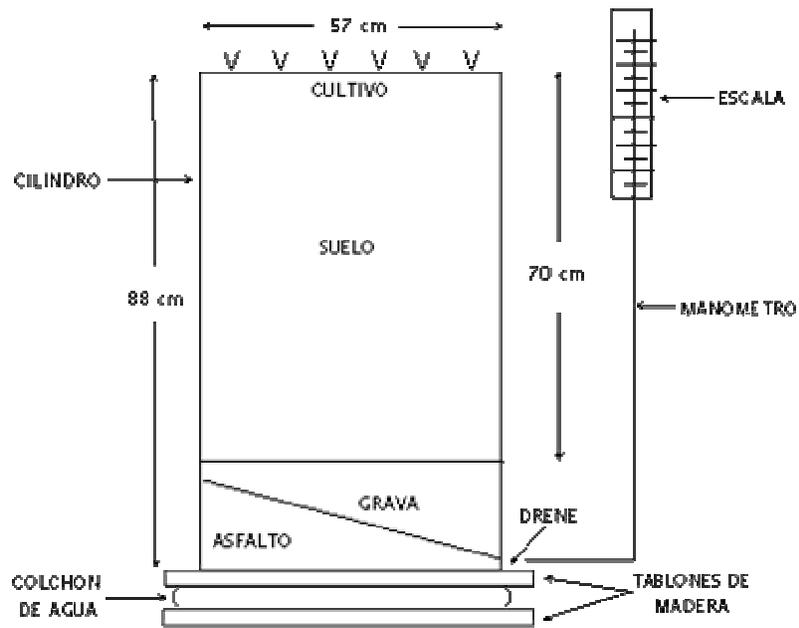
Construcción del lisímetro. Fueron establecidos tres lisímetros, uno de los cuales fue dejado como testigo y que será descrito posteriormente. Cada lisímetro correspondió a un depósito cilíndrico de 200 litros de capacidad, con un diámetro de 57 cm y 88 cm de altura. En su interior fue colocada una capa de asfalto inclinada, para forzar el drenaje hacia un orificio dispuesto lateralmente en el fondo para este fin, y un filtro de grava para evitar las pérdidas de suelo. Estas dos capas alcanzaron un espesor de 18 cm. Los detalles del lisímetro se muestran en la Figura 1A.

Aparato de medida (colchón de agua). Cada cilindro fue colocado sobre un tablón liso, y éste, a su vez, sobre un colchón de agua que constituyó el aparato de medida. El colchón estuvo constituido por una cámara de neumático de bicicleta de 26" de diámetro, llena de agua y colocada en el interior de un caucho (neumático) cuyos bordes fueron cosidos posteriormente. Esto con la finalidad de mantener el área de contacto entre el colchón y el lisímetro. El colchón fue colocado entre dos láminas de madera con el propósito de facilitar la colocación del depósito cilíndrico y dar mayor estabilidad al sistema. A la válvula de la cámara fue conectado un manómetro de agua, para determinar la presión del líquido interior, constituido por tubos de polietileno de 1/8" de diámetro y ubicado al lado del lisímetro. La altura total de la columna de agua del manómetro, una vez aplicada la lámina almacenable, fue de 2,915 m para el lisímetro 1 y de 3,126 m para el lisímetro 2. El llenado del colchón se realizó con agua de grifo, haciendo succión previamente con una bomba de vacío para desplazar el aire interior. En la Figura 1B se muestra un detalle del colchón utilizado.

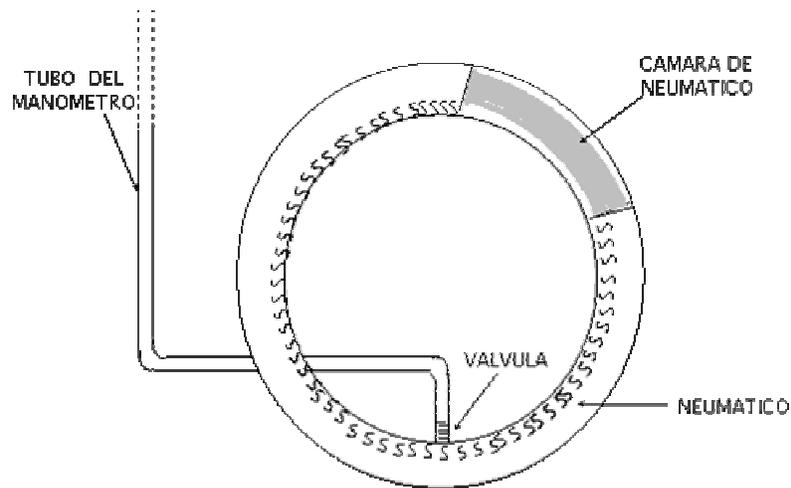
Llenado del lisímetro. Para la recolección del suelo utilizado se cavó una calicata con el fin de diferenciar los estratos. Una vez establecidos, se procedió a separarlos, uno a uno y en el mismo orden, en bolsas de plástico. Hecho esto, y ya en el invernadero, se fue colocando cada estrato en el cilindro, directamente encima del filtro de grava tratando de mantener, en lo posible, la misma disposición natural y densidad aparente que tenía el suelo en su estado original. Posteriormente, se sembró pasto pangola (*Digitaria swazilendis*) en la superficie de los lisímetros.

Descripción del lisímetro testigo. El propósito de este lisímetro fue determinar las fluctuaciones ocurridas en el nivel del manómetro, debidas a la variación de la temperatura que origina una dilatación o contracción del líquido del colchón, según aumente o disminuya, respectivamente. Según Hanks y Shawcroft (1965), la variación en el nivel del líquido por efecto de la temperatura puede alcanzar hasta dos centímetros en un día. Este lisímetro presentó la misma constitución de los dos lisímetros establecidos, pero no fue sembrado en él ningún cultivo. El extremo abierto del cilindro fue cubierto con un plástico con el fin de evitar las pérdidas de peso por evaporación ya que el suelo presentaba originalmente cierto grado de humedad.

Calibración de los lisímetros. Las pérdidas o ganancias de humedad dentro del cilindro ocasionaban una variación en el peso del sistema y esto, a su vez, una variación en la presión dentro de la cámara o colchón. La variación de la presión en relación al peso del sistema representó una línea recta. La calibración se hizo añadiendo volúmenes adicionales, de un litro de agua, cada uno en un recipiente colocado encima del lisímetro y observando en el manómetro la variación del nivel de la columna. Este procedimiento se siguió hasta completar un volumen de 25 litros para cada lisímetro. Se pudo observar que la columna de agua del manómetro experimentó un aumento de un centímetro por cada litro de agua agregado, obteniéndose una relación de 1:1, con un factor de calibración (conversión de centímetros a litros) de 1,0 para ambos lisímetros.



(A)



(B)

Figura 1. Detalles del lisímetro hidráulico (A) y colchón de agua (B)

Riego inicial. La lámina almacenable (L_a) fue determinada mediante la siguiente ecuación:

$$L_a = \frac{CC - PMP}{100} \times Da \times H$$

donde

CC: Capacidad de campo

PMP: Punto de marchitez permanente

Da: Densidad aparente

H: Profundidad del perfil

Se utilizaron los valores de CC, PMP y Da, reportados por Fermín (1971). Siendo H el espesor de cada horizonte en el perfil del suelo, dentro del cilindro, la lámina almacenable total fue igual a la suma de las láminas correspondientes a cada uno de los estratos establecidos.

Frecuencia de riego. Se estableció una frecuencia de riego de tres días, con una lámina de 1,3 L_c , donde L_c representaba la lámina consumida entre un riego y otro. Antes de aplicar la lámina se realizaba la lectura correspondiente y se procedía a drenar el exceso de agua. Todos los lisímetros presentaron drenaje.

Medida de la ETP. Para disminuir el error de construcción se establecieron, como se dijo antes, dos repeticiones, con el fin de obtener un promedio de la ETP registrada por cada lisímetro en un intervalo de tiempo determinado. Las pérdidas de humedad diaria representaban la evapotranspiración potencial. La ETP se calculó en base a la siguiente ecuación:

$$ETP(mm/día) = \frac{L \times 10.000}{A}$$

donde L es la cantidad en litros de evapotranspiración medida en un período de 24 horas y A es el área superficial de lisímetro (2.550 cm^2).

La medida de la ETP se inició el día 4 de septiembre de 1990 y se siguió hasta completar 45 días, es decir, hasta el 20 de octubre del mismo

año. Durante el período de observaciones se realizaron medidas a intervalos de dos horas, comenzando a las 7 u 8 am, durante tres días del ensayo con el fin de estudiar la variación de la tasa de ETP durante el día. La medida de ETP fue corregida del efecto de la temperatura en base a las variaciones del nivel del manómetro registradas por el lisímetro testigo.

ETP Diaria: Para esto se estableció un período de 24 horas, comprendido entre las 12 de la noche de un día y las 12 de la noche del siguiente día. El valor de ETP para las 12 pm se calculó interpolando el último valor de ETP medido en el día, con el primero del día siguiente. Para ello, fueron enumeradas las horas desde 0, hora de inicio de las observaciones, hasta las 24:00, hora final de las mismas. Entonces la ETP, para un día, fue la suma de los valores de ETP, medidos desde las 12 pm anterior hasta las 12 pm siguientes, no incluido el primer valor.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Acumulación de la ETP con el tiempo. La Figura 2 muestra que la ecuación de regresión que mejor se ajustó a la variación de la evapotranspiración acumulada, en relación al tiempo en días, fue una ecuación lineal de la forma $ETP = 5,31 t - 2,02$, lo que indica que por cada día transcurrido se produjo un aumento promedio en la ETP acumulada de 5,31 mm. Se puede apreciar además, que los valores de ETP siguieron una secuencia más o menos uniforme, notándose una reducción apreciable en la tasa de evapotranspiración a partir del 22 de septiembre (día número 18 de observaciones), día en que se cortó el pasto, originando un cambio en la tendencia general de las puntas. Esto debe atribuirse a la reducción de la superficie transpirante. Así, Pruitt (1960) encontró que después de cada corte del pasto había una disminución marcada en el uso consuntivo.

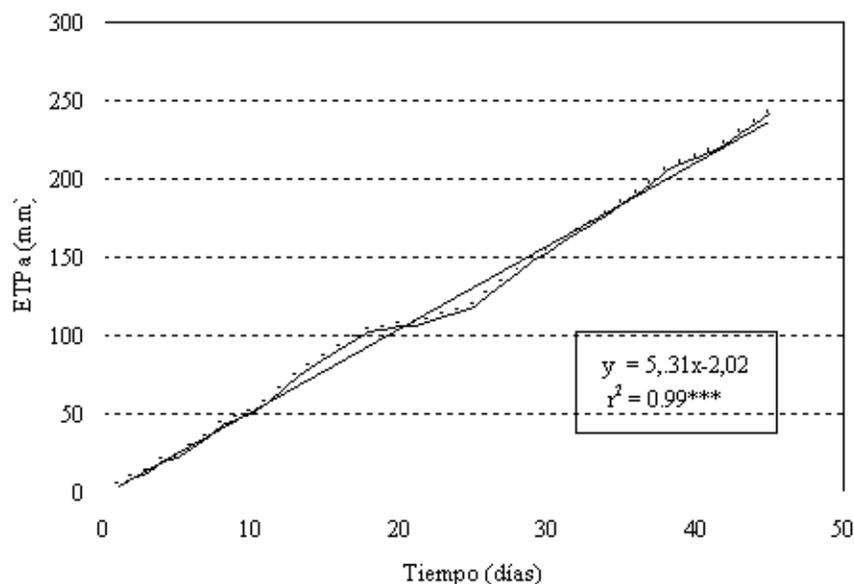


Figura 2. Variación de la evapotranspiración acumulada (ETPa) con el tiempo

Variación de la ETP en relación con la evaporación. La variación de la evapotranspiración medida mediante el lisímetro, en relación con la evaporación medida en la tina tipo A de la estación meteorológica de la UDO-Jusepín, se muestra en la Figura 3. La ETP durante el día puede exceder la evaporación de

una superficie libre de líquido, y es en la noche cuando esta última la sobrepasa, ya que los estomas de las plantas están cerrados y no hay transpiración, mientras que la tina, al haber acumulado calor durante del día dispone de energía que le permite continuar evaporando.

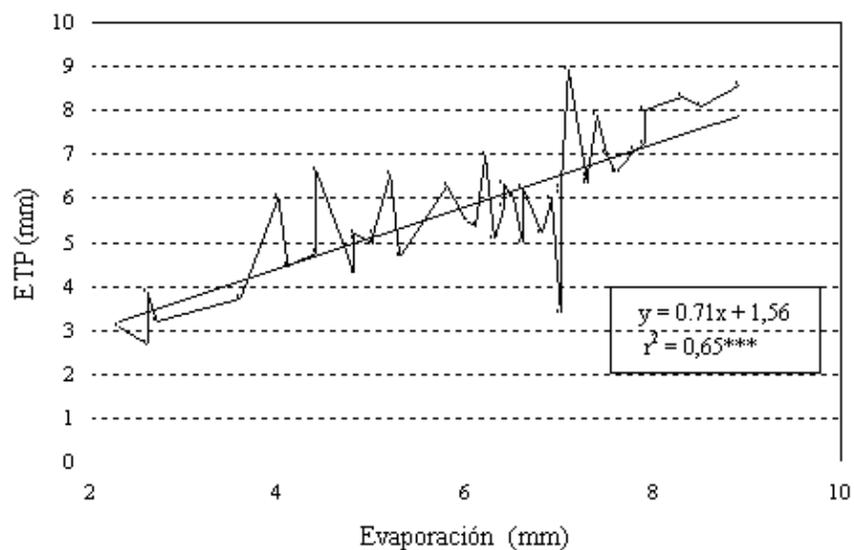


Figura 3. Variación de la ETP medida con el lisímetro hidráulico, en relación con la evaporación medida con la tina tipo A de la estación meteorológica de la UDO-Jusepín.

Sin embargo, observando los puntos mostrados en la Figura 3, se puede apreciar que, en el 40 % de los casos la ETP fue mayor que la evaporación. Lo anterior podría hacer suponer que, al menos en algunos casos, la ETP estuvo sobrestimada. De cualquier forma será necesario comprobar los resultados obtenidos llevando el diseño propuesto directamente al campo. Previamente, se debe establecer un área suficientemente grande (área "buffer"), según las posibilidades, en el sitio donde se vaya a instalar el lisímetro. Esto con el fin de disminuir el efecto de energía advectiva (efecto oasis) que podría originar una alteración en los resultados de ETP (Doorenbos y Pruitt, 1977).

Se puede observar que la ecuación de regresión que mejor se ajustó a la variación de la ETP en relación con la evaporación fue una ecuación lineal, $ETP = 0,71 Ev + 1,56$, lo que indica que por cada mm de agua evaporada ocurrió un aumento de la ETP de 0,71 mm. Los máximos valores de ETP y evaporación registrados fueron 8,93 y 8,90 mm, siendo los mínimos de 2,70 y

2,30 mm, respectivamente.

Variación de la tasa de ETP durante el día. En la Figura 4 se observan los valores correspondientes a la variación de la tasa de ETP diaria para tres días del ensayo. Se puede observar que la ETP experimentó un aumento a medida que avanzaba el día, alcanzando su máximo valor en las horas del mediodía, y disminuyendo hacia la tarde. Esto se explica porque la temperatura aumenta grandemente a partir de las 10 am disminuyendo hacia las 4 pm, lo que hace que la ETP sea mayor en las horas de máxima temperatura. Los valores mínimos de la tasa de ETP corresponden al día 5 de septiembre, aumentando en el día 6, y siendo mayores en el día 8. Esto se debe a la estrecha correlación existente entre la ETP y la evaporación, discutida anteriormente, ya que los valores de esta última fueron de 2,70, 4,80 y 7,30 mm, para los días considerados, respectivamente. Así, el mínimo valor de evaporación justifica el bajo valor de tasa de ETP registrado el día 5 de septiembre.

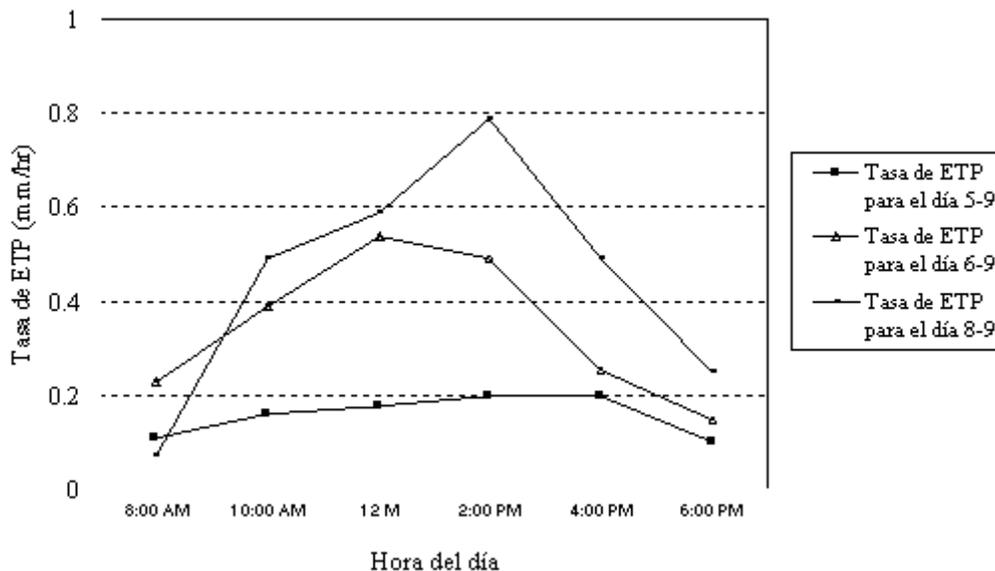


Figura 4. Variación de la tasa de ETP durante el día, considerando los valores de evapotranspiración para tres días del experimento.

Comportamiento general del lisímetro. Una vez realizado el diseño y construcción del lisímetro hidráulico, y efectuada la comprobación de su funcionamiento se observó que el aparato

respondió bien a la determinación del uso consuntivo del pasto pangola. Así, se puede evaluar el lisímetro tomando en cuenta los siguientes aspectos:

a. Estabilidad. Uno de los logros de mayor importancia obtenidos en la construcción del presente lisímetro fue la estabilidad del mismo. La mayor superficie de apoyo y forma circunferencial del colchón utilizado, en comparación con otros equipos similares previamente diseñados (Lyman Willardson, Universidad de Utah, USA. Comunicación personal) le confirió al lisímetro una buena estabilidad evitándose así la necesidad de utilizar tensores.

b. Confiabilidad. Los valores de ETP obtenidos mediante el lisímetro presentan un buen grado de confiabilidad. Ello lo demuestra el valor de 0,71 como coeficiente de asociación entre la ETP y la evaporación, que es bastante aproximado al valor de 0,745 obtenido por López y Mathison (1966) y al 0,80 obtenido por Padilla (1964), en Cagua, Venezuela. Esta comparación hace confiar en la precisión del lisímetro.

c. Sencillez y economía: El lisímetro resultó ser bastante sencillo y económico, dado a lo fácil que resulta la adquisición de los materiales utilizados y el bajo costo de los mismos.

CONCLUSIONES

1. La calibración realizada y los resultados obtenidos permiten presumir que los valores de ETP medidos son confiables.
2. El lisímetro resultó ser sencillo y económico, dado a lo fácil que resulta la adquisición de los materiales utilizados para su construcción y el bajo costo de los mismos.
3. Después del corte del pasto se produjo una reducción en el uso consuntivo, atribuible a la disminución del área transpirante.
4. El valor de la relación entre la ETP y la evaporación (0,71) es bastante aproximado al obtenido por López y Mathison, en Cagua, Venezuela.

LITERATURA CITADA

1. Aboukhaleed, A., A. Alfaro y M. Smith. 1982. Lysimeters. Irrigation and Drainage Paper 39. FAO, Roma. 68 p.
2. Allen, R. G., T. A. Howell, W. O., Pruitt, Walter y M. E. Jensen. 1991. Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurement. Amer. Soc. Civil Eng. New York. 444 p.
3. Doorenbos, J., y W. O. Pruitt. 1977. Crop Water Requirements. Irrigation. and Drainaje. Paper 24. FAO. Roma. 144 p.
4. Fermín, A. 1971. Algunas relaciones suelo-agua de la estación Experimental Agrícola de sabana. Tesis de grado. Escuela de Ingeniería Agronómica. UDO. Jusepín, Monagas, Venezuela. 28 p.
5. Hanks, R. y R. Shawcroft. 1965. An economical lysimeter for evapotranspiration studies. Agronomy Journal 57:634-636.
6. López, J. y K. Mathison. 1966. Correlación entre la evapotranspiración medida con algunos instrumentos meteorológicos. II Jornadas de Riego. Caracas.
7. Padilla, O. 1964. Estudio de la evapotranspiración potencial mediante un lisímetro flotante. Servicio Shell para el Agricultor. Cagua, Aragua, Venezuela. 49 p.
8. Pruitt, W. O. 1960. Relation of consumptive use of water to climate. Transactions of the ASAE 3(1):9-13.