

It may be expected that the empirical constant ϵ is more general valid and has more scientific value than the constant α .

REFERENCES

- BUSINGER, J. A. : Some aspects of the influence of the earth's surface on the atmosphere. *Med. Verh. K.N.M.I.*, Serie B nr. 60, 1954.
- MAKKINK, G. F. : Toetsing van de berekening van de evapotranspiratie volgens PENMAN. *Landbouwk. Tijdschrift* 67 (1955) 267-282.
- PENMAN, H. L. : Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Roy. Soc. A*, 193 (1948) 120-146.
- — and R. K. SCHOFIELD : Some physical aspects of assimilation and transpiration. *S.E.B.-Symposium* nr. 5 (1951) 115-129.

EVAPOTRANSPIRACION DE LOS CULTIVOS EN ESPAÑA SU DETERMINACION POR MEDIO DE LISIMETROS

LUIS CAVANILLAS

Instituto Español de Edafología y Fisiología Vegetal y
Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas, Madrid, España

CONCLUSIONES

De todo lo que tan concisamente hemos expuesto sobre nuestros trabajos y experiencias con lisímetros de sistema gravimétrico deducimos las conclusiones siguientes :

1ª) Los lisímetros de sistema gravimétrico son los más recomendables cuando se trate de conocer con exactitud y al detalle las intensidades de evapotranspiración de las plantas.

2ª) Este sistema de lisímetros requiere un estudio muy cuidadoso y delicado del régimen de aportes de agua y fertilizantes, para conseguir la mayor semejanza posible entre la vegetación de las plantas en campo abierto y en lisímetros. Si este estudio no es suficientemente acertado, los resultados pueden ser muy erróneos.

3ª) Es interesante también adoptar algún tipo de lisímetro monolítico y de mayores dimensiones, para las plantas de mayor porte y para perfeccionamiento del sistema gravimétrico, en general para toda clase de cultivos.

Desde que se dió en España el primer impulso de importancia al desarrollo de nuevos regadíos, creándose las Confederaciones Sindicales Hidrográficas, se sintió la necesidad de conocer lo más exactamente posible, las exigencias en agua de los distintos cultivos en las diferentes regiones del país.

Con esta finalidad, la Confederación Hidrográfica del Ebro, estableció un equipo de 100 lisímetros, anejo a la Estación de Estudios de Aplicación de Riegos, en Binefar (Huesca). Terminada la instalación en el año 1935, solo pudo funcionar entonces pocos meses, hasta el año 1936 en que, al producirse la guerra civil española, quedaron paralizados los trabajos en aquella Estación, reanudándose desde el año 1940.

Fueron alentadores los primeros resultados que iban obteniéndose y tanto el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, a través de su Instituto de Edafología y Fisiología Vegetal, como el Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas, estimaron de interés la creación de una red de Estaciones de lisímetros. Y así en colaboración ambos Institutos, fueron estableciendo sucesi-

vamente Estaciones de lisímetros en las zonas más características de España. Hoy día están instaladas y en funcionamiento, las siguientes Estaciones :

<i>Pontevedra</i> (Misión Biológica de Galicia)	72	lisímetros
<i>Zaragoza</i> (Estación Experimental Aula Dei)	72	„
<i>Binefar</i> (Huesca) (Estación de Ensayos de Riegos de la Confederación Hidrografica del Ebro) ..	100	„
<i>Valladolid</i> (Instituto de Investigaciones Agronomicas)	50	„
<i>Valencia</i> (id. id. id. id.)	72	„
<i>Madrid</i> (Instituto de Edafología y Fisiología Vegetal)	320	„
<i>Alcalá de Henares</i> (Madrid) (Campo de Estudios de Riegos del Instituto de Investigaciones Agronómicas)	160	„
<i>Badajoz</i> (Instituto de Investigaciones Agronómicas)	72	„
<i>Málaga</i> (id. id. id. id.)	72	„

TIPO DE LISÍMETROS

Se consideró conveniente desde el primer momento, adoptar un tipo de lisímetro susceptible de pesarse. Las razones a favor de este sistema se apoyan en las características del clima de España: escasez de agua, temperaturas altas, y elevadas cifras de evaporación. Interesa entonces mucho más el conocer con la mayor exactitud posible las cifras de evaporación que las de drenaje y esto solo puede conseguirse por métodos gravimétricos; opinión que coincide con la muy autorizada de MASCHHAUPT, que viene expresada en sus publicaciones sobre "Lysimeteronderzoekingen te Groningen" y que, al final de la num. III (año 1948) dice textualmente :

"I will repeat here once more that a reliable insight in the direct evaporation from the soil and the relation between the yields of the different crops and the transpiration by the crops can only be got when using weighable lysimeters".

En consecuencia con este criterio, se adoptaron dos tipos de lisímetros, ambos de sección circular y de una profundidad de 0,70 m. Son depósitos de fibrocemento, impermeabilizados interiormente y provistos de un orificio de fondo, con tapón de caucho, para poder extraer y medir el agua de drenaje. Los diámetros interiores de estos dos tipos de lisímetros, son respectivamente, 0,36 m. y 0,53 m., con lo que resultan superficies de suelo de 0,1 m² y 0,22 m² respectivamente tambien.

Los pesos por lisímetro, incluido el contenido de tierras, oscilan entre unos 100 Kg. (lisímetros del primer tipo, con suelos secos) y unos 250 Kg. (lisímetros del segundo tipo, con suelos saturados de agua). En consecuencia, se proyectó un dispositivo de balanza con grúa, montada sobre un carro que circula entre las filas de lisímetros, para ir efectuando las pesadas correspondientes. Se ha logrado un tipo de balanza que alcanza una sensibilidad de 15 gr. en 300 Kg. de peso, que es la fuerza máxima del aparato. Las adjuntas ilustraciones fotográficas dan una idea más definida del equipo que hemos descrito.

La disposición de suelos en el lisímetro, es la siguiente: en el fondo va una capa formada por gravas de diámetros decrecientes de abajo a arriba, hasta 0,15 m. de altura; sobre esta capa que recoge las aguas de drenaje, va el suelo propiamente tal, con espesor de 0,55 m.

El defecto fundamental de este sistema, como es sabido, consiste en el reducido cubo de suelo que queda a disposición de las plantas. De menor importancia es la perturbación debida a la formación artificial de un suelo que se ha ido extrayendo por capas, desde su estado natural: si la operación se ha realizado cuidadosamente, puede contarse con que al ir pasando los años, tenderá a formarse un suelo semejante al original.

Pero en lo que hay que poner atención más cuidadosa es en atenuar suficientemente el primer defecto señalado es decir, el reducido volumen de suelo, y esto se consigue a base de regular y equilibrar los aportes de agua y fertilizantes en los lisímetros, en tal forma que esos aportes sean los mismos, proporcionalmente, que recibe la planta en el terreno en cultivo normal. Supongamos, por ejemplo, una variedad de maíz (*Zea mais*) que se siembra en cultivo corriente con un marco de plantación equivalente a 30.000 plantas por Ha., (o sea, a 3 plantas por metro cuadrado) y si en las condiciones corrientes de cultivo hubiera que incorporar un cierto abono a razón de 450 Kg. por Ha. deberán agregarse a cada lisímetro un número n de gramos de ese abono:

$$n = \frac{450.000}{30.000} = 15 \text{ gramos.}$$

Claro que en este caso, los 15 gr. de fertilizante van en el terreno natural, incorporados al volumen de suelo correspondiente a 0,33 m² de superficie, mientras que en el lisímetro se concentran en el volumen correspondiente a 0,22 m² de superficie de suelo. A este volumen, ha de contraerse también el desarrollo en extensión del sistema radicular de la planta. Pero a pesar de esta anomalía, se llega a conseguir un desarrollo vegetativo normal de las plantas, siempre que, al mismo tiempo se cuide de mantener en el suelo del lisímetro, el grado de humedad que corresponda en el suelo natural.

Esta última condición es desde luego fundamental, y para conseguirla es imprescindible regar cada vez el lisímetro, con cantidades de agua cuidadosamente calculadas para alcanzar en el lisímetro la capacidad de campo, en la misma forma que se alcance en el terreno. Entonces si, por ejemplo, en el terreno se diera un riego de 600 m³ por Ha. cada 8 días, en el lisímetro de los de 0,22 m² de superficie con una planta de maíz, habrá que dar riegos de 13 a 14 litros cada 5 ó 6 días, (si el cultivo en el terreno lleva 30.000 plantas por Ha.).

Siempre que hemos procedido en esta forma, hemos conseguido plantas de desarrollo vegetativo normal, con rendimientos de productos semejantes a los obtenidos en campo abierto; y los resultados de las experiencias en lisímetros, reflejan fielmente entonces, las necesidades reales de agua en los cultivos en pleno campo. Pero en cambio, cuando no se han seguido con suficiente rigor todas estas normas, se han producido anomalías y entonces los resultados de las experiencias en lisímetros, no han sido representativos de los valores medios naturales de las cifras de evapotranspiración.

Lo anteriormente expuesto es el resumen de las principales enseñanzas

Resúmenes de experiencias en lisímetros

Año 1953 Madrid

Cultivo Maíz Wisconsin 464 A

	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Totales	Observaciones
Lisímetro no. 200							
Temperatura (media)	16,8°	17,8°	23,3°	25,3°			Resultados referidos a 30.000 plantas por Ha. Recolección el 27 de Agosto Pesos { planta completa 33.300 Kg. { Grano 4.200 "
Lluvia (en cm.)	0,6	2,3	0,8	0,1		3,8	
Riego (en cm.)	1,8	3,0	18,0	21,0		43,8	
Evapotranspiración (en cm.)	0,2	5,9	26,0	16,2		48,3	
Drenaje							
Lisímetro no. 201							
Temperatura (media)	16,8°	17,8°	23,3°	25,3°			Resultados referidos a 30.000 plantas por Ha. Recolección el 3 de Septiembre Pesos { planta completa 34.200 Kg. { Grano 6.600 "
Lluvia (en cm.)	0,6	2,3	0,8	0,1		3,8	
Riego (en cm.)	1,8	3,6	21,8	26,1	1,1	53,3	
Evapotranspiración (en cm.)	0,2	5,7	29,4	20,6		57,0	
Drenaje							
Lisímetro no. 203							
Temperatura (media)	16,8°	17,8°	23,3°	25,3°			Resultados referidos a 30.000 plantas por Ha. Recolección el 10 de Septiembre Pesos { planta completa 43.500 Kg. { Grano 4.050 "
Lluvia (en cm.)	0,6	2,3	0,8	0,1		3,8	
Riego (en cm.)	1,8	3,6	21,8	26,1		53,3	
Evapotranspiración (en cm.)	0,2	5,5	30,4	2,5		62,0	
Drenaje							
Lisímetro no. 204							
Temperatura (media)	16,8°	17,8°	23,3°	25,3°			Resultados referidos a 30.000 plantas por Ha. Recolección el 3 de Septiembre Pesos { planta completa 37.200 Kg. { Grano 6.750 "
Lluvia (en cm.)	0,6	2,3	0,8	0,1		3,8	
Riego (en cm.)	1,8	3,6	21,8	26,1		53,3	
Evapotranspiración (en cm.)	0,3	5,5	29,1	1,0		54,8	
Drenaje							

Estacion de lisímetros de Madrid

Lisímetro no. 200 Cultivo Maiz Wisconsin 464 A

Año	Mes	Día	Hora	Operaciones	Cantidades de agua		Peso del Lisímetro Kilogramos	Evaporaciones		Altura Planta Centímetros	Observaciones	
					Riego Litros	Lluvia Litros		Parciales Kilo-gramos	Totales Kilo-gramos			
1953	Mayo	21		Abonado y siembra	6		269,730		1,630		Abonado con 30 gr. de superfosfato y 20 gr. de sulfato amónico	
		23				2,57		268,100				4,120
Junio		28		Aclareo			268,180	1,630	4,120	61	Queda 1 planta	
		5				3,110		7,230				
		12				7,230		14,310				
Julio		19	20	Aporcado	10	2,09	260,080	7,080	14,310	92	Aparece la flor masculina	
		26				2,26		25,420				
		3	17			1,84		18,150	43,570			160
		7	20					254,920	20,470			180
		10	10					254,450	19,250			175
Agosto		16	20	Despunte	10		245,200	21,500	104,790	175	Aparece la mazorca el 17	
		20				10		11,070	115,860			
		23	17			10		17,220	133,080			
		27	7			10		252,630	18,610			151,690
		30	20			10		255,410	9,290			160,980
		1	20			10						
		4	17			10						
7	20	10										
27		12	6,30	Última pesada	10	0,04	256,800	18,610	151,690	Recolección : Peso planta completa : 1,110 gr. Peso del grano 140 „		
		13				8,80		257,550	160,980			
		14	20			146		Sumas				
		18	20									
		21	20									

obtenidas con la experiencia de nuestros años de trabajos, que han versado sobre los cultivos siguientes :

Trigo (<i>Triticum sativum</i>)	Lentejas (<i>Ervum lens</i>)
Cebada (<i>Hordeum vulgare</i>)	Habas (<i>Vicia faba</i>)
Avena (<i>Avena sativa</i>)	Judías (<i>Phaseolus vulgaris</i>)
Centeno (<i>Secale cereale</i>)	Patatas (<i>Solanum tuberosum</i>)
Maiz (<i>Zea mais</i>)	Batatas (<i>Convolvulus batatas</i>)
Sorgo (<i>Sorghum vulgare</i>)	Remolacha azucarera (<i>Beta vulgaris</i>)
Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>)	Algodón (<i>Gossypium herbaceum</i>)
Trebol violeta (<i>Trifolium pratense</i>)	Lino (<i>Linum usitatissimum</i>)
Veza (<i>Vicia sativa</i>)	Tabaco (<i>Nicotiana tabacum</i>)
Yeros (<i>Ervum ervilia</i>)	Coles (<i>Brassica oleracea</i>)
Almortas (<i>Lathyrus sativus</i>)	Tomates (<i>Solanum lycopersicum</i>)
Garbanzos (<i>Cicer arietinum</i>)	Pimientos (<i>Capsicum annum</i>)
	Berenjenas (<i>Solanum melongena</i>)

Se ha intentado también alguna experiencia con Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) pero han dado mal resultado hasta ahora por no haberse conseguido un desarrollo vegetativo normal en el lisímetro.

También debe notarse la particularidad de que la Alfalfa tiene un desarrollo normal solamente hasta el 3^{er} año. Esto es debido, como es lógico, a que el lisímetro no tiene profundidad de suelo suficiente para el progresivo desarrollo de las raíces de esta planta.

Todas las plantas citadas, han sido objeto de experiencias durante varios años. Cada experiencia se ha realizado a base de diferentes tratamientos con respecto a dosis de agua y de fertilizantes en el suelo. Y, en fin, cada tratamiento se ha experimentado con repeticiones en tres o más lisímetros, para la obtención de promedios.

Los resultados completos de todos estos trabajos, se van a dar a conocer en una publicación preparada ya para poder salir en fecha próxima.

Para dar aquí alguna idea de la forma en que se desarrollan las experiencias acompañamos un Anejo, con algunos resultados parciales tomados al azar entre las hojas individuales correspondientes a cada lisímetro, y entre las hojas en que van consignándose los resultados anteriores, resumidos por meses y totalizados por años.



LISÍMETROS CON ALGODÓN (*Gossypium herbaceum*).



LISÍMETROS CON SORGO (*Sorghum vulgare*).



ESTACIÓN DE LISÍMETROS DE MADRID, VISTA GENERAL.



BALANZA PESANDO UN LISÍMETRO.

GRÚA COLOCANDO UN LISÍMETRO EN SU SITIO, DESPUES DE EFECTUAR EL DRENAJE.

LISÍMETROS CON VEZA (*Vicia sativa*).

