

DISEÑO Y PRIMEROS ENSAYOS DE LISIMETRO GRAVIMETRICO PARA MEDIDAS DE EVAPOTRANSPIRACION EN INVERNADERO

M. Quiroga*, L. Saravia, R. Echazú

INENCO+

Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional
Universidad Nacional de Salta

Fax (087) 251034

RESUMEN

Para cuantificar la evapotranspiración a fin de considerarla conjuntamente con otras variables térmicas en balances energéticos detallados de los sistemas, se eligió un método basado en medidas directas a través de un lisímetro gravimétrico. El aparato consta de un contenedor de chapa galvanizada, donde se incorporaron suelo y plantas que va montado sobre brazos de balanza; en él se miden variaciones de peso de hasta 50 grs., con registros cada 30 minutos. La evapotranspiración produce caídas de peso en el aparato debidas a la pérdida de agua en la masa de suelo. Simultáneamente, se realizan controles comparativos de temperaturas subterráneas, crecimiento y estados fenológicos del cultivo, para detectar disturbios derivados de la presencia del lisímetro y su posible influencia en los valores de evapotranspiración medidos. La marcha de la evapotranspiración se calcula simultáneamente métodos basados en parámetros físicos-climáticos, incluyendo la instalación de una cubeta de evaporación tipo "A". En este trabajo se presentan diseño y detalles constructivos del aparato, como así también los resultados obtenidos en esta primera etapa de ensayos.

INTRODUCCION

La evapotranspiración de los cultivos incluye tanto la pérdida de agua por evaporación directa desde el suelo, como por transpiración de las plantas. Es un proceso consumidor de energía, depende de factores energéticos y climáticos, regulado por las resistencias que ofrece al movimiento del agua, el sistema suelo - planta - atmósfera, donde distintos elementos se interrelacionan entre sí determinando la magnitud del fenómeno.

En relación al suelo influyen fundamentalmente su contenido y su capacidad de retención de agua, que determinan directamente la disponibilidad de agua para las plantas.

Las plantas ejercen una acción reguladora de la velocidad del proceso a través de sus características morfológicas y fisiológicas. Las hojas constituyen la superficie evapotranspirante de la planta, por ello su morfología, su área total, el número y eficiencia de apertura estomática, condicionan el intercambio gaseoso de la planta.

Ing. Agr. Becaria del Consejo de Investigaciones de la UNSa
+ Instituto UNSa - CONICET

La cantidad de energía que llega a través de la atmósfera es el motor impulsor de la evapotranspiración, la duración del día, la intensidad de radiación, conjuntamente con temperatura, gradientes de tensión de vapor y vientos, son elementos atmosféricos que se relacionan con la magnitud y la velocidad del pasaje de agua del estado líquido a vapor.

La inclusión de valores exactos de evapotranspiración en el balance térmico de los cultivos, es necesaria porque de lo contrario se omite un importante elemento de la dinámica energética del invernadero, sin el cual los valores derivados del balance resultan una aproximación parcial e incompleta. Agronómicamente la determinación de la evapotranspiración es un recurso indispensable para un manejo racional de los recursos hídricos y de la fertilización.

La diversidad de factores, la enorme posibilidad de interrelaciones y combinaciones entre los mismos, hacen de la evapotranspiración un proceso complejo y difícil de cuantificar.

Existen numerosos métodos de cálculo con fórmulas estimativas basadas en parámetros físico-climáticos como las desarrolladas por (1) Penman (1948), (2) Monteith (1973), (3) Doorenbos and Pruitt (1977), entre otras, pero todas ellas tienen validez para condiciones locales, con una determinada combinación de factores y su aplicación en otras regiones es incierta requiriendo pruebas y ajustes previos para verificar su validez; a esto se suma el hecho de que fueron ideadas para condiciones de cultivo en campo, lo que aumenta la incertidumbre respecto a su aplicación en invernáculos.

Otros métodos como los atmómetros, tanques o cubetas de evaporación se basan en la medición directa de evaporación o demanda atmosférica de humedad, relacionándola con la evapotranspiración del cultivo a través de un coeficiente calculado en función de los distintos estados del ciclo de crecimiento de los mismo.

Los lisímetros constituyen instrumentos para la medición directa de evapotranspiración basada en la determinación de la disminución del contenido de agua en el área de suelo explorada por las raíces de las plantas. Las variaciones en los contenidos de agua pueden medirse a través de la diferencia volumétrica entre el agua ingresada y la eliminada por percolación en el aparato (lisímetros volumétricos), o a través de las variaciones en el peso de la masa de suelo y plantas generada por la pérdida de agua por evapotranspiración (lisímetros gravimétricos o de pesada).

Los lisímetros gravimétricos, permiten medidas continuas de variaciones en el contenido de agua, con gran precisión y con una sensibilidad de 0.03 a 0.05 mm. de agua, son empleados en todo el mundo como instrumentos patrones que proporcionan datos de referencia en estudios agro climatológicos.

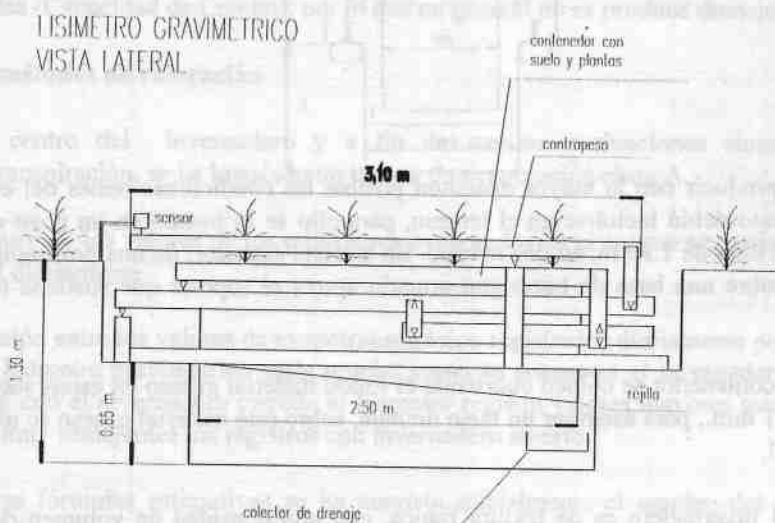
MATERIALES Y METODOS

A los efectos de obtener una medida continua, y exacta de los valores de evapotranspiración para realizar un balance térmico completo de un invernadero - secadero con calefacción combinada solar - biomasa, se construyó e instaló un lisímetro

gravimétrico. El aparato será empleado para proporcionar directamente los datos para el balance térmico y como patrón de medidas para evaluar otros métodos basados en parámetros agro climáticos.

El lisímetro gravimétrico es un gran contenedor - balanza en el que se incluyen suelo y plantas, reproduciendo fielmente las condiciones generales del cultivo y donde se registran las variaciones de peso que se producen en el sistema, ya sean éstas ganancias provenientes del agregado de agua de riego o pérdidas por drenaje evaporación o evapotranspiración.

El aparato básicamente consta de un contenedor de chapa galvanizada con suelo y cultivo, que apoya sobre un bastidor balanza rectangular, directamente en un extremo e indirectamente a través de un bastidor menor en el extremo opuesto. Las proporciones entre brazos fueron dimensionadas de modo que la distribución e incidencia de pesos sea pareja en todos los puntos de apoyo del aparato. Toda la masa del aparato, suelo y plantas fué equilibrada a través de bastidor rectangular superior con contrapesos, que además modifica su posición con la variación de peso del aparato.



Un demodulador ubicado en el extremo del bastidor de contrapeso mide las variaciones de posición de este brazo en mm. traduciéndola en una señal eléctrica de 0.605 mV/mm. que ingresa y es registrada a través del sistema de captación y control del invernadero. Luego de sucesivas calibraciones se encontró el factor que relaciona la señal eléctrica del demodulador con las variaciones de peso en el aparato. EL sistema de medidas se describe en otro trabajo presentado en esta misma reunión (4)

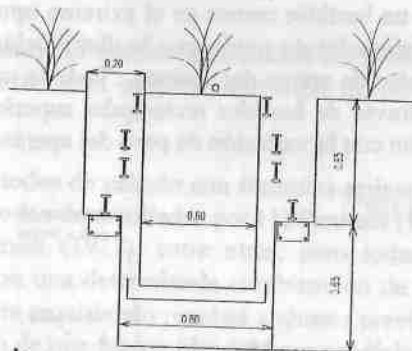
El aparato registra variaciones de 0,03 mm. de agua, lo que expresado en peso representa 50 gr.

Los soportes y brazos de balanza fueron construidos en hierro doble "T" de 100 x 50 mm. El contenedor se construyó en chapa galvanizada de 1.75 mm., con un largo de 2.5 m, un ancho de 0.6 m., el fondo tiene una pendiente del 20 %, con una profundidad de 0.7 m. en un extremo y 0.95 m. en el opuesto donde se colocó un rejilla que permite el drenaje hacia un colector

El container debió ser reforzado con 5 costillas de hierro "T" para evitar deformaciones por el peso del suelo. Sus dimensiones fueron diseñadas de modo que incluya un camellón de cultivo con sus bordes, permitiendo colocar las plantas a distancias normales de modo que no se altera el marco natural de plantación.

Apoyos y vinculaciones entre bastidores balanza, fueron construidas sobre cuchillas afiladas de metal duro, a fin de evitar fricciones en el movimiento. En el diseño de los mecanismos de apoyo se tuvo en cuenta la posibilidad de acceso y observación permanente de los mismos para detectar posibles fallas por deformaciones o rozamientos en el aparato.

Corte Lisímetro Gravimétrico



A fin de reproducir con la mayor exactitud posible las condiciones reales del cultivo, todo el aparato debió incluirse en el terreno, para ello se lo instaló en un pozo de una profundidad total de 1.30 m, en dos niveles. En el nivel superior, de una profundidad de 0.65 m. y sobre una base de hormigón armado apoya el soporte que sostiene todo el aparato.

Al llenar el contenedor se colocó cubriendo el fondo material grueso en capas sucesivas de 8, 4, 2 y 1 mm., para asegurar un buen drenaje, sobre éste material grueso se ubicó el suelo natural.

El suelo del invernadero es de textura franca, con una densidad de volumen de 1.45 g/cc, en el aparato se colocaron 0.9 m³ de suelo, totalizando un peso de 1314 kg. El peso total incluido en el contenedor, considerando suelo, grava, arena y agua en condiciones de humedad óptima para las plantas es de 2225 Kg.

El disturbio en el suelo que se produce al llenar el lisímetro puede ser una fuente de error en las medidas, porque se modifica la cantidad de espacios porosos normal del suelo y el flujo de calor en el mismo, con un aumento de la temperatura que altera el crecimiento de las plantas incluidas en el contenedor en relación con las del cultivo en suelo normal.

Para tratar de disminuir el disturbio a valores mínimos, se colocó el suelo, en capas sucesivas que reproducen el orden en que se encuentran en el terreno, luego se saturó con agua a fin de reducir los espacios porosos por compactación.

Como forma de control se registran temperaturas a 0.3 m de profundidad, en el suelo del lisímetro y en el del cultivo, a fin de detectar las alteraciones en los valores normales que pudieren derivarse de la presencia del aparato.

Cálculos y medidas lisimétricas

Los valores de evapotranspiración registrados por el lisímetro quedan representados por la ecuación:

$$ET = I - D \pm \Delta W$$

I: Irrigación

D: Drenaje

ΔW : cambios en el contenido de agua de la masa del suelo representa el almacenamiento del suelo luego de la irrigación y la caída de peso por evapotranspiración y drenaje. A través de las variaciones en el peso del lisímetro se mide directamente.

El valor de D se mide por el agua drenada y se descuenta de los valores de ΔW registrados por la computadora, pero se trata de mantener el suelo en condiciones no saturadas (Capacidad de Campo), por lo que en general no se produce drenaje

Otros métodos de valoración

En el centro del invernadero y a fin de realizar evaluaciones simultáneas de evapotranspiración, se ha instalado un tanque de evaporación clase A ..

El registro de los valores de los milímetros evaporados en el tanque se realiza en forma manual diariamente.

La relación entre los valores de evapotranspiración registrados diariamente por el tanque A y el lisímetro gravimétrico varía mucho según se encuentre el invernadero abierto o cerrado; con el invernadero cerrado el lisímetro registra valores mayores que el tanque, siendo muy semejantes los registros con invernadero abierto.

Entre las fórmulas estimativas se ha previsto inicialmente el empleo del método de Penman basado en ecuaciones del balance de energía y aerodinámico para la estimación de la evaporación de una superficie libre de agua y su extrapolación a la evapotranspiración de una superficie cubierta de vegetación.

La ecuación de Penman en su forma simplificada incluye:

$$E_o = \frac{\Delta R_n + \gamma E_a}{\Delta + \gamma}$$

E_o : Evaporación estimada desde una superficie de agua libre en mm./día

Δ : Pendiente de la curva de tensión de vapor de saturación en función de la temperatura, a la temperatura del aire en mb/°C

γ : Constante psicrométrica

R_n : Radiación neta recibida

E_a : Componente aerodinámico, parámetro derivado función de la velocidad del viento y de la diferencia entre la tensión de vapor real y de saturación.

Seguimiento del cultivo

Evaluar comparativamente el desarrollo del cultivo dentro y fuera del aparato permite detectar elementos relacionados al crecimiento del cultivo que puedan derivar en diferencias en los valores de evapotranspiración. El índice de área foliar es un parámetro importante que permite comparar la superficie evapotranspirante de las plantas y es utilizado por numerosos autores en sus métodos de valoración.

Para medir el área foliar se hace un muestreo tomando plantas seleccionadas dentro y fuera del aparato, en las cuales se mide el ancho y largo de hojas sin destruirlas. Además se extrajeron hojas en otras plantas, en las que se midió largo y ancho, calculando luego su superficie foliar por el método de pesada y con un integrador de área, esto permitió elaborar una correlación entre la superficie del rectángulo formada entre el largo y el ancho medidos y el área real de la hoja.

En función de la regresión efectuada el área foliar queda estimada por la formula:

$$AF = 0.564273 \times (L \times A)$$

AF : Area foliar

0.564273 Factor que relaciona el área del rectángulo con el área real

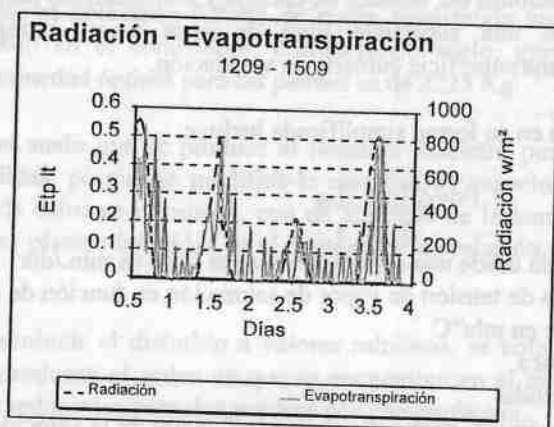
LxA : Largo por ancho

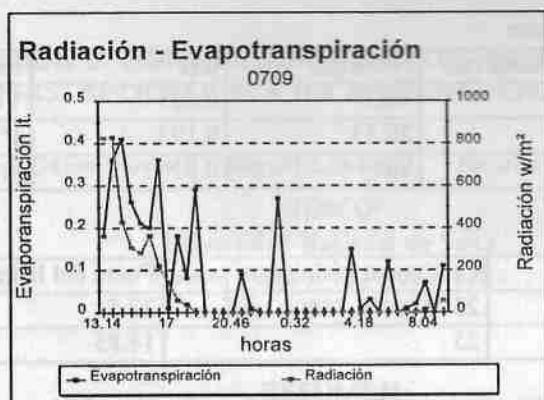
Respecto al cultivo se evalúa además la concurrencia de los distintos estados fenológicos, altura y numero de hojas por planta y al final del ciclo del cultivo de compararán datos de rendimiento y contenido en materia seca.

Resultados y Discusión

Las medidas se encuentran en una etapa inicial, no obstante se cuentan ya con algunos registros.

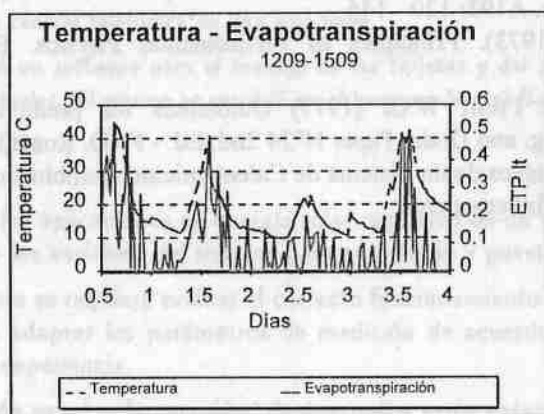
Los siguientes gráficos muestran la variación del ritmo de evapotranspiración en relación con la radiación incidente, para varios días del mes de setiembre.





Durante las horas de luz los picos de evapotranspiración se corresponden con la cantidad de radiación incidente, durante la noche las curvas se alejan, manteniéndose picos de evapotranspiración aún con radiación 0. La radiación afecta la evapotranspiración, por el aporte de energía y por su influencia en la apertura y cierre de estomas en la planta.

El gráfico siguiente muestra las curvas de temperatura y evapotranspiración.



Durante la noche, los picos de evapotranspiración se corresponden con aumentos de temperatura

Radiación y temperatura son apenas algunas de las variables implicadas en la evapotranspiración; humedad ambiente, vientos y estados del cultivo se interrelacionan con ellas determinando magnitud y variaciones en los valores que se observan.

En relación con el cultivo, el siguiente cuadro presenta los valores medios de Índice de Área foliar, altura de plantas y seguimiento fenológico registrados hasta la fecha.

Cultivo dentro del lisímetro:

Fecha	Alt. Planta cm	Nº Hojas	IAF	Est. Fenológico
19-8-94	13.8	15.6	0.03	Vegetativo
5-9-94	33.95	25.92	0.19	1º Floración
5-10-94	92.5	95.4	0.89	Fruto Verde

Cultivo Fuera del lisímetro

Fecha	Alt. Planta cm	N° Hojas	IAF	Est. Fenológico
19-8-94	14.07	16.37	0.033	Vegetativo
5-9-94	34.44	26.33	0.193	1° Floración
5-10-94	93	96	0.91	Fruto Verde

Fructificación

	Cultivo en Lisímetro	Fuera del lisímetro
Número de Frutos	23	27.5
Long Frutos 1°Piso	25	14.85

En el desarrollo del cultivo no se evidencian diferencias apreciables entre las plantas dentro y fuera del lisímetro, las plantas en este momento se encuentran con tres pisos de floración cuajados.

Referencias

- (1) Penman H.L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Royal Society, London. A193: 120 - 146
- (2) Monteith, J.L. (1973). Principles of Enviromental Physics. Edward Arnold, London, 241 pp.
- (3) Doorenbos J. and Pruitt W.O. (1977) Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrig. and Drain. Paper N°24 2nd. Ed. - FAO. Rome, Italy 156pp.
- (4) Saravia L. et al. Ensayos de un Sistema de Calentamiento Combinado Solar Biomasa para Calentamiento de Invernaderos.