

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

DEPTO. DE FITOTECNIA



LISIMETROS

S E M I N A R I O

( OPCION III )

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

P R E S E N T A

HECTOR GONZALEZ GUERRA

T  
S603  
G651  
c.1

OCTUBRE DE 1983.

040.551  
PAT  
1983

GONZALEZ GUERRA F. 83

T  
S603  
G651  
C.1

040.551  
FAT  
1983



1080063957

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

DEPTO. DE FITOTECNIA



LISIMETROS


S E M I N A R I O  
( OPCION III )

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

P R E S E N T A

HECTOR GONZALEZ GUERRA

MARIN, N.L.



OCTUBRE DE 1983

T  
5603  
9651

040.551  
FA 1  
1983



## INDICE

	Página
INTRODUCCION.....	1
Literatura Revisada.....	3
Métodos para determinar la evapotranspiración.....	6
INDIRECTOS.....	6
Métodos basados en datos evaporimétricos.....	8
Métodos basados en datos climáticos.....	9
Método de radiación.....	10
1. Método de Penman.....	10
2. Método de Jensen y Haise.....	12
Métodos basados en la temperatura.....	14
1. Método de Hedke.....	14
2. Fórmula de Lowry y Johnson.....	14
3. Método de Thornthwite.....	15
4. Método de Blaney y Criddle.....	16
DIRECTOS.....	18
Parcelas Experimentales.....	18
Evapotranspirómetro.....	21
Lisímetros.....	25
Factores fundamentales a considerar en la instalación	
Lisimétrica.....	31
Ventajas y desventajas.....	39
Clasificación de los lisímetros.....	41
Ebermayer.....	41
Rellenados.....	41

	Página
Monolitico.....	42
Lisímetros de Pesada.....	42
Móviles ó de estructura alterada.....	44
Estacionarios ó de estructura inalterada.....	44
Lisímetros Flotantes.....	46
Lisímetros de Compensación.....	50
DESARROLLO LISIMETRICO EN MEXICO.....	54
Aplicaciones prácticas de los lisímetros.....	57
Conclusiones.....	63
Bibliografía.....	65

## INTRODUCCION

Una gran parte del agua que llega a la tierra, vuelve a la atmósfera en forma de vapor, directamente por evaporación ó a través de las plantas por transpiración.

La cantidad de agua que así escapa al pos'bl uso por el hombre, dada la dificultad para medir por separado ambos tér*mi*nos se reúnen frecuentemente bajo el nombre de evapo ranspira-  
c .

La influencia de estos fenomenos sobre el ciclo hidroló*gi*co es evidentemente importante, si se considera que en muchos lugares del mundo, el 70% de la recipitacion que llega a la tierra es devuelta a la atmósfera por evapotranspi acion y en algunos otros este porcentaje alcanza el 90<sup>o</sup> (W. R. Hamon 1 966).

Desde el punto de vista hidrológico, la evapotranspira-  
ción esta dentro del balance hídrico en el considerado como  
perdidas .. (4).

La utilización del agua, para su consumo por las plantas, entraña problemas de abastecimiento tanto superficial como sub*ter*aneo, así como del uso y rentabilidad de los siste as de r ego. También se ha convertido en un factor im o ante para el arbitraje de los litigios sobre cuencas fluviales e impor



tancia que afectan el bienestar público de valles enteros de estados y naciones. En las regiones áridas y semi-áridas, antes de detectar de un modo satisfactorio los recursos de agua utilizados en un cuenca de desague, deben considerarse cuidadosamente las exigencias de agua de las diversas cuencas secundarias.

..... (9).

Los métodos modernos para la det~~r~~minación de las dotaciones de agua para el riego se basan en el cálculo de la evapotranspiración potencial, esta puede ser determinada por métodos experimentales y dentro de estos métodos esta el lisimétrico, el cual se abordará en el presente trabajo.

El objetivo de este trabajo es analizar el desarrollo del método lisimétrico en nuestro país así como los diferentes tipos de lisímetros que hay, su funcionamiento, y su importancia; analizando también otros métodos experimentales para calcular la evapotranspiración

## LITERATURA REVISADA

Evapotranspiración es el resultado del proceso por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso y directamente ó a través de las plantas, vuelve a la atmósfera en forma de vapor, es decir, la evapotranspiración es la suma de la evaporación y transpiración, y el término, solo es aplicable correctamente a una determinada área de terreno cubierta por vegetación. Cuando ésta no existe, únicamente podrá hablarse de evaporación. Por el contrario, en condiciones naturales y aunque el fenómeno tiene sus características propias no es posible la ocurrencia exclusiva de transpiración.

..... (4).

El uso consuntivo, o sea, la evapotranspiración, es la suma de los términos: a).- transpiración, que es el agua que penetrando a través de las raíces de las plantas es utilizada en la construcción de tejidos o emitida por las hojas y reintegrada a la atmósfera, y b).- evaporación que es el agua evaporada por el terreno adyacente por la superficie del agua o por la superficie de las hojas de las plantas. El agua depositada por el rocío, la lluvia o la lluvia artificial y que se evapora sin ser utilizada por el sistema de la planta, forma parte de la evapotranspirada.

..... (9).

En general, el uso consuntivo depende de factores hídri-

cos, edáficos, vegetales y climáticos. A continuación se citarán los más importantes dentro de cada uno de los cuatro grupos de factores.

Hídricos. Calidad y disponibilidad del agua de riego, método de riego, eficiencia de riego, drenaje.

Edáficos. Propiedades físicas y químicas del suelo como textura, estructura, materia orgánica, salinidad, profundidad fértilidad, estratificación, etc.

Vegetales. Variedad, especie, ciclo vegetativo, edad, características morfológicas de los estomas.

Climáticos. Temperatura, humedad relativa, precipitación, viento, radiación solar.

La evapotranspiración tal como la hemos definido, aún a igualdad de suelo, planta y clima, es esencialmente variable, por una parte con la humedad que retenga la tierra en el momento considerado y, de otra con el estado de la vegetación, por eso le damos el nombre de evapotranspiración actual, para indicar que se refiere exclusivamente a las circunstancias del momento.

Para evitar esta indeterminación y obtener un valor único es necesario estudiar la evapotranspiración bajo las condiciones constantes, las más favorables, conociéndose entonces

con el nombre de evapotranspiración potencial, término introducido como Thornthwaite, que se define como el volumen de agua, evapotranspirada, en crecimiento normal, y posea en todo momento la humedad necesaria para obtener una cosecha óptima.

..... (7).

Se conoce como evapotranspiración potencial, concepto ampliamente desarrollado por Thornthwaite, a " la máxima evapotranspiración " posible que se da en condiciones favorables, cuando el suelo esta bien provisto de agua, prácticamente dentro de su capacidad de campo, y tapizado por una vegetación ó cubierta vegetal densa, pareja y de poca altura.

En cambio la evapotranspiración real es la que se da en las condiciones reales del medio, considerando fluctuaciones que expresan niveles variables en la humedad del suelo y con una cubierta vegetal incompleta, lo que podría ser otra parte, lo habitual en algunos cultivos. De acuerdo con Thornthwaite, la evapotranspiración potencial reflejaría la verdadera " necesidad de agua " para los cultivos que deben desarrollarse en condiciones óptimas de humedad.

Se conoce como uso consuntivo la cantidad de agua gastada o consumida en una área dada, en unidad de tiempo, tanto para la evaporación del suelo y la transpiración de la cubierta vegetal, como para la formación de los tejidos vegetales, dentro de las condiciones que fija el medio estudiado. Pues-

to que la cantidad empleada de agua para la formación de tejidos vegetales es en realidad muy pequeña, si se le compara con los volúmenes gastados en la evapotranspiración, muchos autores relacionan directamente el concepto de uso consuntivo con el de evapotranspiración.

.. .. (13).

Penman define como evapotranspiración potencial, al uso de agua de un cultivo que cubre totalmente la superficie del suelo y que nunca tiene deficiencia de humedad; como puede observarse, existe cierta diferencia con la evapotranspiración de los cultivos, en virtud de que éstos en muy pocas ocasiones se encuentran en circunstancias tan favorables.

..... (5).

### Métodos para determinar la evapotranspiración

#### Indirectos

Varios investigadores han tratado de relacionar los diferentes datos climatológicos con la evapotranspiración logrando fórmulas que permiten estimarla con diferentes aproximaciones; algunos son válidos únicamente para las condiciones particulares de las que fueron elaboradas, en el Cuadro 1 se presentan en orden cronológico los diferentes autores y factores usados para la estimación de la evapotranspiración.

Existen metodologías que se basan en principios bien fundamentados y que en términos generales, de acuerdo con los

Cuadro 1. Diferentes autores y factores que usaron para la estimación de la evapotranspiración\*

Año	Autor	Factores Usados
1928	Hedke	Calor disponible
1942	Lowry y Johnson	calor efectivo
1942	Blaney y Morin	Temperatura, humedad relativa, Duración del día.
1948	Thornthwaite	Temperatura y Latitud
1950	Blaney y Criddle	Temperatura y porcentaje de horas luz.
1953	Turc	Temperatura y Radiación
1956	Hargreaves	Temperatura, humedad relativa, duración del día.
1957	Makkink	Temperatura y Radiación
1963	Jensen y Haise	Radiación Solar
1964	Grassi y Chirstiansen	Temperatura, Radiación, Nubosidad
1965	Brutsaert	Evaporación.
1966	Hargreaves	Temperatura, Altitud, humedad relativa, viento, horas luz.
1970	Penman (Combinada)	Temperatura, Radiación, viento.
1971	Hargreaves	Temperatura, radiación, humedad relativa, altitud, velocidad del viento.
1972	García y López	Temperatura, humedad relativa
1976	Norero A.	Evaporación y Precipitación

(\*) Fuente: Adaptado hasta 1972, de Chaves Fallas (1973)

factores que consideren pueden agruparse de la siguiente forma, Días (1977):

Métodos basados en dispositivos evaporimétricos

Métodos basados en datos climáticos

Métodos basados en datos evaporimétricos. Varios autores han pretendido correlacionar la evapotranspiración con la evaporación en función de las lecturas de evaporímetros. Estos son instrumentos de muy diversa forma, tamaño y modo de operar en los cuales se mide la lámina de agua evaporada. Esta puede ser convertida en valores de evapotranspiración mediante un factor de corrección, Chávez (1973), menciona que frecuentemente se encuentra una estrecha proporcionalidad entre la evaporación, medida por ejemplo en un evaporímetro estándar, y la evaporación de un cultivo bien provisto de agua. Esto se debe a que los fenómenos de evaporación y evapotranspiración son originales por las mismas causas y factores. Son fenómenos cualitativamente semejantes, pero no se comportan de ese modo en forma cuantitativa. Los efectos del clima en la vegetación son cuantitativamente diferentes que en un evaporímetro y el factor de proporcionalidad entre ambos varían al cambiar el tipo de evaporímetro. Trabajos realizados en Arizona muestran variaciones en los coeficientes de ajuste de la fórmula que se usa para la estimación potencial, como función de la evaporación media en tanque, dicha fórmula se presenta a continuación:

$$ETp = C Ev.$$

Donde:

Etp = Evapotranspiración Potencial

Ev = Evaporación media en tanque

C = Coeficiente de ajuste, adimensional

La variación del coeficiente C depende de factores como el tamaño, la forma, el color, y el estado de conservación del tanque; así como de la turbiedad y profundidad del agua.

El tanque tipo " A " esta construido de fierro galvanizado sin puntas, de 122 cm de diámetro y 25.4 cm de profundidad expuesto y montado sobre un marco de madera construido de tal forma, que deje circular el aire libremente por debajo del tanque.

Se llena con agua hasta una profundidad de 20 cm y se vuelve a llenar cuando el tirante ha descendido a 18 cm la evaporación se calcula como la diferencia entre dos lecturas diarias consecutivas, haciendose ajustes por cualquier precipitación media en un pluviometro adyacente.

Métodos basados en datos climáticos. Para la estimación de Etp o Et se utilizan datos históricos, meteorológicos y de cultivo o bien, predecir sus valor en el futuro. Las predicciones se basan en datos esperados y la exactitud de las estimaciones depende fundamentalmente de las ecuaciones que estan



siendo utilizadas para describir las leyes físicas que gobiernan los procesos y de la confiabilidad de los datos climatológicos y de cultivo.

Estos métodos propuestos por diversas investigaciones pueden agruparse de acuerdo con los factores que consideran en:

- a). Método de radiación
- b). Métodos basados en la temperatura
- c). Métodos de humedad relativa

Método de radiación. Estos métodos se sugieren para aquellas regiones en donde se dispone de datos de temperatura y de porcentaje de horas luz, nubosidad o radiación pero no se tienen datos de humedad relativa. Dentro de este grupo puede citarse las de Penman (1948), Turc (1953), de Makkin (1957) así como el método de Jensen y Haise (1963) y la fórmula propuesta por Grassi-Christiansen (1964).

Debido a que como la mayor parte de estos métodos son demasiado teóricos ya que han sido deducidos bajo condiciones de regiones muy definidas, en este trabajo se profundizara sobre los más utilizados.

1. Método de Penman (1948); Penman efectuó una serie de experimentos en Rothansted, Inglaterra y dedujo una fórmula

que predice la pérdida de agua por evaporación desde una superficie libre de agua. Consiste en dos términos, el término de energía (radiación) y el término aerodinámico (húmedad relativa y viento).

La ecuación general que ha sido usada universalmente para predecir la evapotranspiración potencial de un cultivo de referencia como alfalfa es:

$$E_{tp} = 0.0171 W (R_n - G) + 15.36 (1 - W) (1.00 + 0.0062 U_2) (e_s - e_d)$$

Donde:

0.0171 = Factor de conversión para transformar  $\text{Cal/cm}^2/\text{día}$  a  $\text{mm/día}$ .

W = Es un factor de peso que depende de la temperatura y la altitud y cuyos valores se pueden calcular utilizando

$$W = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$$

Donde:

$\Delta$  = Pendiente de la curva presión del vapor a saturación vs temperatura

$\gamma$  = Constante psicométrica

15.36 =  $0.35 / (0.017) \times 1.33$ , donde 0.35 = Coeficiente aerodinámico original de la ecuación de Penman y 1.33 = Factor de conversión para transformar mm Hg a mb

$U_2$  = Velocidad del viento a 2 mts de altura sobre la superficie en Km/Día.

$e_s$  = Presión de vapor a saturación promedio en mb. (a temperatura máxima y mínima durante el día).

$e_d$  = Presión del vapor a saturación a la temperatura de rocío promedio durante 24 horas, en mb.

$R_n$  = Radiación neta diaria en  $\text{cal/cm}^2$ .

$G$  = Flujo terminal del suelo en  $\text{cal/cm}^2$ .

De todas las metodologías que se presentaran en este trabajo, la fórmula de Penman es la más fundamentada. Probada bajo una gran variedad de condiciones ha proporcionado estimaciones muy precisas de la evaporación del agua en superficies descubiertas.

Los resultados obtenidos con esta fórmula se han comparado con la evapotranspiración potencial medida en lisímetros, encontrando una alta correlación. Una de las desventajas de su aplicación es la falta de registros de algunos factores que en ella intervienen y que comúnmente solo se encuentran en estaciones de primera categoría, Gonzalez (1974).

2. Método de Jensen y Haise (1963); Jensen y Haise evaluaron 3,000 observaciones de la evapotranspiración obtenida a través de muestreos de suelos durante más de 15 años, principalmente en la parte Oeste de los Estados Unidos, encontraron una alta correlación entre la relación evapotranspiración potencial y radiación solar neta recibida por el cultivo y la representación de la siguiente manera.

$$Etp = (0.252 T + 0.078) Rs$$

Donde:

Etp = Evapotranspiración potencial mm/día

T = Temperatura °C

Rs = Radiación solar meta, mm/día

Posteriormente Jensen (1966), mencionado por Trava (1977), generalizó la ecuación anterior de la siguiente manera

$$Etp = Ct (T - Tx) Rs$$

Donde:

Etp = Evapotranspiración potencial media en mm/día  
Cuando Rs está expresada en estas unidades

Ct = Coeficiente de temperatura que es constante para una área dada y se deriva a partir de datos a largo plazo de temperaturas máximas y mínimas del mes con la temperatura promedio más alta.

T = Temperatura media diaria, °C

Tx = Constante que depende del área de estudio y que no es más que la ordenada al origen sobre el eje de las temperaturas.

Cabe aclarar que para estimaciones de evapotranspiración

reales, debe verificarse la ecuación de Jensen y Haise para la localidad en estudio y calcular los coeficientes del cultivo.

Métodos basados en la temperatura. Dentro de este grupo de métodos se pueden citar: El de Hedke (1928), Lowry y Johnson (1942), el de Thornthwaite; Blaney y Criddle así como el de García y López (1972). A continuación se tratarán algunos de los métodos mencionados y se profundizará en los que serán utilizados.

1. Método de Hedke (1928). Este obtuvo una de las primeras fórmulas prácticas para calcular la evapotranspiración y es la siguiente:

$$UC = K H$$

Donde:

- UC - Uso consuntivo, cm
- K = Constante que depende del cultivo
- H = Calor disponible, días -grado

Sin embargo, este método está basado en varias hipótesis en relación con la humedad que deben tener el suelo y las prácticas que se sigan al hacer el cultivo.

2. Fórmula de Lowry y Johnson (1942). El método desarro

llado por este, consiste en esencia en un procedimiento empírico basado en datos recogidos en la zona en que se aplica. La relación media que se encontro en función del clima del lugar y del cultivo es:

$$UC = 0.00008 Ce + 0.28$$

Donde:

UC = Uso consuntivo, m

Ce = Calor específico en el período °C

Este método se aplica a todo un valle y no a pequeñas parcelas. Las regiones se obtuvieron en la parte árida del Oeste de los Estados Unidos, por lo que las fórmulas solo dan valores aproximados a los reales y no pueden considerarse representativos de una región y mucho menos de un país.

3. Método de Thornthwaite (1948). Fórmula determinada en la parte Central-Este de los Estados Unidos y basada en la temperatura y en la latitud, determinando que esta última constituye un buen índice de la energía en un lugar específico. Su expresión general es:

$$Etp = 1.16 \left[ \frac{10 - T}{i} \right]^a$$

e:

Etp = Evapotranspiración potencial no ajustada, mm (pa-

ra meses de 30 días de 12 horas luz).

T = Temperatura media mensual en °C

I = Índice de eficiencia anual de temperatura y es

igual a  $\sum_{i=1}^{12} i$

i = Eficiencia de temperatura y es igual a  $\left[ \frac{T}{5} \right]^{1.511}$

a = Constante que depende del lugar y que es función del índice de eficiencia anual de temperatura (I) cuyo valor es:

$$a = 6.75 \times 10^{-7} (I^3) - 7.71 \times 10^{-5} (I^2) + 0.017925 (I) + 0.49239.$$

Las desventajas que tiene este método según de la Peña (1977) son:

1. La temperatura no es buena indicadora de la energía disponible para la evapotranspiración.
2. La temperatura del aire respecto a la temperatura de radiación puede ser diferente.
3. La fórmula no toma en cuenta el viento, ni el efecto de enfriamiento o calentamiento del aire por advección.

4. Método de Blaney y Criddle (1950). Estos autores desarrollaron una fórmula en el Oeste de los Estados Unidos, en la que hacen intervenir la temperatura media mensual y el porcentaje de horas luz mes con respecto al total anual. Originalmente los autores diseñaron el método para estimar la evapotranspiración real total de los cultivos y su fórmula es:

$$E_t = K f$$

Donde:

$E_t$  = Evapotranspiración real total del cultivo expresada como lámina, cm.

$K$  = Coeficiente total de ajuste que depende del cultivo y de la ubicación de la zona de estudio.

$$F = \sum_{i=1}^n f_i$$

$f$  =  $\frac{t \times P}{100}$  (los valores son mensuales, pulg.).

$t$  = Temperatura media mensual, °F

$P$  = Porcentaje de horas luz del mes con respecto al total anual, %.

Si los promedios mensuales de temperatura se expresan en °C, la ecuación transformada sería:

$$f = \left( \frac{t + 17.8}{21.8} \right) P$$

..... (1).

Los resultados que se obtienen aunque difieren de una a otra fórmula permiten sin embargo, formularse una idea bastante aproximada de las necesidades en agua de los cultivos, indispensable para determinar los volúmenes que han de ser suministrados por el riego.

El mayor inconveniente que suele presentarse en la aplicación de algunas de estas fórmulas es la insuficiencia de da



tos experimentales que se precisan para desarrollarla, siendo preciso darles un valor estimativo con todos los errores que ello supone. .... (7).

Dire tos

Estos métodos son aplicables para zonas donde se tiene una agricultura establecida, proporcionan valores apegados a la realidad y sirven a la vez para ajustar los parámetros de los métodos empíricos. .... (1)

Parcelas experimentales. Los experimentos realizados en tanques y lisímetros para los cultivos individuales no siempre representan las condiciones del terreno, puesto que hay muchas formas de preparar y disponer los materiales del suelo. Las medidas de la humedad del suelo en parcelas experimentales, en el campo son normalmente más reales que las realizadas en tanques y lisímetros.

Estas parcelas de ensayo consisten esencialmente en cuadrados, rectángulos o parcelas de experimentación perfectamente cercadas o delimitadas, en cuyo interior se establece una cubierta vegetal que se desarrolla durante un lapso determinado

Lo fundamental de esta experiencia lo constituye el estricto control de todos los aportes de humedad de la parcela,

puede serlo: Precipitación (P), aporte freático, si lo  
 e eventualmente, aportes por riego complementario (R),  
 sus respectivas eficiencias, cuando se lleva a cabo. El  
 ol se cumple en intervalos que corrientemente están com-  
 s entre 5 a 20 días.

El consumo del cultivo o cubierta puede expresarse en al-  
 ur d a a y su fórmula básica sería:

$$dmm = \left( \sum_i^n W.pa.D \right) + (P.E_f)$$

umatoria  $\sum_i^n$  Puede referirse cada vez a una o a n ca-  
 pas del suelo.

Es la diferencia del contenido de humedad  
 de la muestra dentro del intervalo consi-  
 dera o, expresando este en g amo de agua  
 sobre un gramo de s elo, o e o entaje  
 sobre suelo seco.

a - Es la densidad aparente de la capa del  
 suelo

= Profundidad de la capa moja a de suelo  
 considerada en metros.

P Precipitac ón registrada, en caso de que  
 se tenga en cuenta este ún co a orte  
 priricipal, en milímetros, ha ot s apor-  
 es.

- Lf = Eficiencia de la precipitación, según intensidad de la lluvia pendiente, grado de cobertura, etc.
- Fc = Un factor adicional para la lectura en milímetros es igual a 10 si D = m o a 0.1, si D = centímetros. Si D se expresa en dm este factor se omite por lo que conviene consignar D directamente en decímetros.

Si el tiempo, t, se establece en días, será factible obtener el valor no de lámina únicamente, sino de la Ea, o evapotranspiración en mm/día, de tal modo que:

$$Ea \text{ (mm/día)} = \frac{(W. \text{ p.} \cdot D) + (P. \cdot E_f)}{t}$$

..... (13).

En las parcelas experimentales, se conservan las condiciones naturales y se evitan alguno de los efectos en lisímetros y evapotranspirometros (efecto de oasis, relleno artificial, imposibilidad de movimiento lateral del agua).

Los mayores errores derivan del agua que escapa subterráneamente a través de los límites de la parcela. Si el sustrato impermeable no es demasiado profundo puede evitarse construyendo pantallas verticales de hormigón que lleguen a él y

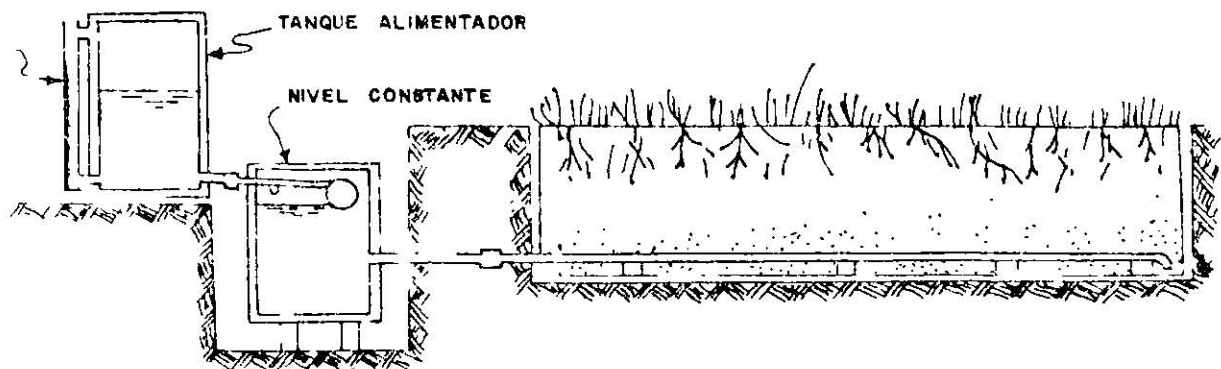
... para convertir la parcela en un monumental lisímetro con el terreno interior en condiciones naturales.

..... (4).

### evapotranspirometro

El evapotranspirómetro consiste fundamentalmente en un tanque que de aproximadamente 0.90 m de profundidad, por 3 m de largo y 1.30 m de ancho, conectado a otro tanque regulador que permite mantener en el primero, un nivel de humedad constante; este último a su vez es alimentado por un tercer tanque en el que se mide el nivel de agua. (consumo de agua).

El tanque grande se llama evapotranspirador y es donde se coloca la tierra sobre la que se siembra algún zacate.



EVAPOTRANSPIROMETRO DE THORNTWHAITE

Con el evapotranspirómetro se determina en forma directa la evapotranspiración potencial de los cultivos. Fue ideado por Thornthwaite y consta de lo siguiente:

1. Tanque evapotranspirador de fierro galvanizado, con

área rectangular de 4 metros cuadrados y 40 cms de profundidad. Este tanque va hundido hasta el nivel del suelo, el cual se llena de tierra donde posteriormente se siembran plantas. En el fondo tiene un lecho de grava que ayuda a eliminar el exceso de agua.

2. Tanque alimentador en donde se mide y agrega diariamente el agua consumida

3. Tanque regulador situado entre el alimentador y el evapotranspirador.

4. Tubería que conecta a todo el sistema.

El principio de funcionamiento se basa en un sistema de flotador ubicado en el tanque regulador, el cual proporciona la demanda de agua provocada por la acción evapotranspirativa del cultivo; esta demanda de agua se mide en dicho tanque y se proporciona mediante un sistema de subirrigación. Entre las desventajas principales que tiene este método se puede mencionar: La dificultad para simular las condiciones naturales (suelo, cobertura) dentro del tanque, solamente puede aplicarse a un cultivo por ciclo y además que el método de subirrigación funciona para ciertas texturas y limita grandemente la profundidad del suelo.

Debido a las dificultades ya señaladas y de la consideración indiscutible de que el sistema de aplicación del agua condiciona los resultados, y su adaptación, Pallares (1974) y

López (1974) presentan un evapotranspirometro modificado. La modificación señalada requiere de un medidor volumétrico pero a cambio de eso desaparece el tanque alimentador y el flotador con lo cual la unidad se compone de dos partes; un tanque de cultivo y un tanque colector o de drenaje.

..... (1).

Es un aparato ideado por Thornthwaite y consta en lo general de un tanque de lámina de fierro galvanizado de cuatro metros cuadrados de área cilíndrica o rectangular, y de 90 cm de profundidad, hundido y lleno de tierra hasta el nivel del suelo en el que se siembran las plantas para ensayar y con un fondo de grava que ayuda a conservar el nivel freático a una profundidad determinada. Se le denomina tanque evapotranspirador. También se encuentra ahí una tubería subterránea ramificada para alimentación o desfogue del agua.

Un tanque alimentador de 65 litros de capacidad llena de agua para abastecer constantemente por la parte subterránea al tanque evapotranspirador y en el que diariamente se determina el volumen de agua consumido por evapotranspiración midiendo la que hay que agregar para volver a su nivel una marca fijada al tanque.

Un tanque regular situado entre el alimetador y el eva--

otro aspirador conectado con ambos, provisto de una válvula  
reguladora, cuyo papel es mantener constante el nivel freático  
en el tanque vacuol aspirador.

Un tanque de excedentes colocado inmediatamente abajo  
del tanque regulador y conectado a él de modo que recoja el  
excedente de agua de lluvia que hubiera caído sobre el tanque  
aspirador y que después de atravesar la capa de suelo  
trata de elevar el nivel de agua en este tanque.

Finalmente la tubería que conecta a todo el sistema

Para tener la información directa de la humedad del suelo  
en el tanque evapotranspirador se instalan cerca de la su-  
ficie del mismo 3 o 4 geohigrómetros para registrar los datos  
sobre la cantidad de agua agregada al tanque alimentador  
para llevarlo a su nivel inicial y la cantidad de agua recogida  
en el tanque de excedentes. Las observaciones son diarias  
tratando de hacer un balance de los datos del evapotranspirometro el  
monto de lluvia y de temperaturas máximas y mínimas de las 24  
horas precedentes.

Para estudios generales Thornthwaite y Mather se sembró  
en el tanque y en los alrededores (Distichlis spicata) en el  
interior del tanque. La vegetación en el  
tanque se riega para mantener la carga adecuada, siendo

de no caiga agua dentro del tanque y utilizando una lámina aproximada igual a la consumida por la vegetación de los años salvo los casos en que ha llovido y el suelo está empapado.

El zaco de del tanque como el del terreno circundante se cortan de vez en cuando para mantener una altura de 10 a 15 cm.

El zacate cortado del tanque se recoge y se seca al aire para finalmente pesarla. Con los datos anteriores se determina la cantidad de agua evaporada y transpirada para el suelo y la vegetación y la relación entre el agua utilizada y la materia seca formada por las plantas.

..... (14).

DISMÉTROS

La medición de la evapotranspiración potencial y real se realiza directamente consiste en poner una masa de suelo en un tanque al cual se añade agua para mantener y registrar la pérdida de agua por el cultivo que se está realizando en dicho tanque.

Los métodos han probado a satisfacción la comprobación de la validez de teorías relacionadas con la evaporación y la transpiración, pero su empleo es muy laborioso y complicado para uso en gran escala. El lisímetro ha sido el método más comúnmente empleado para medir la pérdida de agua a través



de los suelos y determinar los constituyentes solubles removidos en el drenaje.

..... (14).

Los lisímetros son recipientes donde se mide el consumo diario de humedad por el cultivo que se desarrolla en el suelo contenido en ellos a fin de cuantificar su evapotranspiración o uso consuntivo. Dichas mediciones se basan en la ecuación del balance hidrológico algunas de cuyas variables se mantienen bajo control.

..... (18).

Lemon et al (1957) afirma que el término lisímetro proviene del griego Lisis que significa desprendimiento o separación y se refiere al aparato que sirve para dar medidas directas del desprendimiento de agua por un cultivo a la atmósfera o al subsuelo.

..... (14).

Según Subboti, citado por Tzenova (1978) el término lisímetro significa en griego medidor de filtración, y representa un equipo en el cual un volumen determinado de suelo, donde se siembran las plantas, se coloca en un recipiente especial a fin de aislarlo de la humedad del medio adyacente.

Hillel et al (1969) considera un lisímetro como un reci-

piente grande lleno de suelo, generalmente localizado en el campo, y en el cual las condiciones suelo-planta-agua pueden ser resultados y medidas más convenientemente que en el perfil natural del suelo.

..... (10).

Según Trava (1972) los lisímetros pueden ser definidos como estructuras que contienen una masa de suelo, y están diseñados de tal forma que permitan la medición del agua que drena a través del perfil del suelo.

..... (21).

Caballero (1973) dice que un lisímetro es un recipiente en el cual se coloca un volumen de suelo y puede ser sembrado con especies vegetales y localizado aisladamente, junto con una área adyacente que lo circunda con el mismo suelo y vegetación.

..... (2).

Según Pena (1974) son estructuras adaptadas para contener suelo y acondicionar para evaluar cuantitativamente los componentes del balance hídrico generalmente localizadas en el campo para representar las condiciones naturales del suelo y medio ambiente.

..... (15).

Szabo y Szalay citados por Tzenova (1978) dicen que los lisímetros representan equipos que sirven para estudiar el régimen hídrico del suelo. A través de mediciones repetidas de algunas características del suelo puesto en el lisímetro (peso, humedad, cantidad de filtración) se pueden obtener datos (previos) de permeabilidad, infiltración y evaporación del suelo en estado natural.

..... (22).

El objetivo fundamental que se desea lograr al utilizar lisímetros es determinar las necesidades hídricas de los cultivos, con el fin de efectuar una mejor planificación del riego, y más concretamente:

Medición de evapotranspiración potencial y real

Medición de patrones diarios de evapotranspiración, marchitez temporal de medio día, partición de energía disponible en períodos cortos y la relación entre evapotranspiración y tensión de la humedad del suelo.

Obtención de relaciones entre la evapotranspiración y la evaporación calculada mediante fórmulas meteorológicas, así como sus relaciones con la evaporación media por diferentes instrumentos.

Medición de la percolación del agua a través de los sue-

los y determinar los constituyentes solubles removidos en el agua de drenaje.

Medición de la evapotranspiración actual y su relación con la potencial a diferentes estados de cobertura y crecimiento de diferentes cultivos.

Medir la influencia de la disponibilidad de agua en el suelo y sus relaciones con la evapotranspiración.

Observación del crecimiento y comportamiento del sistema radicular de diferentes suelos bajo diferentes láminas de agua.

Evaluación de instrumentos diseñados para medir la precipitación en sus diversas formas.

Realización de estudios sobre climatología agrícola con el fin de enfatizar la importancia del microclima en la evapotranspiración.

Relación de la intensidad de alimentación de la capa activa del suelo a costa de las aguas subterráneas con diferente profundidad de su nivel.

Migración de las sales en la zona de aireación del suelo.

..... (18).

Tanner (1967), afirma que el método lisimétrico es el único método hidrológico que permite el control de todas las variables en la ecuación del balance hidrológico por el cual el mismo es de gran importancia tanto para la obtención de datos referentes a la evapotranspiración, como para el control de los resultados obtenidos mediante los métodos micrometerológicos y la calibración de las fórmulas empíricas para el cálculo de la evapotranspiración.

..... (20)

Yensen citado por Tezanova (1978) en sus investigaciones sobre lisimetría concluye que los lisímetros dan los valores mas precisos de la evapotranspiración cuando estan correctamente colocados y explotados, además de estar provistos con los aparatos de medición necesarios. Esta es importante sobre todo en las condiciones de intensas precipitaciones, ya que un posible error debido al escurrimiento se puede aumentar en el método del balance hídrico.

..... (22).

Por lo anteriormente expuesto podemos deducir que las determinaciones lisimétricas estan enfocadas a la ob ención e datos experimentales que nos permitan tener un meor conocimiento de los factores que influyen en el proceso evapotranspiratorio, y cuantificar el grado de exactitud de procedim ntos indirectos que se utilizan para estimarlo.

Sus dificultades y limitaciones hacen difícil el generalizar su uso para mediciones directas de evapotranspiración por lo que se emplean más para investigación básica para diferentes cultivos, suelos y climas.

..... (18).

Factores fundamentales a considerar en la instalación lisimétrica.

Para obtener datos precisos es necesario reproducir en el lisímetro, lo más fielmente posible, las condiciones de suelo y vegetación existentes en forma natural.

Una forma elemental de comprobar una buena instalación es cuando en una visión panorámica del campo donde se encuentra el aparato no se le puede ubicar, ya que el desarrollo del cultivo es similar dentro y fuera de él.

A continuación se hace una breve descripción de los factores a considerar en la instalación y selección de los lisímetros. Como en la mayoría de los casos las mediciones que se hacen son de evapotranspiración conviene aquí recordar como se define esta: Evapotranspiración Potencial es el consumo de agua de una superficie extensa sembrada de un cultivo verde, corto, uniforme en altura con adecuado suministro de agua, nutrientes y cobertura total.

Algunos de los factores que ameritan consideración se mencionarán a continuación citados por Chang (1968).

#### Efecto de oasis

En la definición de evapotranspiración " superficie extensa ", implica que debe eliminarse toda fuente de energía que no sea la proveniente del sol. En efecto es bien conocido que si se mueve hacia esta aire mas caliente y seco que el que se encuentra sobre la superficie evapotranspirante, existirá para ella energía adicional (calor latente) que inducirá un aumento en la disposición de vapor. Es entonces obvio que si se desea comparar consumo de agua medido, con el obtenido en cálculos, es necesario eliminar este factor variable y por lo tanto el lisímetro deberá ubicarse en un sitio bien regado y lo suficientemente alejado de la zona de entrada de vientos predominantes para evitar este efecto de oasis.

#### Efecto de pared

Dos formas del efecto de pared revisten importancia en estudios lisimétricos:

Advección. De igual forma que ocurre el movimiento de energía desde zonas adyacentes del campo, en este mismo ocurren efectos microclimatólogicos de advección si la superficie no es homogénea.

Así desde las paredes del tanque hacia el cultivo, se produce advección en pequeña escala de calor latente.

Variación del aire. Aunque pequeño existe otro efecto de límite por el cambio de la superficie vegetativa al crecer esta por sobre la pared.

Este efecto se puede reducir con paredes delgadas y manteniendo el cultivo corto.

Cultivo. Son muchos los factores que hay que considerar con respecto al cultivo a sembrar entre ellos están

Profundidad de raíces. Algunos evapotranspirómetros son por diseño muy pequeños, lo cual limita la utilización de cultivos de desarrollo radicular mediano o abundante.

Cobertura vegetal. Hay que diferenciar si las mediciones serán potenciales o actuales, en el primer caso se requerirá por definición una cobertura total del suelo. Si lo que se desea es medir uso consuntivo de algún cultivo en particular, es necesario que el número de plantas por unidad de superficie y así el porcentaje de cobertura, sea igual dentro del tanque que en condiciones naturales, de otra manera no podría generalizarse los resultados obtenidos.



Corte de materia verde. En caso de mediciones con un cultivo standar, generalmente pasto, es necesario realizar los cortes de materia verde con bastante buena frecuencia. Cuando esto no ocurre así, al efectuar un corte se remueve toda la materia vegetativa en estado fisiológico activo, pasando el cultivo de un consumo potencial a uno menor con el consecuente error de los fines comparativos con evapotranspiración potencial o evaporación media.

Sensibilidad de mediciones. Con el fin de obtener la máxima exactitud en las mediciones, es importante que la sensibilidad de registro del aparato a pequeños cambios de humedad. El nivel de precisión para obtener replicación de resultados; para ello se usan baterías de lisímetros sencillos en lugar de uno complicado en vista de que los consumos diarios y aún mas los horarios son considerablemente pequeños, hay que usar algunos artificios que permitan una mejor medición, a tal fin se emplean con frecuencia amplificadores de registro. Otra ayuda consiste en buscar una relación favorablemente de superficie volumen; para ello hay que reducir la profundidad del tanque, lo cual puede delimitar el desarrollo radicular.

..... (6).

La garantía de las determinaciones del consumo de agua, por medio de lisímetros y tanques depende de la fidelidad con que se reproduzcan las condiciones naturales. Las condiciones artificiales vienen determinadas por las limitaciones del

suelo, tamaño de tanque, regulación del aprovisionamiento de agua y a veces el medio ambiente.

Deberían colocarse los lisímetros rodeados de una vegetación natural de las mismas especies, es decir en su medio natural, de manera que el consumo de agua en su interior sea aproximadamente el mismo que el de la zona vegetativa que la rodea.

Se ha llegado a la conclusión de que toda la vegetación del tanque debe ser protegida de los elementos por medio del cultivo, o a sus alrededores, de las mismas especies.

Para determinar de un modo exacto el consumo de agua en los tanques, el método que se emplea es el de pesarlos. Sin embargo, las circunstancias y elementos de que se dispone, no siempre permiten esta operación. Los tanques del suelo, equipados con depósitos de aprovisionamiento tipos Mariotte han dado buenos resultados para la medición de la evapotranspiración a partir de capas de agua a profundidades diversas.

El sistema de alimentación Mariotte proporciona agua a medida que se necesita para mantener un nivel fijo de esta en el espacio anular del tanque.

El volumen de agua exhalada se determina por la lectura

de las diferencias diarias o semanales en un tubo de vidrio graduado adosado al tanque de aprovisionamiento.

La gran ventaja de los lisímetros equipados con el aparato Marriotte radican en la facilidad con que se pueden efectuar las mediciones de agua y en el automatismo de las operaciones

..... (1).

No hay duda de que con los lisímetros se obtienen resultados que bien interpretados pueden ser de gran interés para la zona del mismo clima, pero también es evidente que las condiciones en que se operan nunca serian idénticas a las seguidas en los cultivos, especialmente en lo referente a la superficie del terreno ocupada por cada planta; por eso la experimentación ha de ser continuada y variando sus dispositivos, aunque procurando siempre que se asemejen todo lo posible al cultivo en el campo.

..... (7).

Para obtener resultados precisos en lisimetría, las plantas que crecen en el recipiente deben ser idénticas en todos los aspectos del cultivo que se estudia y además, deben someterse a las mismas condiciones fisiológicas. Las condiciones de humedad del suelo para el cultivo principal deben ser similares y cuando, las cantidades y los momentos de aplicación de agua deben ser los mismos.

Otras prácticas de administración que se deben incluir incluyen un sistema similar al anterior, un suministro igual de riego a través de cualquier adaptación del sistema de riego. Los recursos de agua se aplican a las plantas a través de la tierra y no entre el suelo y las paredes.

Es preciso tener cuidado de someter a las plantas del límite a los mismos efectos climatológicos que el cultivo principal; por ejemplo, es posible que en los bordes de un terreno no prevalezcan las mismas condiciones que en el centro.

Cuando se debe utilizar un lisímetro para medir la evaporación, con los efectos de tensión de la humedad del suelo del terreno se presentan otras complicaciones por la necesidad de regular los perfiles de humedad del suelo del terreno en la zona de estudio para que el tipo del suelo y su estructura afectar el movimiento del agua, deben ser similares en el crecimiento de las plantas principales.

El llenado del lisímetro trastorna evidentemente la estructura del suelo. De tal manera que lo ideal sería que los suelos no granulars deban encontrarse situados en el recipiente. En el caso de suelos granulares, el llenado es apropiado; pero se debe tener cuidado de mantener el perfil original del suelo no sólo para asegurar condiciones similares de humedad del suelo sino también duplicar la densidades de enraizamiento a

lo largo del perfil de suelos.

..... (24).

Antes de usar satisfactoriamente un lisímetro, empleado para la estimación de evaporación, se deben cumplir varios requisitos:

- a). La vegetación que cubra el lisímetro tiene que ser idéntica y continua a la zona de sus alrededores, y de aquí que el medio ambiente de ambos sea idéntico.
- b). El suelo del lisímetro tiene que estar compactado de tal forma que de cerca parezca un terreno compacto.
- c). El suelo tiene que ser suficientemente profundo para que la redistribución del agua después de una lluvia no se vea afectada por la parte inferior del recipiente.
- d). El lisímetro no deberá limitar el crecimiento del sistema radicular de la vegetación en su interior.

Si estos requisitos se cumplen el único inconveniente referente al tamaño del lisímetro se debe al mecanismo para pesar

..... (3).

### Ventajas

1. Las mediciones son directas, por lo que con aparatos mas adecuados permiten un alto nivel de exactitud.

2. Permiten hacer adiciones de evapotranspiración en intervalos cortos.

3. Permiten comparar el grado de exactitud de otros métodos y estudiar la influencia de los fenómenos meteorológicos en el proceso.

### Desventajas

1. Dificultad de simular las condiciones naturales (suelo, cobertura, desarrollo radicular, etc.) dentro del tanque.

2. Dedicación de personal de un alto nivel técnico que requieren los mejores lisímetros por lo que las posibilidades de generalización con fines prácticos están limitadas.

..... (1).

Una de las fallas comunes de los lisímetros es la de que el bloque de tierra se encuentra necesariamente encerrado y, por ende, aislado del suelo y el subsuelo, circundante.

A veces se insertan dispositivos de succión bajo la tierra encerrada, para contrarrestar los efectos de aislamiento

sobre el potencial del agua.

El confinamiento del suelo restringe también el alcance posible de las raíces de las plantas que se están investigando.

Incluso cuando se tenga un cuidado especial para poner las capas del suelo en el orden correcto, consolidando hasta la densidad original las propiedades físicas y biológicas del suelo en un lisímetro relleno habrá inevitablemente diferencias con un suelo intacto. Por lo tanto, es preferible comparar los efectos de distintos tratamientos aplicados todos en un solo lisímetro, en lugar de tratar de relacionar las observaciones lisimétricas con los obtenidos en el suelo intacto circundante.

..... (23).

La falla del método lisimétrico es que es difícil aplicarlo a estudios de especies cuya rizofera es por lo general más grande que el volumen del suelo del lisímetro. También que, las raíces de las plantas tienden a concentrarse cerca del tubo de descarga, donde se localiza más humedad. Si el lisímetro no es monolítico, la estructura del suelo difiere considerablemente de la del suelo natural; además durante períodos de sequía el tanque no se beneficia por el acceso de agua de las capas del suelo en el cual está y que consecuentemente la cantidad de agua excedente recibida durante fuertes

lluvias es totalmente desperdiciada por las plantas.

..... (14).

### Clasificación de los lisímetros

De acuerdo con los principios de construcción, se clasifican en tres tipos:

- a). Ebermayer
- b). Rellenados
- c). Monolíticos

De acuerdo a su principio de acción:

- a). De Pesada
- b). Flotantes
- c). De compensación

Ebermayer. En el tipo de Ebermayer, el suelo se deja " in situ " y se coloca bajo el un embudo colector para la percolación, pero ninguna pared lateral separa a un bloque del suelo definido al suelo aledaño. Su misma naturaleza de construcción lo limita para estudios cualitativos de percolación y no puede en sí emplearse para trabajos de evapotranspiración.

Rellenados. El tipo de lisímetro relleno, consiste de



un recipiente que tiene paredes laterales; una boca abierta y un fondo preparado para la percolación. En lo general, los primeros investigadores llenaban estos lisímetros con suelo homogéneo o mezclas de arena para obtener uniformidad. Esta práctica aún se usa en donde se investigan suelos muy arenoso con poco desarrollo estructural. Sin embargo, los investigadores se han percatado de la necesidad de duplicar las condiciones naturales donde se deben de usar este tipo de lisímetros, se ha hecho el intento de excavar el suelo en capas estructurales y rellenar los lisímetros de tal manera que la densidad y estructura del suelo se aproximen a las condicio--nes naturales en lo mayormente posible.

Monolítico. El lisímetro monolítico o bloque de suelo, es una combinación de los rasgos mas deseables de los anteriores. Se construye un receptáculo alrededor de un bloque de suelo tal como se encuentra en el campo se le agrega un fondo parcialmente abierto y lo percolado es conducido a tanques de almaceramiento. Con tal instrumento, es duplicado de las cordiciones naturales, inherente al lisímetro Ebermayer se conserva y al volumen limitado del tipo relleno nos lleva a estudios de humedad cualitativos y cuantitativos.

Lisímetros de Pesada. La construcción, en principio, de este tipo de lisímetro es la siguiente: En recipientes de metal o de hormigón armado se c-locas suelo a granel o en monoli

to en el cual se cultivan plantas. Estos recipientes tienen áreas que varían desde fracciones de 1 a varios metros y profundidad de 2 a 3 mts. Según Tanner (1967), el recipiente lisimétrico se coloca normalmente en otro recipiente exterior que aguanta el suelo circundante, debido a lo cual el recipiente interior queda libre y se puede medir. El mantenimiento de una humedad óptima para el desarrollo de las plantas cultivadas en los lisímetros, se asegura por la precipitación y/o, mediante riegos, esto se logra al mantener un nivel permanente de las aguas subterráneas en los lisímetros. Dichos lisimetros están provistos también de drenaje y aparatos para la acumulación y el control de las aguas filtradas de la precipitación y los riegos. La cantidad de agua gastada (evapotranspiración) E, se establece por la diferencia entre dos mediciones consecutivas del peso, considerando además las precipitaciones caídas en este período, la cantidad de agua utilizada para el mantenimiento de un nivel permanente del agua en el lisimetros y la cantidad de agua filtrada de las precipitaciones y los riegos. En general, el balance de la humedad para este lisimetro durante un período dado se puede expresar por la ecuación:

$$E = T1 - T2 + P + R + G - I$$

Donde:

E - Evapotranspiración para el período

T1 = Peso del lisímetro en la primera medición

T2 = Peso del lisímetro en la medición siguiente

- P = Suma de las precipitaciones para el período.
- R = Cantidad de agua entregada por el riego.
- G = Cantidad de agua gastada para mantenimiento de un nivel, permanente de las aguas subterráneas en el lisímetro.
- I = Cantidad de agua filtrada de las precipitaciones y el riego.

Las cantidades de agua establecidas se refieren al área del lisímetro y se expresan por milímetros de columna de agua, conforme al método de medición del peso, estos lisímetros pueden ser.

Móviles o de estructura alterada. Se sacan de sus lechos a mano o mediante dispositivos de elevación especiales (grúas) y se ponen sobre balanzas de plataforma para medir el peso; después, se vuelven a colocar en su lugar. Los lisímetros que funcionan de acuerdo con este principio de medición del peso, normalmente tienen dimensiones pequeñas.

Estacionarios o de estructura inalterada o monolitos. Están puestos permanentemente en el dispositivo de medición del peso (balanza), ver figura 1 y 2. Normalmente son lisímetros de grandes dimensiones donde el peso del suelo y los demás accesorios del lisímetro mismo pesan varias toneladas. Basados en este principio, están instalados los lisímetros de

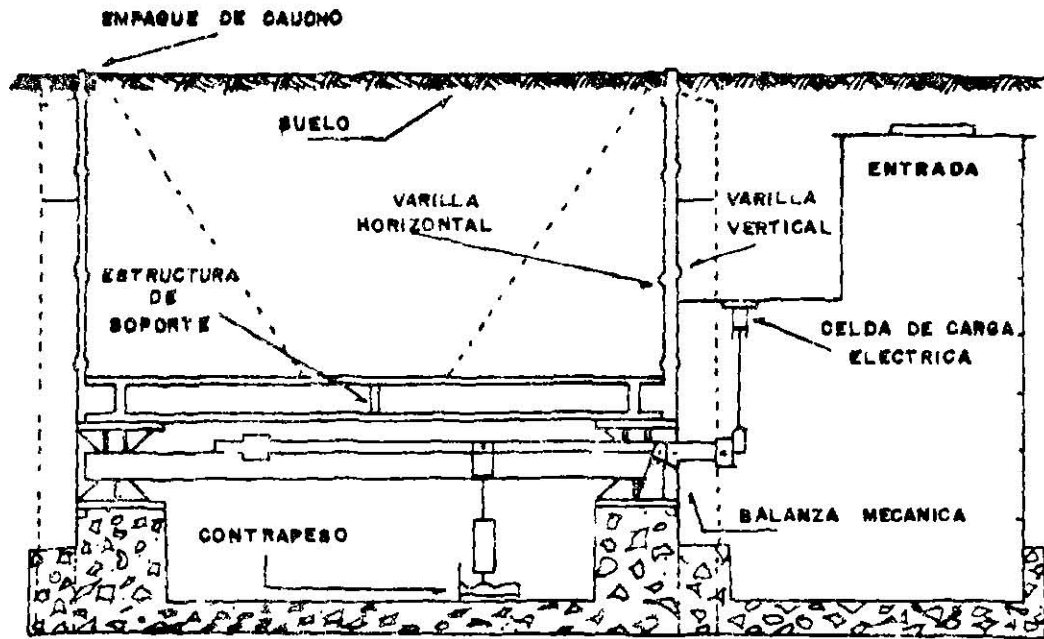


FIGURA 1. LISIMETRO DE PESADA .

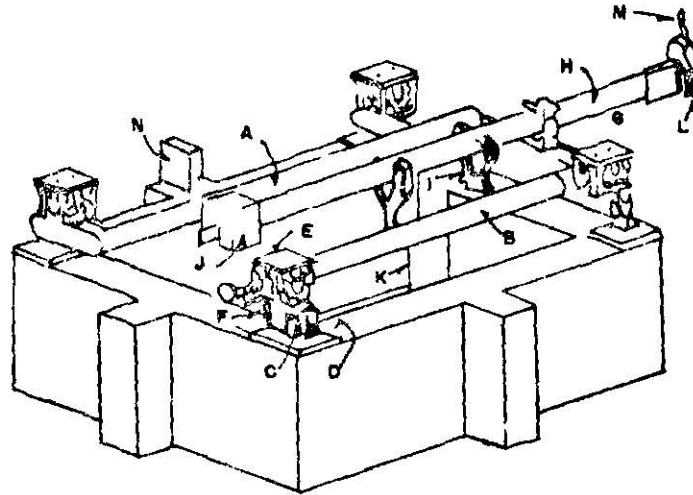


FIGURA 2. LISIMETRO DE PESADA (SISTEMA DE PALANCAJE) .

Coshecton, U. S. A.

Se considera que los lisímetros de pesada proporcionan datos precisos para la medición de pesos mas grandes causan ciertas dificultades. El uso de las balanzas de plataforma y los dispositivos de elevación para sacar los lisímetros de sus lechos y pesarlos, es posible solo en caso de lisímetros de peso y dimensiones limitados. En todos los casos en que los lisímetros utilizados son de grandes dimensiones los mismos deben ser estacionarios o de estructura inalterada o monolitos, colocados sobre balanzas, lo cual encarece su construcción.

Subbotin, Tanner y otros, citado por Tzenova, (1978) indican como perspectiva el método manométrico de medición del peso de los lisímetros.

#### Lisímetros flotantes

Estos tipos de lisímetros llamados también hidráulicos, tienen el recipiente lleno de suelo (el monolito) que esta flotando directamente o mediante un flotador en un piscina llena de agua u otra solución. La Ley de Arquímedes sirve de base al principio de operación de estos lisímetros. Al evaporarse la humedad del monolito del suelo flotante, el peso del mismo disminuye y, como consecuencia, emerge sobre la superficie del líquido. Por los cambios en la profundidad de sumersión se determina la evapotranspiración del monolito de

suelo en el lisímetro.

Tanto en los lisímetros de pesada, como en los flotantes, la precipitación y el agua de riego, mantienen la humedad óptima para el desarrollo de los cultivos cuya evapotranspiración se estudia. Existen también sistemas de drenaje para la captación y medición del agua filtrada así como sistemas para la captación del escurrimiento superficial del monolito de suelo.

En 1950, en el Laboratorio Hidrológico de Investigaciones Científicas de Valday se construyó por este principio, un evaporador hidráulico modelo grande, elaborado por V. A. Urivaey y K. S. PETZUL. El monolito de este evaporador tiene 5 m<sup>2</sup> de área y 2 m de profundidad. La construcción de este equipo único la podemos observar en la figura 3. En el centro de la obra, en una camisa de acero, se coloca el monolito de suelo (1). Mediante 12 consolas radiales (2) que se apoyan en los soportes (3) y un flotador circular (4) el monolito de suelo está flotando en una piscina (5) de sección circular llena de agua. El peso del monolito junto con la camisa y las consolas radiales que asciende a 40 toneladas, se equilibra por la fuerza de elevación del flotador que está totalmente sumergido en el agua.

Con el fin de disminuir el intercambio térmico del monolito con el medio, su camisa está cubierta por un termoaislador

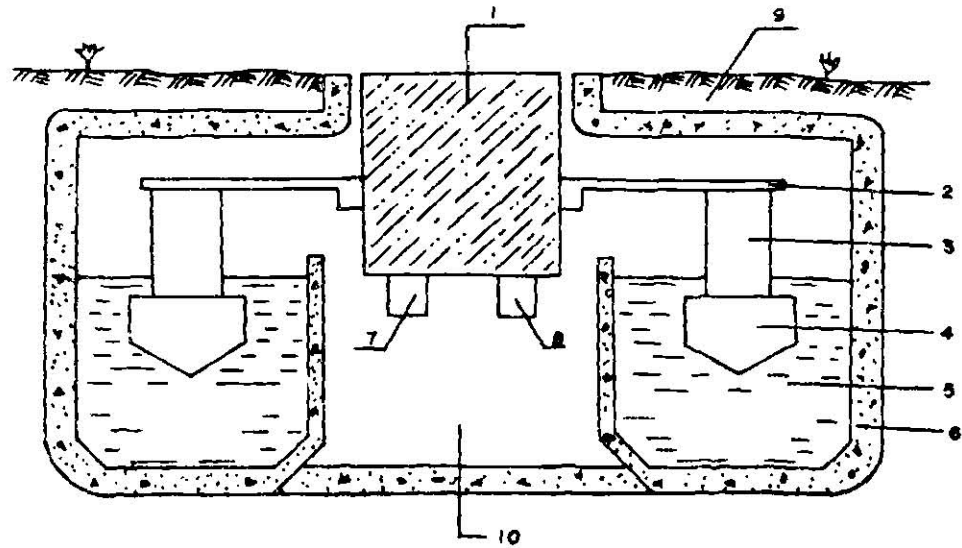


FIGURA 3. LISIMETRO HIDRAULICO MODELO GRANDE

- |                           |                                  |
|---------------------------|----------------------------------|
| 1.- MONOLITO DE SUELO     | 5 - PARED DE LA PISCINA          |
| 2.- CONSOLAS RADIALES     | 7 y 8.- RECIPIENTE DE CAPTACION, |
| 3.- SOPORTES              | ESCURRIMIENTO Y FILTRACION .     |
| 4.- FLOTADOR              | 9.- RELLENO DE TIERRA            |
| 5.- PISCINA LLENA DE AGUA | 10.- ESPACIO PARA EL OBSERVADOR  |

Las investigaciones efectuadas en este tipo de lisímetro demuestran que debido al aislamiento térmico y al gran volumen del monolito de suelo, el régimen térmico y el régimen de humedad del mismo prácticamente no difieren de los regímenes respectivos del suelo en el campo alrededor del lisímetro.

El evaporador hidráulico modelo grande representa una obra única y bastante compleja desde el punto de vista técnico, y por ello no se pudo utilizar en gran escala para el estudio de la evapotranspiración y menos aún en varios puntos de forma repetida. Partiendo de este planteamiento V. A. Urivaov y P. N. Burtzev elaboraron la construcción de un lisímetro hidráulico modelo pequeño. Es bastante ligero y simplificado en comparación con el modelo grande ver figura (4).

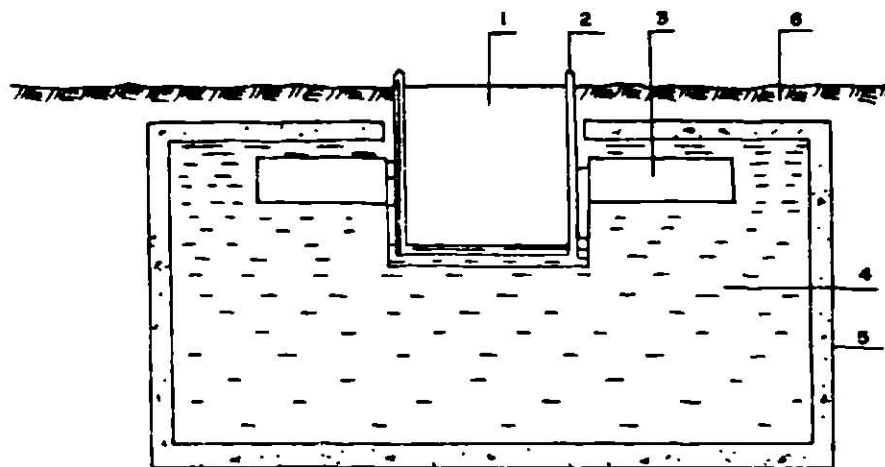


FIGURA 4 - LISIMETRO HIDRAULICO MODELO PEQUEÑO .

- 1 MONOLITO DE SUELO
- 2 CAJA DEL MONOLITO
- 3 EVAPORADOR
- 4 TANQUE
- 5 PAREDES DEL TANQUE
- 6 RELLENO DE TIERRA



El área del evaporador es de 0.2 m y su profundidad 1.25-1.50 M. El recipiente metálico en el suelo (el monolito) se coloca en otro recipiente exterior que se soporta por un flotador circular que esta flotando en el tanque lleno de agua. Tanto en el modelo grande como en este la camisa del monolito de suelo esta cubierta por un termoaislador. Además se prevé un sistema de medición de la cantidad del agua filtrada a través del monolito. El peso de todo el sistema flotante, incluyendo el monolito de suelo, llega a unos 800 kg.

El grado de sumersión se regula por medio de diferente llenado del flotador con agua mediante tres tipos de pesas que se ponen en los pozos cilíndricos verticales situados bajo un ángulo de 120° en el flotador.

Los cambios en el peso del monolito de suelo a consecuencia de vapores o la caída de precipitaciones, se establecen por el desplazamiento vertical del sistema flotante con la ayuda de dispositivos apropiados.

Lisímetros de compensación. En los lisímetros de compensación, la evapotranspiración se mide por el volumen de agua gastada, estos lisímetros tienen normalmente una área de varios metros cuadrados y contienen suelo a granel. En la mayoría de los casos se mantiene un nivel del agua a cierta profundidad constante. Para este fin estos lisímetros estan pro

vistos de un dispositivo especial para la regulación del agua que al mismo tiempo permite la acumulación y medición del agua filtrada por lluvia o riegos ver figurs 5. •

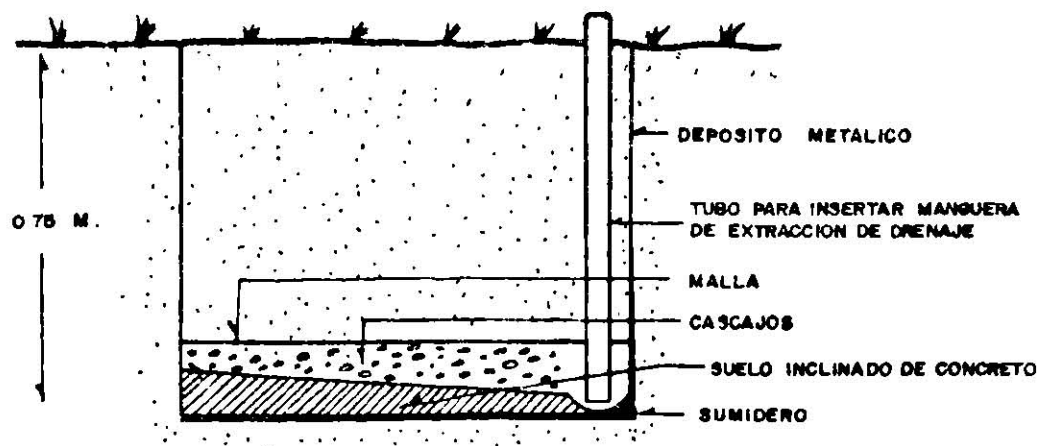


FIGURA 5. TRANSPIROMETRO DE HUDSON .

Estos lisímetros se llaman también transpirómetros potenciales porque debido a los riegos periódicos y al mantenimiento de un nivel constante del agua a cierta profundidad, crean condiciones para efectuar la evapotranspiración con fuerza potencial y se usan para determinar la llamada evapotranspiración potencial en condiciones determinadas, según los datos disponibles, este tipo de lisímetros se utilizan para determinar la evapotranspiración de los cultivos en Francia, Hungría y demás países.

Pouzolet citado por Tzenova (1978) expone la construcción y el principio de funcionamiento de un lisímetro de este tipo ver figura 6.

El mismo es de forma circular y con 1.954 m de diámetro

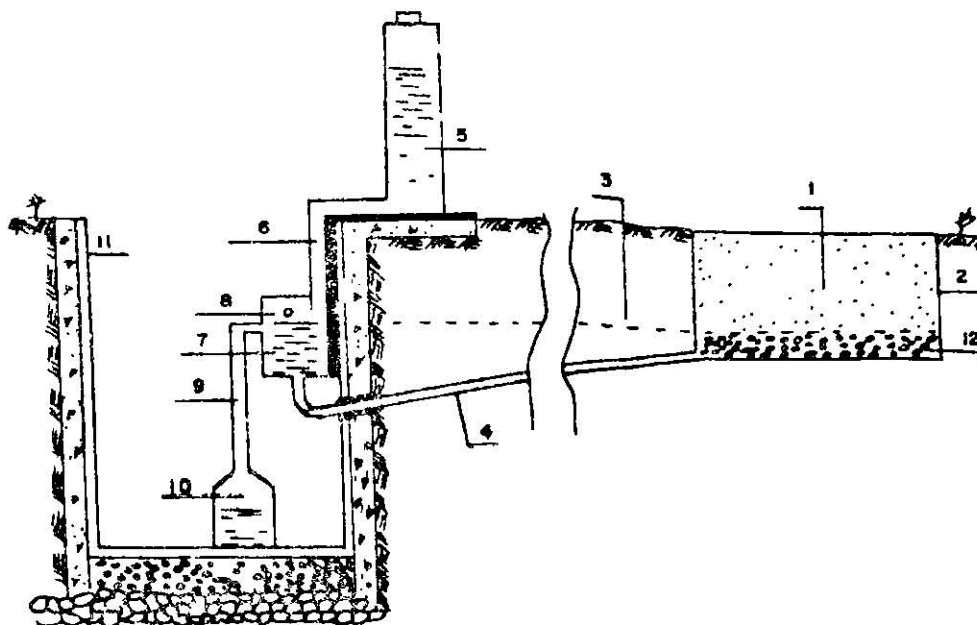


FIGURA 6. LISIMETRO DE COMPENSACION

- |                           |   |
|---------------------------|---|
| 1.- SUELO                 | 7.- RECIPIENTE CON NIVEL CONSTANTE          |
| 2.- PAREDES DEL LISIMETRO | 8 - FLOTADOR CON VALVULA                    |
| 3.- NIVEL DEL AGUA        | 9.- TUBO CONECTOR                           |
| 4.- TUBO CONECTOR         | 10.- RECIPIENTE PARA ACUMULAR ESCURRIMIENTO |
| 5.- TANQUE DE AGUA        | 11.- PAREDES DEL POZO DE OBSERVACION        |
| 6.- TUBO CONECTOR         | 12.- DRENAJE EN EL FONDO DEL LISIMETRO      |

su área es de 3 m<sup>2</sup>. La profundidad es de 1 m.; los 25 cm inferiores están ocupados con gravilla y el resto (75 cm) con suelo. A 60 cm bajo la superficie del suelo se mantiene un nivel constante de agua mediante un dispositivo automático especial para la regulación del agua del tipo carburador (con flotador). Además, existe un sistema para la acumulación del agua filtrada (lluvia y riego).

La necesidad de los cultivos de agua se satisface por:

El mantenimiento de un nivel constante de agua con 60 cm bajo la superficie en el lisímetro y por medio de la ascensión capilar.

El riego superficial que lleva la humedad del suelo a capacidad de campo.

Al investigar la evapotranspiración potencial en las condiciones de Túnez, Damagnez y otros citados por Tezanova (1978) utilizan los lisímetros del mismo tipo que ellos denominan Thornthwaite. Estos lisímetros tienen superficies de 4 m y profundidades de 70 a 60 cm bajo la superficie se mantiene el nivel constante del agua, la evapotranspiración diaria se determina como la diferencia entre el agua entregada diariamente (por riego) sobre la superficie y el drenaje de los lisímetros por una parte y por otra, los excesos de agua (el escurrimiento) hasta la misma hora del día siguiente.

## DESARROLLO LISIMÉTRICO EN MÉXICO

Nuestro país no podía ser la excepción en este tipo de estudios por esta razón a continuación se presenta la cronología de los mismos.

En 1961, Thorthwaite en la Escuela Nacional de Agricultura (Chapingo) desarrolló la estructura lisimétrica de que se tiene conocimiento en México. Las características de este lisímetro son las siguientes: estructura alterada en forma circular cuyas medidas son: 0.90 m de profundidad y 3.0 m de diámetro, la alimentación del agua es por subirrigación, localizándose una caseta cercana a los tanques regadores y por último el material usado para el forro del tanque es de lámina galvanizada, citado por Thornthwaite (1961).

En 1970 en Villa Cardel, Veracruz, en los distritos de riego No. 35 y 65 se construyó la segunda obra lisimétrica cuyas características son estructura alterada de forma rectangular y sus medidas son: 2.42 m de largo, 1.50 m de ancho y 0.90 m de profundidad efectiva. La alimentación del agua es superficial por medio de una tubería. En cuanto al sistema de operación es de entradas y salidas. El sistema de drenaje se compone de grava en un espesor de 0.10 m. Se construyó una caseta cercana al lisímetro donde se coloca el agua aplicada así como la drenada. El material utilizado para el forro del tanque fue lámina de acero, mencionado en el Evapotrans-

pirómetro, Tipo Veracruz II (1970).

En 1972 Trava construyo un lisímetro de estructura inalterada (monolito) en forma rectangular, 0.90 m de ancho 0.90m de largo y 1.70 m de profundidad. El torro del tanque es celamina de acero maleable de 1.16 m. La alimentación del agua es superficial. El sistema de drenaje se compone de un tubo de 1.87 m de alto conectado en la parte baja del lisímetro con el fin de observar el manto freático, citado por Trava (1972) en su tesis de maestría.

En 1973 Caballero en el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, N.L., construyo dos lisímetros (Volumétrico y gravimétrico), citado por Caballero (1973) en su tesis de maestría.

El lisímetro volumétrico, utilizó como tanque de cultivo un tambo de metal cuya capacidad es de 200 lts. Es un lisímetro de estructura alterada y su alimentación es superficial. En el fondo del tanque se tiene una tela de contención donde drena el agua de excedencias y una parrilla de acero a una altura de 30 cm para almacenar el agua. Además tiene un tubo de 2" de diámetro conectado a la parrilla que sirve para medir el volumen drenado y para extraer el agua por medio de una bomba de pistón.

El lisímetro gravimétrico tiene las mismas características que el volumétrico pero además, cuenta con lo siguiente: un tambo exterior con 11 cm de diámetro y 10 cm de (profundidad) (diámetro) alto mas que el anterior, y una celda hidráulica.

lica (neumático de automóvil) parcialmente llena de agua sobre la cual descansa el tambo de 200 lts. La celda hidráulica está conectada a la superficie del suelo por medio de una manguera que parte de su válvula y termina en un manómetro de agua.

En 1974 Ramírez, en el distrito de riego número 17 construyó un lisímetro del tipo gravimétrico como el de Caballero según Ramírez (1974).

En 1974 Peña, en el Colegio de Postgraduados en Chapingo construyó un lisímetro de estructura inalterada y de pesada. El monolito de suelo inalterado con forma cúbica se encuentra aislado en las paredes laterales y en el fondo por un forro metálico. El tanque de observación tiene forma cúbica (1.80 m de ancho, 1.80 m de largo, y 1.50 m de profundidad) y fue orientado en sus lados a los puntos cardinales. El tanque de observación está colocado sobre una balanza mecánica del tipo comercial que está conectada por medio de una palanca de extensión a una celda de carga electrónica. El sistema de drenaje se compone de cuatro placas de porcelana porosa de un bar de succión y se encuentra distribuido en el fondo del tanque de observaciones, cita encontrada en la tesis de maestría titulada Proyecto de Construcción de un lisímetro de Pesada y Estructura Inalterada, por Peña (1974).

En 1977, Alferez, en el Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego, construyó un lisímetro cuyas características son semejantes al que construyó Peña 1974. Las principales

diferencias son las siguientes:

El tanque de observación tiene forma prismática (3.60 m de ancho 1.80 de largo, y 1.80 m de profundidad). El sistema de drenaje es exterior se compone de ocho placas de porcelana porosa de 1 bar de succión, la lectura es proporcionada en mm. La precisión es de 0.1 mm. Cuenta con un túnel de acceso al cual se puede entrar cómodamente, indicado por Alferez (1977).

En 1978 Alferez y Mojarro en el Centro Nacional de Métodos de Riego construyeron una batería de nueve lisímetros de suelo alterado y de entradas y salidas. Los nueve lisímetros tienen las mismas dimensiones que el de pesada que construyó Alferez en 1977, exceptuando la profundidad que en estos es variable de acuerdo a su pendiente longitudinal y Transversal siendo aproximadamente de 1.20 m de profundidad. El suelo que contiene cada uno de los lisímetros pertenece a los tres tipos de suelo mas representativos de la Región Lagunera, con juntamente se construyo un cubo de observación por cada tres lisímetros, según Rodríguez (1981).

#### Aplicaciones prácticas de los lisímetros

M. B. Jones, W. E. Martin: (1968) investigaron el comportamiento de Sulfate de Azufre Elemental sobre tres suelos de California probados en lisímetros resultando que la eficiencia de absorción del azufre por la planta fue mayor cuando se utilizo azufre elemental en partícula fina con respecto a que en el que



utilizó yeso para los dos suelos donde la pérdida de azufre del yeso por lixiviación fue mas grande.

. . . (2)

Hansen K Qashu: (1969) Estimo la evaporación y consumo de agua en lisímetros en donde se estimo la pérdida de agua por evapotranspiración en cinco lisímetros con diferente especie vegetal, se desarrollaron ecuaciones de predicción para estimar los régimenes de agua en el suelo, infiltración y escurrimiento en lisímetros con cubierta vegetal. Los contenidos de húmedad del suelo y escurrimiento calculados por lisímetros con las 5 especies vegetales diferentes dieron buenas estimaciones de las cantidades medidas.

. . . (22)

Rattan Lal y George S. Taylor (1969) Estudiaron los efectos del drenaje y de los nutrientes sobre lisímetros en el campo sobre los rendimientos de maíz y condiciones del suelo, aw investigó en lisímetros de campo el efecto de un nivel freático constante, inundaciones intermitentes, 2 niveles de nitrógeno y 2 micronutrientes (Zn y Cu) sobre los rendimientos de maíz. Resultando que todos los tratamientos de drenaje y nutrientes tuvieron efectos significativos independientes sobre la producción de grano de maíz.

Richard E. Thomas, Warren A. Schwarts y Thomas W. Bendixen (1966) Estudiaron los cambios químicos en el suelo y re--

ducción en la tasa de infiltración al utilizar aguas negras, se usaron lisímetros en laboratorio y campo para investigar el sitio y la naturaleza de la obturación de los poros del suelo al utilizar aguas negras.

Paul C. Eker (1967) estudió el efecto de los cambios de humedad y temperatura del suelo sobre el desarrollo de cultivos de la piña en lisímetros.

Algunos otros autores Cochran (1970), Dixon (1970) y Bianchi han utilizado los lisímetros para medir algunas características como evaporación, evapotranspiración, drenaje y tensión de humedad.

Sigrid Jurgens-Gschwind y Johannes Jung (1978) obtuvieron importantes resultados de pruebas con lisímetros en la instalación de Limburgerhof en 50 años de experimentación y basados en estos resultados se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- 1.- La ayuda metódica más exacta para establecer los nutrientes balanceados para el sistema en el campo de tierra plana permanece la prueba del lisímetro, aunque deberán tener mucho cuidado al interpretar los

resultados para las condiciones prácticas.

- 2.- El filtrado es de una importancia decisiva como medida para transportar las substancias que se mueven dentro de la tierra. La formación de filtrado es influenciada considerablemente por la temperatura, tipo de tierra, cubierta vegetal, e intensidad de las raíces. Hay mas filtrado en los niveles mas profundos cuando la tierra es mas larga, la cubierta vegetal por cosecha es delgada, y hay mucha precipitación (especialmente si se distribuye equivocadamente) ya que la tierra esta pesada cuando hay mucha vegetación. El tipo de cosecha y la manera de cosechar o método para cosechar tiene influencia en estas relaciones.
- 3.- De los nutrientes primarios el nitrógeno es el mas fácil para desplazarse en la tierra, lo que las plantas no toman, se va a la tierra o se esparce por desnitrificación. El nitrógeno que se mezcla con el filtrado se convierte en la forma de nitrato. La mayor parte viene de las reservas en la tierra; unicamente del 5% al 7% viene del fertilizante. Los balances del nitrógeno de la tierra fueron vegetativos, con excepciones bajo circunstancias extremas; la fuerte precipitación distribuida desfavorablemente aumentó la migración de nitrógeno especialmente en tierras ligeras las que estuvieron cubiertas de plantas,

la disminuyeron, el efecto cambiario de fertilización de nitrógeno e irrigación ayudó a contrarrestar las pérdidas de lixiviación.

- 4.- El fósforo el nutriente primario menos móvil en la tierra, la mayor parte de este es absorbido por la cosecha. La cantidad relativamente pequeña que es lixiviada está totalmente independiente del tipo de cosecha y la cantidad y forma de fertilizante. Esto varía sin embargo, con el tipo de tierra y la cantidad de agua suministrada. Por lo tanto el incremento de fósforo en la capa frecuentemente da un balance P positivo en la tierra.
- 5.- El potasio es mas móvil en la tierra que el fosfato, pero es menos que el nitrógeno de nitrato. Las cantidades de potasio extraídas de las plantas y el filtrado fueron relativamente altas en Limburgerhof, pero se extrajeron del fertilizante únicamente cuando las capas de potasio eran muy pesadas. Los balances K de las tierras generalmente fueron negativos.
- 6.- En climas húmedos, las cantidades de calcio considerablemente exceden de lo que se extrajo de las cosechas aún con cosechas que consumen cal. A la larga las pérdidas de filtración del fertilizante aplicado son distintamente influenciadas por la forma del fertilizante, aunque el agua de irrigación parcialmente contrarrestan las pérdidas, los balances Ca O

de la tierra fueron muy negativos.

- 7.- El magnesio se comporta como el calcio en la tierra, pero es mucho menos móvil. La cantidad tomada por la cosecha, excede de la cantidad lixiviada. Ya que el sodio, el sulfuro y el cloro están mas sujetos a la lixiviación, los balances de la tierra para estos nutrientes son negativos excepto para las áreas cerca de las zonas industriales, en el caso de los micronutrientes las pérdidas de filtración fueron insignificantes en comparación a las cantidades extraídas por las cosechas.
- 8.- Los nutrientes de los fertilizantes orgánicos tienen que ser mineralizados en la tierra antes de que sean tomados por las plantas. Ya que el curso de este proceso no necesariamente corresponde con el crecimiento vegetativo, las pérdidas por lixiviación especialmente para el nitrógeno son generalmente mucho mas severos que las de fertilizantes minerales. El abono verde, por otro lado tiene una influencia positiva en el estado nutriente de la tierra por crear un efecto de rotación favorable y aumenta la masa de vegetación restante en la tierra.
- 9.- Ninguno de los herbicidas hormonales (2-4-d, 2-4-D-P, MCPA, CPD 2-4-5-T) fueron detectados analíticamente (Límite de determinación 0.5 ppb) en cualquier muestra de filtrado.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a la Revisión de Literatura efectuada en las páginas anteriores podemos deducir las siguientes conclusiones.

Los lisímetros son aparatos que se utilizan para el estudio del Balance Hídrico.

Con la utilización de los mismos se pueden obtener datos precisos de la Evapotranspiración Potencial y Real de los cultivos, con distinto nivel de aguas subterráneas.

Se utilizan para el estudio de la intensidad y la cantidad de infiltración del agua de precipitaciones y de riego .

Tienen mas ventajas los lisímetros con área mayor donde los errores debido a la influencia lateral son menores.

La profundidad de los lisímetros deben garantizar condiciones normales para el desarrollo del sistema radical de las plantas.

Cuando se investiga la infiltración del agua (de precipitaciones y de riego) y el aprovechamiento de las aguas subterráneas para satisfacer las necesidades de agua de los culti-

vos, resultan mas favorables los lisímetros que contienen sue  
lo en estado inalterado (monolito).

Para determinar la evapotranspiración potencial de las plantas se pueden usar con éxito lisímetros con suelo a gra--  
nel (estructura alterada).

Por medio de los lisímetros flotantes o de pesada se pue--  
den obtener también datos para la evapotranspiración de las plantas en períodos breves de tiempo (horas); pero estos lisí--  
metros tienen la construcción mas compleja y un costo mayor. Estas estructuras son utilizadas solamente en Centros de in--  
vestigación.

Es preciso respetar una serie de condiciones en la cons--  
trucción, el montaje y la explotación de los diferentes tipos de lisímetros.

## BIBLIOGRAFIA

1. Aguilera Contreras Mauricio. 1980. Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. Universidad Autónoma Chapingo.
2. Caballero, C.H.M. 1973. Diseño y Operación de Lisímetros Tesis de Grado Programa de Graduados en Agricultura I.T.E. S.M.
3. Collins M; Suelo Atmósfera y Fertilizantes Fundamentos de Agricultura Moderna. Editorial Aedos Barcelona.
4. Custodio Gimena, Emilio. 1976. Hidrología Subterránea comp. por Emilio Custodio Gimena y Manuel Llamas. Barcelona Omega.
5. Cuánto, Cuando y como Regar. Memorandum Técnico N°. 195 al 1°. de Marzo de 1963. SARH.
6. Chang J. H. 1968. Climate and Agricultural and Ecological Survey, University of Hawai, Aldine Publishing, Company Chicago.
7. Domínguez García Francisco Trejo 1971. El riego su implantación y su técnica. Editorial Dossat.
8. García Castillas Ignacio. Diseño y Evaluación de Sistemas de Irrigación. Presurizados Notas de clase para Departamento de Riego y Drenaje UAAAR Buenavista, Saltillo, Coah. México.
9. Israelsen Hansen. 1975. Principios y Aplicaciones del Riego. Editorial Reverté, S.A.
10. Hillel D., Gairos S. Fal-Kenflus V. and Rawitz 1969. New Design of a low Cost Hydraulic Lysimeter System for field measurement of Evapotranspiration. The Israel Journal of Agricultural Research Vol. 19 N°. 2.
11. Jones M. B. E. E. Martín and W. A. Williams. 1968, Behavior of Sulfate Sulfor and Elemental Sulforin Three California Soils in Lysimeters Soil Science. Vol. 32 N°. 4.
12. Lemon, E. R. Gloser A. H. and Satter White, L. F. 1957 Some Aspects of the relation-ship of Soil-Plant and Meteorological Factors to Evapotranspiration-Soil Science 21.
13. Luque Jorge Alfredo. 1979. Hidrología Agrícola Aplicada. Editorial Hemisferio Sur.



14. Metodología para la determinación y Cálculo del Uso Consuntivo del agua. Memorandum Técnico S.A.R.H. N° 290 al 1° Febrero de 1971.
15. Peña P. F. 1974. Proyecto y Construcción de un lisímetro de Pesada y Estructura Inalterada. Tesis de Maestro en Ciencias E.N.A. Chapingo. Colegio de Postgraduados. Chapingo México.
16. Qashu Hansan K. 1969. Infiltration and Water Depletion in Lysimeters (Vol. 33 N° 5) Soil Society of America
17. Rattan Lal and George S. Taylor. 1969. Drainage and Nutrient Effects in a Field Lysimeters Study: I Corn Yield and Soil Conditions Soil Science Society of America Vol. 33 N° 6.
18. Rodríguez Trejo Marfa del Rosario. 1981. Lisímetros una Recopilación Bibliográfica para obtener el título de Ing. Agr. Especialidad en Irrigación U.A.A.N. Buena Vista, Saltillo
19. Sigrid Jurgens Gschwend y Johannes Jurg. 1978. Results of Lysimeter Trials at the Limburgerhof Facility 1927--1977: The most important Findings from 50 years of Experiments.
20. Tanner C. B. 1967. Measurement of Evapotranspiration en Hagan et al (ed) Irrigation of Agricultural Lands, Agronomy 11: 534-555 A.M. Soc. of Agronomy Madison Wis EUA.
21. Trava M. J. L. 1972. Obtención de valores de evapotranspiración en trigo mediante la utilización de Lisímetros. Tesis de Maestro en Ciencias E.N.A. Chapingo. Colegio de Postgraduados Chapingo México.
22. Tozanova L. K. 1978 Los lisímetros y su Utilización (Informe de Recopilación) Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje Capdevilla, Boyeros. Cuba.
23. Winter E. J. 1979. El agua, el suelo y la planta. Editorial Diana.
24. Bruce Withers/Stanley Vipond, 1978. El riego Diseño y práctica. Editorial Diana.

## FE DE ERRATAS

Página	Línea	Dice:	Debe decir:
5	2	Introducido como Thornthwaite	Introducido por Thornthwaite
13	9	Evapotranspiración potencial median en mm/día	Evapotranspiración potencial media en mm/día
15	7	UC = Uso Consuntivo, m	UC = Uso Consuntivo, mm
23	14	También se encuentra ahí una tubería	También se encuentra ahí una tubería
33	20	de otra manera no podría dría generalizarse los resultados obtenidos	de otra manera no podría generalizarse los resultados obtenidos
42	24	de hormigón armado se c-locas suelo a granel	de hormigón armado se coloca suelo a granel
47	16	Mediante 12 consolar radiales (2) que se apoyan en los soportes	Mediante 12 consolas radiales (2) que se apoyan en los soportes
51	3	ver figurs 5	ver figura 5
54	5	desarrollo la estrucutura lisimétrica	desarrolla la primera estructura lisimétrica
54	15	cuyas caracterpisticas	cuyas características
54	23	fué lámina de acerdo	fue lámina de acero
55	21	medir el columen drenado	medir el volumen drenado
55	26	y 10 cm de (profundidad) (diámetro) alto más que el anterior	y 10 cm de profundidad más que el anterior
56	12	se encuentra ailado en las paredes laterales	se encuentra aislado en las paredes laterales
57	22	Sulfate de Azufre Elemental	Sulfato de Azufre Elemental
58	15	aw investigó en lisfmetros	se investigó en lisímetros

Página	Línea	Dice:	Debería decir.
62	23	(2-4-d, 2-4-D-P,)	(2-4-D, 2-4-D-P)
62	25	(Límite de determinacon 0.5 p.p.b)	(Límite de determinaci6 0.5 p.p.m.)
63	14	del sistema radical	del sistema radícula

