

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

ESCUELA DE AGRICULTURA

**Proyecto de un Lisímetro de Estructura
Inalterada y de Drenaje**

T E S I S

Que para obtener el título de :

INGENIERO AGRONOMO

p r e s e n t a :

FRANCISCO MOJARRO DAVILA



ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

DEDICATORIA

A mis padres

Ramón Mojarro Gonzalez
Agustina Dávila de Mojarro

A mi esposa

Ma. Guadalupe

A mis hijos

Marco Tulio
Gabriela Yadira

A mis hermanos

A mi escuela

DESEO EXPRESAR MI AGRADECIMIENTO

M. C. Julio Espinoza Hidalgo, Catedrático de la Escuela de Agricultura de la Universidad de Guadalajara., por su valiosa dirección, gran interés y capacidad de trabajo en la realización del presente proyecto.

C. Ing. Rigoberto Parga Higuera, Catedrático de la Escuela de Agricultura de la Universidad de Guadalajara., por su paciencia en la revisión de este trabajo.

C. Ing. Eduardo Gomez Villareal, Catedrático de la escuela de Agricultura de la Universidad de Guadalajara., por la revisión e importantes indicaciones recibidas para este proyecto.

M. C. Efraim Peña Peña, Director del CENAMAR, por su valiosa, decidida y entusiasta colaboración.

Ing. José Angel Yuen Castillo, Jefe de la Oficina de Ingeniería de Riego y Drenaje en el Distrito de Riego No. 34., por las facilidades prestadas para la elaboración de este trabajo.

Sr. Romualdo Gurrola del Real, por su colaboración en este proyecto.

INDICE

	Página
1.- INTRODUCCION	1
2.- REVISION DE LITERATURA	4
2.1.- METODOS PARA DETERMINAR LA EVAPOTRANSPIRACION EN LOS CULTIVOS	4
2.2.- DEFINICION DE LISIMETRO	18
2.3.- VISITAS A INSTALACIONES LISIMETRICAS	19
2.4.- ORDEN CRONOLOGICO Y EVOLUTIVO DE LA LISIMETRIA	21
2.5.- OBJETIVO DE LOS ESTUDIOS LISIMETRICOS	28
2.6.- TIPOS DE LISIMETROS	29
2.7.- CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO	30
3.- MATERIALES Y METODOS	38
3.1.- PROYECTO	38
3.1.1 DESCRIPCION DEL PROYECTO	38
3.1.2 CUBICULO DE OBSERVACION	41
3.1.3 CASITA DE MEDICION	42
3.1.4 ESTACION AGROCLIMATICA	43
3.1.5 SISTEMA DE REPOSICION DE LAMINA CONSUMIDA	44
3.1.6 SISTEMA DE DRENAJE	45
3.2.- CONSIDERACIONES QUE SE TOMAN EN CUENTA PARA LA CONSTRUCCION Y OPERACION DEL LISIMETRO - DE ESTRUCTURA INALTERADA Y DE DRENAJE DE AC- UERDO A LA LITERATURA REVIZADA Y OBSERVA- CIONES PERSONALES.	46
3.2.1 PROGRAMA DE ACTIVIDADES	46
3.2.2 DETERMINACION DE CAPACIDAD DE CAMPO, PUNTO DE MARCHITAMIENTO PERMANENTE, CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA, INFILTRACION BASICA, DENSIDAD A PARENTE, CURVAS DE RETENCION DE HUMEDAD Y - TEXTURA.	47

	Página
3.2.3 EFECTUAR UN ANALISIS QUIMICO DEL SUELO Y AGUA DE RIEGO.	48
3.2.4 ORIENTACION	48
3.2.5 EXCAVACION	49
3.2.6 MONOLITO	49
3.2.7 COLOCACION DE LAMINAS EN LAS PAREDES DEL MONOLITO	50
3.2.8 EXCAVACION EN LA BASE DEL MONOLITO	51
3.2.9 COLOCACION DE LA CHAROLA Y SISTEMA DE DRENAJE	52
3.2.10 REPOSICION DE CAPAS Y COMPACTACION	52
3.2.11 EXCAVACION Y CONSTRUCCION DE LA CASETA DE MEDICION	52
3.2.12 ACONDICIONAMIENTO DE ACCESORIOS EN LA CA SETA DE MEDICION	53
3.2.13 COSTOS	53
3.2.14 OPERACION	55
CONCLUSIONES	56 A
BIBLIOGRAFIA	57
APENDICE DE PLANOS	60-66

APENDICE DE PLANOS

	página
1.- EVAPOTRANSPIROMETRO DE THORNTHWAITE	60
2.- EVAPOTRANSPIROMETRO IRRIGADO POR ASPERSION	61
3.- LISIMETRO VOLUMETRICO (CABALLERO)	62
4.- LISIMETRO GRAVIMETRICO (CABALLERO)	63
5.- LISIMETRO DE PESADA (PEÑA PEÑA)	64-65
6.- LISIMETRO DE ESTRUCTURA INALTERADA Y DE DRENAJE (PROYECTO)	66

I N T R O D U C C I O N

Las primeras investigaciones cuidadosas que se realizaron para determinar el consumo de agua para las plantas, datan de 1848. Sin embargo a últimas fechas los investigadores se han abocado a la experimentación para obtener fórmulas empíricas que correlacionan factores meteorológicos con evapotranspiración en los cultivos. Tales fórmulas no son aplicables a nuestros Distritos de Riego; primero porque la experiencia se realizó bajo condiciones diferentes a las nuestras; segundo, no contamos con los instrumentos necesarios o bien los registros de datos meteorológicos son insuficientes.

Existe otra clase de métodos indirectos para determinar consumos de agua que son inseguros, imprecisos y además su manejo es problemático.

Considerando la necesidad urgente de conocer con precisión las demandas hídricas totales por la planta, así como la fase fenológica de mayor demanda de agua; lográndose con esto contar — con información que nos permita hacer una programación racional — del uso del agua de Riego vital para nuestra producción agrícola — en nuestros Distritos de Riego.

Por todo lo anterior estoy presentando éste proyecto —

que consiste en la construcción de un LISIMETRO de estructura inalterada de entradas y salidas que llena los requisitos de exacto, - práctico y económico y debe de construirse en todos los Distritos de Riego; pues además de poder realizar investigaciones en cuanto agua-suelo-planta-atmósfera; nos permitirá evaluar los métodos empíricos de medida y predicción de la evapotranspiración de los cultivos, trabajos sobre escurrimientos superficiales, determinar la lluvia efectiva, problemas de percolación, estudios de fertilidad, estudios de salinidad, etc.

Además al proyecto lo acompaña una estación agroclimática de primer orden, por considerar que las necesidades de agua por la planta dependen de algunas variables climáticas, como son: energía recibida-reflejada, velocidad de viento, humedad relativa, temperatura e insolación.

Esta estación debe instalarse lo más cerca del Lisímetro para que con los resultados de ambos, realizar correlación entre evapotranspiración potencial obtenida en la estación agroclimática.

De realizarse este proyecto sería el primero en el país dentro de su categoría; por considerar entre algunas ventajas las siguientes: Mayor área cultivable, reduce el efecto de orilla, po

see estación agroclimática, cubículo de observaciones y de estructura inalterada.

2.- REVISION DE LITERATURA

2.1 METODOS PARA DETERMINAR LA EVAPOTRANSPIRACION EN LOS CULTIVOS.

Al proceso del movimiento de agua de la corteza de la tierra a la atmósfera en forma de vapor se le llama evaporación. Se incluye en dicho proceso la evaporación de la superficie del suelo, la transpiración del agua por las plantas y el flujo neto de agua que se encuentra a través de las interfases aire-líquido de los espacios porosos del suelo. (4)

Durante el período de desarrollo de un cultivo hay un continuo movimiento del agua de riego, pasando desde el suelo al interior de las raíces, sube por los tallos y sale por las hojas de la planta; esta velocidad de movimiento del agua varía de 0.3 a 1.8 metros por hora, pudiendo aumentar enormemente en condiciones de tiempo ventoso, atmósfera seca y temperaturas altas. Si la velocidad del agua evapotranspirada excede a la del agua absorbida por las raíces, se pone en marcha el proceso de marchitamiento. La fuente de calor ideal para la transpiración es el sol.

El total de las pérdidas de agua por la acción de la evaporación conjuntamente con la transpiración de las plantas, puede ser llamada evapotranspiración.

El uso consuntivo, es igual a la diferencia entre la can

tividad de agua aplicada a una superficie de suelo y la que drena a través de una base permeable.

El uso consuntivo se ve afectado por muchos factores. - Algunos son producidos por el hombre, otros son naturales. Los más importantes son los factores naturales como clima, suelo y la topografía. Entre los climáticos se incluyen la precipitación pluvial, radiación solar, temperatura, humedad, velocidad del viento, durante la estación de crecimiento. (4)

Los factores determinados por el hombre pueden ser: can tidad de agua aplicada, calidad de la misma, métodos de siembra, va riedades usadas, programa de fertilización, etc. (4)

La transpiración es la pérdida de agua por las plantas - en forma de vapor. Esta agua puede estar localizada en las paredes celulares en forma líquida, en forma de gas en los espacios interce lulares ocupados por aire y difundida fuera de la hoja. La mayoría del vapor escapa a través de los estomas abiertos, pero una parte - puede difundir a través de la cutícula. Por esta razón se conocen dos tipos de transpiración que son la estomática y la cuticular. Asimismo entre los factores que afectan la transpiración, algunos - son causa del medio ambiente y fisiológicos o estructurales. En -- los primeros se encuentran la humedad relativa, temperatura, pre-

sión de vapor, viento, luz y factores del suelo. Entre los segundos está el área foliar, modificaciones estructurales, almacenamiento de agua en los tejidos y la resistencia protoplasmática. (11)

Los métodos para determinar la evapotranspiración pueden ser divididos en directos e indirectos.

MÉTODOS DIRECTOS

- 1.- Método del lisímetro.
- 2.- Método gravimétrico.
- 3.- Método de integración.
- 4.- Método de entradas de consumo de agua.
- 5.- Métodos aerodinámicos.
- 6.- Método del balance de energía.
- 7.- Método combinado de Mc Ilroy.

1.- MÉTODO DEL LISÍMETRO.

El uso de los lisímetros implica, efectuar medidas de evapotranspiración potencial (máxima posible bajo condiciones micro-meteorológicas dadas) ó medidas de evapotranspiración actual, incluyendo períodos de secado que son necesarios y determina la estructura de la vegetación (cultivo, densidad, etc.) profundidad radicular y por último los períodos en los cuales la evapotranspiración se va

a medir (cada hora, diariamente semanalmente, etc.) (4)

2.- METODO GAVIMETRICO.

Consiste en determinar en el laboratorio, pesando en una báscula diferentes muestras de un suelo, dadas las variaciones de humedad que ocurren en cada una de las diversas capas del perfil, - hasta una cierta profundidad o la que alcancen las raíces del cultivo para el que se trata de obtener el consumo de agua del complejo planta-suelo. (15)

En función de las características del suelo y de las variaciones de humedad es posible hacer la determinación de la cantidad de agua expresada como lámina en centímetros, consumida en un tiempo dado. Se puede calcular su lámina de riego que indica c/u - de las literales.

$$L = APs \times Da \times Pr.$$

3.- METODO DE INTEGRACION.

Consiste en evaluar la transpiración total de la cubierta vegetal con base en los datos de la transpiración individual de las diversas especies existentes, es decir, es la suma del producto del consumo unitario de cada cultivo por la superficie que ocupa, mas el consumo unitario de la vegetación espontánea multiplicado -- por su superficie. (1)

4.- METODO DE ENTRADAS Y CONSUMO DE AGUA.

La aplicación de este método es para grandes extensiones y requiere de la expresión:

$$U = (I + P) + (G_s - G_e) - R$$

en donde:

U = consumo de agua

I = volumen que entra en la cuenca durante el año

P = Precipitación anual sobre el suelo

G_s = Agua subterránea acumulada al principio del año

G_e = Agua subterránea existente al final del año

R = Salidas de aguas anuales.

Todas éstas magnitudes representan volúmenes y son medidos en metros cúbicos. (1)

5, 6 y 7.- METODOS MICROMETEOROLOGICOS.

Estos métodos proporcionan una estimación de la densidad de flujo del vapor de agua en la capa límite atmosférica y tiene — ventajas muy importantes aunque también sus limitaciones por lo que toca a cuándo y dónde aplicarlos, además de las dificultades de tipo instrumental. Sus variantes más empleadas son los métodos en — perfil (también denominados métodos aerodinámicos) los métodos del balance de energía y la combinación de ambos. (15)

METODOS INDIRECTOS

- 1.- Método de Charles R. Hedke
- 2.- Método de Thornthwaite
- 3.- Método de Blaney-Criddle
- 4.- Método de Penman
- 5.- Método de Grassi-Christiansen
- 6.- Método racional
- 7.- Método de Lowry-Johnson
- 8.- Método de Turc
- 9.- Método de Makkink
- 10.- Método de Hargreaves
- 11.- Método de Oliver
- 12.- Método de Jensen y Haise.

1.- METODO DE CHARLES R. HEDKE.

Una de las primeras fórmulas prácticas para determinar la evapotranspiración la obtuvo el Dr. Charles R Hedke y es la siguiente:

$U. C. = K H$ en donde:

U. C. = Uso consuntivo o evapotranspiración

H = Calos disponible en grados-días

K = Constante que depende del cultivo (11)

2.- METODO DE THORNTHWAITTE.

C. W. Thornthwaite buscando una expresión simple que empleara datos climatológicos accesibles, desarrolló una fórmula empírica basada en la latitud y la temperatura, demostrando teóricamente que ésta última, constituye un buen índice de la energía en un lugar específico.

$$E_t = 1.6 \left(\frac{10 T}{I} \right)^a \quad \text{en donde:}$$

E_t = Evapotranspiración mensual no ajustada (para meses - de 30 días de 12 horas de luz), en cm.

T = Temperatura media mensual en °C

a = Constante que depende del lugar y que es función del índice de eficiencia anual de temperatura.

I = Índice anual de calor.

3.- METODO DE BLANEY-CRIDDLE.

El método de Blaney-Criddle (1950) fué desarrollado para las condiciones del oeste de los Estados Unidos, relacionado valores reales (actuales) de uso consuntivo, con la temperatura media mensual, t , y el porcentaje mensual de las horas anuales del brillo solar, p . La fórmula general, que permite determinar el uso consuntivo o evapotranspiración del mes.

U. C. = K f en donde:

U. C. = Uso consuntivo

K = Coeficiente mensual de cultivo

f = Factor de temperatura y luminosidad.

4.- METODO DE PENMAN (15)

Penman (1948) ha combinado la ecuación del balance de energía, con la ecuación aerodinámica, para obtener la expresión que permita calcular la evapotranspiración.

Con la fórmula de Penman se ha obtenido un alto coeficiente de correlación r y la recta que represente la ecuación de regresión, se encuentra muy próxima a la de 45°.

$$E_o = \frac{R_n + E_a}{+} \quad \text{En donde:}$$

E_o = Es la pendiente de la curva de tensión de vapor vs. temperatura.

R_n = Es la radiación neta, en mm/día

= Es la constante psicrométrica, 0.27 mm Hg/F

0.49 mm Hg/C

E_a = Es el poder evaporante de la atmósfera obtenido por medio de la ecuación aerodinámica, en mm/día. (11)

5.- METODO DE GRASSI-CHRISTIANSEN.

Trabajando con los datos compilados por Jensen-Haise (1962) pero incluyendo la radiación al tope de la atmósfera, R , en lugar de la radiación solar, R_s y un mayor número de factores meteorológicos obtuvieron la siguiente ecuación:

$$E_t = 5.46 C_R C_{Clc} C_T C_{TD} F, \text{ mm/día} \quad \text{en donde:}$$

$$C_R = 0.1824 + 0.0575R$$

$$C_{Clc} = 1.15 - 0.05C_{lc}$$

$$C_T = 0.62081 + 0.02633T - 0.0003682T^2$$

$$C_{TD} = 0.936L + 0.007670TD$$

$$C_{Vc} = 0.0942 + 0.02774 Vc - 0.0002126 Vc^2$$

R = Es la radiación teórica al tope de la atmósfera en mm/día.

C_{lc} = Es la nubosidad expresada en décimos

T = Es la temperatura en °C

Vc = Es el porcentaje de la duración del ciclo vegetativo.

F = Es el factor de cultivo

C_{Vc} = Es el coeficiente del ciclo vegetativo adimensional

(11)

6.- METODO RACIONAL.

Este método también se conoce como el de la curva única de Hansen y consiste en poner la evapotranspiración potencial en función

de un coeficiente vegetativo aplicado a un factor climático. Deben conocerse las etapas de crecimiento, floración y fructificación, — pues considera las demandas de agua inherentes y proporcionales a dichas etapas. (1)

7.- METODO DE LOWRY-JOHNSON.

Estos investigadores siguiendo los pasos del Dr Hedke encontraron una relación lineal entre la evapotranspiración y el calor efectivo, definiéndolo como la acumulación en días grados de las temperaturas máximas sobre un mínimo que fijaron en 0°C, durante el período vegetativo del cultivo.

La relación que encontraron, en función del clima del lugar y del cultivo, tiene dos límites, uno superior que vale:

$$E_t = 0.000095 C_e + 0.335$$

y el inferior de:

$$E_t = 0.000069 C_e + 0.21$$

con valor medio de:

$$E_t = 0.00008 C_e + 0.28$$

en donde:

E_t = Evapotranspiración en metros

C_e = Calor efectivo en el período en °C. (11)

8.- METODO DE TURC.

En Francia, L Turc en 1954 obtiene una fórmula empírica que expresa el poder evaporante del aire como una función de la temperatura promedio y de la radiación solar o las horas de fotoperíodo. Expresó la evaporación real como una función de la humedad disponible incluyendo precipitación y agua de riego y el poder evaporante del aire. Su fórmula la basó en el balance del agua de una cuenca y en datos lisimétricos recolectados durante una cantidad de años en Rothamstead y Versailles. (6)

9.- METODO DE MAKKINK.

En 1957, G. F. Makkink desarrolló en Holanda una fórmula empírica, empleando datos de lisímetros para la evapotranspiración potencial de pasto de poca altura. Este se basa en mediciones de la radiación solar ponderadas de acuerdo con la temperatura del aire. Mikkink consideró que a mayor temperatura se emplea mayor energía solar, pero afecta la temperatura de coeficientes que dependen de características del viento. (1)

10.- METODO DE HARGREAVES.

La fórmula de Hargreaves, (1956), permite calcular el uso consuntivo mensual; en función de la temperatura media, la hume

dad relativa media al medio día y la duración del día dependiente - de la latitud. Ultimamente en 1966, su autor ha introducido factores adicionales de corrección de la fórmula y una tabla que incluye coeficientes para tener en cuenta el efecto del cultivo.

$E_t = 17.37 kdT (1.0 - 0.01 Hn)$ en donde:

k Es el coeficiente empírico del cultivo

d Es un coeficiente mensual de duración del día

T Es la temperatura media mensual

Hn Es la humedad relativa media, al medio día (11)

11.- METODO DE OLIVER.

Oliver en 1969 para el cálculo de la evapotranspiración potencial estableció:

$E_{TP} = (T - T_w) \frac{L_p}{L}$ en donde:

$$L = \frac{S}{S_u} \quad \bar{L} = \frac{\bar{S}}{\bar{S}_u}$$

S = Radiación total bajo cielo despejado para latitudes de una estación en un mes particular.

S_u = Componentes vertical de S

\bar{S} = Promedio de S en 12 meses

\bar{S}_u = Promedio de S_u en 12 meses

T = Temperatura media mensual (°C)

T_w = Temperatura media mensual del bulbo húmedo. (16)

14.- METODO DE JENSEN Y HAISE.

El procedimiento de Jensen y Haise (1963), ha sido desarrollado para estimar la evapotranspiración que se produce en período de una semana, en función de los registros de radiación solar, R_s . Para diferentes cultivos, dichos autores han representado la relación E_t/R_s .

$$E = \left(\frac{E_t}{R_s} \right)_m R_s \quad \text{en donde:}$$

$\left(\frac{E_t}{R_s} \right)_m$ = Es el valor promedio de la relación, correspondiente a un período específico adimensional.

R_s = Es la radiación solar, promedio del período correspondiente expresada en altura equivalente de agua evaporada, en mm/día. (11)

Un largo número de ecuaciones empíricas y semiempíricas, han sido propuestas para estimar la evapotranspiración usando datos climatológicos disponibles. Cada una de estas ecuaciones también tienen ciertas limitaciones, como pueden ser, su carácter especifi-

co para sistemas individuales, o bien ser muy generales.

Dado las variables que intervienen en la evapotranspiración real, la comprobación de las fórmulas han sido planteadas en condiciones de una máxima dependencia de los factores físicos, tal como se presenta con la evapotranspiración potencial. Para ello se emplean lisímetros con una completa cobertura vegetal, sin limitaciones de humedad edáfica. (11)

APARATOS QUE NOS MIDEN LOS CONSUMOS DE AGUA POR LA PLANTA EN FORMA INDIRECTA

- 1.- Impedancia (Bloques de Yeso)
- 2.- Tensiómetro
- 3.- Aspersor de neutrones
- 4.- Acuatrón
- 5.- Atmómetro

Todos éstos aparatos tienen limitaciones muy serias ya que son equipos muy costosos, frágiles, requieren de calibración y tienen una vida media muy corta. (7) (8) (14) (15) (18)

2.2. DIFINICION DE LISIMETRO.

Es un instrumento para medir la cantidad de agua filtrada en el suelo. (9).

Lemon y otros (1957) cita: "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. (17).

Hillel y otros (1969) cita: Un lisímetro es un recipiente grande lleno de suelo, generalmente localizado en el campo y - en el cual las condiciones suelo-agua-planta pueden ser reguladas y medidas más conveniente y precisamente que en el perfil de suelo natural (17).

El lisímetro es un aparato que mide en forma directa -- por procedimiento gravimétrico, la cantidad de agua consumida por un cultivo (1).

Trava (1972) menciona: Los lisímetros pueden ser definidos como estructuras que contienen una masa de suelo y diseñados de tal forma que permitan la medida del agua que drena a través - del perfil del suelo. (21).

Caballero (1973) cita: Un lisímetro es un recipiente en el cual se coloca un volumen de suelo y puede ser sembrado con es pecies vegetales y localizado aisladamente, junto con una ad yacente que lo circunde con el mismo suelo y vegetación.(4).

Peña Peña (1974) cita: Son estructuras adaptadas para - contener suelo y acondicionadas para evaluar cuantitativamente - los componentes del balance hidrológico, generalmente localiza-- das en campo para representar las condiciones naturales del suelo y el medio ambiente. (17).

2.3. VISITAS A INSTALACIONES LISIMÉTRICAS.

En 1975 visité dos instalaciones lisimétricas diferen-- tes en su construcción.

La primera instalación visitada se encuentra en Villa - J. Cardel Veracruz la cual fué construída en abril de 1970 por los Distritos de Riego No. 35 y 65. A continuación describo el - evapotranspirómetro tipo Veracruz II de Estructura Alterada y de Drenaje.

La adaptación principal de este aparato, consiste en un tanque de cultivo de 2.42 m. de largo, 1.50 m de ancho y 1.20 m.

de alto, la superficie de cultivos es de 2.60 metros cuadrados, - ya que se descuentan pequeños chaflanes, como se puede observar - en el plano adjunto, de la superficie del terreno, sobresalen 20 cm. con el fin de evitar que aguas pluviales o de riego entren o salgan de la parte cultivada en estudio; el horizonte en observación es de 90 cm. de tierra y para drenaje se dejan en la parte interior 10 cm. en el que se colocará grava de $1\frac{1}{2}$ pulgada separándola de la tierra con tela de mosquitero de plástico.

El suelo no se alimenta de agua por sub-irrigación como en el tipo Thornthwaite, sino superficialmente por medio de una red de tubería y pequeños tubos de descarga repartidos en la superficie del suelo para aplicar el agua en forma uniforme, el agua es proporcionada por un tanque llamado de alimentación para su construcción se utilizó un tanque de 200 litros de los que existen en el comercio, al que se adapta una escala transparente para medir las láminas de agua aplicadas.

La escala se calcula en cms. de lámina aplicada al tanque de cultivos, en este caso por cada centímetro de lámina de riego hay que tomar 10.37 cm. del tanque alimentador.

Y cuenta con un cubículo de observación para registrar los avances de humedad y la profundidad de las raíces.

La diferencia entre el valor de la lámina de agua aplicada al suelo y la lámina medida en el tanque de excedencias de riego nos da el valor de la evapotranspiración. (10).

La segunda instalación visitada se encuentra en los terrenos del colegio de postgrado de la rama de Riego y Drenaje de la UNCH.

Este lisímetro fué construido en 1974 por el Ing. Efrén Peña Peña, las características principales de este instrumento son: de estructura inalterada y de pesada (50 gr. peso equivalente a 0.0154 mm. de lámina de agua.)

Cuenta con una estación agrometeorológica de primer orden, tiene orientación geográfica, y sus medidas son de: 1.80 x 1.80 x 1.50 mts., túnel de acceso, báscula electrónica, sistema de drenaje que se compone de 4 placas de porcelana porosa de un bar de succión, se registran consumos de agua horarios. (17)

2.4. ORDEN CRONOLÓGICO Y EVOLUTIVO DE LA LISIMETRÍA.

La flotación y la aplicación del principio de Arquímedes, han hecho relativamente poco costosa la realización de medi-

das de evapotranspiración en grandes masas de suelo que han sido pesadas. La operación de lisímetros flotantes, usándose agua para su flotación, fueron descritos por King, Tanner Suomi.

Experiencias con un par de lisímetros de este tipo indicaron que la desventaja principal de éstos aparatos es la gran cámara de aire que se requiere para proporcionar la suspensión de las masas de suelo. (2).

Un método gravimétrico apoyado en la utilización de una balanza, para medir pequeños cambios de peso en masas hasta de 10 toneladas, han sido desarrollados en la Universidad de Arizona, en donde se tenía una instalación específicamente diseñada para medir evapotranspiración de diversos cultivos vegetales durante períodos de crecimiento activo, ya sea bajo irrigación o sequía.

El tanque de 3.60 metros de diámetro y descansa en tres celdas de peso espaciadas equidistantemente y cercanas al perímetro. El tanque es llenado con suelo para el crecimiento de plantas. Este tipo de lisímetro puede registrar cambios de peso de una libra a dos. (3).

El desarrollo de los primeros estudios lisimétricos según Castany (1971) fueron realizados en París por P. de la Hire en 1688.

Posteriormente se realizaron instalaciones en Manchester (1795), Ginebra (1796), Orange (1821), Nash Mills en Gran Bretaña (1836), Goerlitz Alemania (1853), Erlanger (1867) Munich (1868) y en Holanda en Oude Wetering (1876) y a partir de estas fechas se desarrollan y multiplican las experiencias en diversos países. (17)

Por otra parte Subbotin dice: los primeros lisímetros se construyeron con fines hidrológicos, para determinar cuantitativamente la infiltración y Way (1850) utilizó lisímetro para estudios de fertilidad de suelo. En 1870 Laues, Gilbert y Worington en Rotmsted consideraban que datos seguros relativos a las velocidades naturales y a las composiciones químicas de las corrientes subterráneas podían obtenerse con experimentos en suelos naturales o inalterados y esto fué el perfeccionamiento principal introducido a los lisímetros. (20).

El método de pesada para la determinación de evaporación de la superficie del suelo fué utilizado por primera vez en Rusia en 1896 por el académico Ricachev.

El primero en decidir abastecer a un lisímetro con un sistema de pesada estacionario fué Zeel Horst, esta innovación fué realizada en 1906 en Guettingen Alemania.

Por otro lado los primeros lisímetros con un mecanismo de pesada automático fueron construídos en 1936, por el Soil Conservation Service, en Coshocton, Ohio.

El primer Evaporador hidráulico, que permitió registrar el consumo diario de la evaporación con precisión de 0.05-0.01mm fué construído en 1950 en el laboratorio Hidrológico del Instituto Hidrológico estatal (URSS) (20).

El primer lisímetro de pesada monolítico fué construído en 1937 por el U. S. Soil Conservation Service in Coshocton, Ohio (harrold y Preibelbis 1951).

El costo de construcción del lisímetro de pesada fué grandemente reducido después de la introducción de métodos hidráulicos de registro de peso por investigadores Rusos (Fedrov, 1954) y King, Tanner y Suomi (1956) en Wisconsin.

Además de las instalaciones de Coshcton, hay al menos seis lisímetros de pesada muy elaborados: en Davis California (Pruitt y Angus, 1960); Tempe, Arizona (Van Bavel y Meyers, 1962); Valdai, URSS. (Popov, 1952); Wasseninzen, Holanda (Makkink, 1953, etc.

El lisímetro en Davis, California tiene 6.10 mt. de diámetro y 91.5 cm. de profundidad. Tiene una báscula de 50 Ton. con aproximación de 1 Kg. lo cual es equivalente a 0.03 mm de evaporación. El peso del sistema es registrado cada 4 min.

La instalación Tempe, Arizona, también imprime, pesa 3 Ton. y tiene precisión de 10 gr. o equivalente a 0.01 mm. de lámina de agua.

De esta manera con los lisímetros de pesada pueden estudiarse: patrones diarios de evapotranspiración marchitez temporal de medio día, variación de repartición de energía período corto y la relación entre evapotranspiración y tensión de humedad del suelo. (6).

Ekern (1958), construyó el primer lisímetro basado en una celda hidráulica y el diseño comprende un recipiente de 1.5 m. por lado y 0.45 m. de profundidad, sentado en dos tubos neumáticos para automóvil parcialmente inflados con agua. El sistema se conecta por un tubo a un manómetro de agua, donde se registraron los cambios de nivel. La sensibilidad que tiene este tipo de diseño es de 0.25 milímetros. (4).

Tanner y Swan (1960) construyeron un lisímetro de 3 mts por 6 metros de área y 0.6 metros de profundidad.

Este tanque se colocó sobre un colchón de hule parcialmente lleno de agua, de donde salían cuatro tubos de nylon butilo de cada cuadrante del colchón y se conectaron comunmente a un manómetro de mercurio, donde se hacían las lecturas, que llegaron a leerse con intervalos tan cortos como una hora. (4).

Los lisímetros hidráulicos (Glover and Forsgate(1962) - facilitan medidas directas de cambios en peso de un bloque de suelo cubierto con vegetación por un diferencia de dos simples lecturas en un manómetro lleno de agua. Estos cambios pueden ser atribuidos a precipitación pluvial e irrigación y a evaporación y - - transpiración.

Es por eso que este proyecto se ofrece como un medio para medir directamente el uso de agua en un cultivo en crecimiento (4).

Por otra parte Chang (1968) cita: Kohnke, Dreibelbis y Davidson (1940) contaron cerca de 150 lisímetros en el mundo antes de 1940, la mayoría de los cuales fueron del tipo de drenaje (6).

Ritchie y Burnett en 1968 reportaron un lisímetro de pesada combinado, formado por un sistema de palancaje (báscula mecá

nica) y una celda de carga electrónica. Construido en Temple, - Texas. (17).

En 1970 se construyó un lisímetro de estructura alterada y drenaje en Villa J. Cardel Ver., cuyas características ya se describieron anteriormente. (10).

Trava en 1972 construyó un lisímetro de estructura inalterada y drenaje, en el cual determinó coeficiente K para el trigo en Chapingo Mex. (21).

Caballero en 1973 construyó y operó dos lisímetros de - estructura alterada (Volumétrico y Gravimétrico); para la construcción del lisímetro Volumétrico se recurrió a un recipiente - con capacidad para 200 litros, que son muy comunes en el mercado las adaptaciones pertinentes, como la malla y el tubo para extracciones, fueron hechas en un taller de soldadura, utilizando una - malla de alambre y un tubo de fierro respectivamente. El tensiómetro que se utilizó fué construido por la Soil Moisture Co. y su rango de lectura va de 0 a 80 entibares (4).

La construcción del lisímetro gravimétrico consistió - en un tanque interior también con capacidad para 200 litros y - con los mismos accesorios que el volúmetrico a diferencia de las

orejas construídas con el lisímetro gravimétrico. Además se construyó otro tanque de 11 cm. más de diámetro y 10 cm. más de altura que el interior, y por último para la construcción de la celda hidráulica llena de agua. (4).

Peña Peña en 1974 proyectó y construyó un lisímetro de Estructura Inalterada y de Pesada. (17).

2.5. OBJETIVOS DE LOS ESTUDIOS LISIMETRICOS.

Peña E. (1974) reporta que Bavel y Myers (1962) resumie ron los tipos de información que se puede obtener con los lisíme tros.

a). Proporcionan medidas directas de evaporación y transpiración de superficies del suelo sobre las cuales las plantas — crecen, para permitir estudiar los factores que afectan esos procesos.

b). Proporcionan una medición absoluta y precisa del — flujo evaporativo como un proceso importante en investigación sobre la física de la atmósfera cerca del suelo.

c). Sirve como estandar de comparación para evaluar métodos indirectos de medida de evapotranspiración o su predicción.

d). Para medir exactamente las pérdidas de agua del suelo descubierto en estudio de movimiento ascendente de agua, como resultado del secamiento superficial.

e). Se utilizan los lisímetros para establecer relaciones matemáticas entre los datos climatológicos y los consumos de agua de los cultivos y se evaluarán los métodos indirectos de medida o predicción de la evapotranspiración de los cultivos.

f). Servirá para realizar estudios de microclimatología agrícola y enfatizar la importancia del microclima en la evapotranspiración. (19).

2.6. TIPOS DE LISÍMETROS.

Hay criterios diferentes para clasificar lisímetros, — entre los cuales pueden mencionarse los siguientes:

a). De acuerdo a su finalidad son: Agronómicos, Hidrológicos e Hidrogeológicos.

b). Según el estado del suelo dentro del recipiente -- son: de Estructura Alterada o de Estructura Inalterada conocidos como monolíticos.

c) En relación al sistema de medición se clasifican en Lisímetros de: Drenaje (entradas y salida volumétricas), Sistema de control de humedad y de Pesada (mecánicos, hidráulicos, electrónicos y combinaciones de los anteriores).

d). Por la colocación en el campo pueden ser: Superficiales (agrícolas o hidrológicos) y Subterráneos (hidrogeológicos)

e). Por su localización pueden ser: Lisímetros de campo o de invernadero. (17).

2.7. CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO

Para el proyecto de los lisímetros se han tomado consideraciones especiales de diseño, de acuerdo al tipo de lisímetro, el presupuesto disponible y a los avances logrados en equipos o sistemas de pesada; sin embargo, a continuación se expone un resumen de consideraciones que han utilizado o que recomiendan algunos investigadores.

Bavel y Myrs (1962) para la construcción de un lisímetro de pesada automático mencionan las siguientes consideraciones:

El lisímetro debería permitir el desarrollo radicular normal, drenado normalmente y de 1.50 metros de profundidad aproximadamente.

El lisímetro debería ser grande para reducir el efecto de orilla. Se consideró que un lisímetro cuadrado de 1.00 Mt. de lado con orilla, de acero delgado, separados 8 mm aproximadamente llenaría los requisitos requeridos.

La instalación debería ser en triplicado para proporcionar un estimador del error de medida. El peso total y construcción de la instalación debería ser tal que pudiera ser movida si fuera deseado.

Ritchie y Burnett (1968) indicaron: para que la altura del cultivo y la velocidad de crecimiento de las plantas dentro del lisímetro, sean similar al medio ambiente del campo circundante, el volumen de suelo confinado en el lisímetro debe representar un perfil normal radicular. La profundidad radicular, el agua aprovechable del suelo y la temperatura del suelo parecen ser los factores críticos para mantener el perfil radicular radicular representativo en un lisímetro.

El potencial del agua en el suelo del campo natural puede ser simulado si el lisímetro excede en profundidad al máximo — normal de profundidad del manto freático o si un potencial negativo de presión es aplicado a la base del lisímetro, similar al potencial del agua del suelo en el campo a la profundidad de la base del lisímetro. Si se consigue similitud de distribución de humedad en el lisímetro en relación al suelo exterior, se ayuda a proveer representatividad térmica.

La superficie expuesta del lisímetro debería tener área grande, de acuerdo a la no-uniformidad de la vegetación en relación a las condiciones naturales de campo. En estudios de cultivos en hileras, en los cuales el suelo cubierto es algo uniforme (no puede serlo completamente) es importante que la cantidad de suelo expuesta del lisímetro, por unidad de hilera de plantas, sea similar a la que está alrededor del mismo. Para llenar esta condición un lisímetro debe ser rectangular con dimensiones de anchura iguales a un múltiplo del ancho de la hilera en el campo.

Chang. (1968) numera cuatro requerimientos para que los datos obtenidos de los lisímetros sean representativos de las condiciones de campo, y se pueden expresar de la siguiente forma:

- a) El lisímetro debe ser bastante grande y profundo pa-

ra reducir el efecto de frontera y para restringir el desarrollo radicular. Para cultivos bajos, el lisímetro debe ser al menos de un metro cúbico de volumen. Para cultivos altos, especialmente cultivos en hilera, el tamaño de los lisímetros podría ser mucho más grande, por ejemplo: lisímetro de 4 metros cúbicos pueden ser pequeños para cultivo de caña de azúcar.

b) Las condiciones físicas del suelo dentro del lisímetro deben ser comparables a las de afuera. El suelo no debería estar aflojado a tal grado que la ramificación de las raíces y el movimiento del agua dentro del lisímetro sea facilitado grandemente. Si los lisímetros están cerrados en el fondo, precauciones deben tomarse para evitar la persistencia de un manto freático y la presencia de un régimen térmico anormal. Para asegurar drenaje apropiado, la base de una columna de suelo aislada, a menudo requerirá la aplicación artificial de una succión de humedad, equivalente a la que se presenta a la misma profundidad en el suelo natural. En algunos casos la temperatura del suelo en el lisímetro es elevada a tal grado que se necesita aire acondicionado.

c) Un lisímetro no será representativo del área circundante, si el cultivo en el lisímetro es más alto, más bajo, más denso, más ralo o si el lisímetro está en la periferia de un área

no cultivada. El área efectiva de un lisímetro está definida como la relación de la evapotranspiración del lisímetro por unidad de área, a el promedio de evapotranspiración por área unitaria — del campo oircundante. El valor de esta relación, diferente de la unidad, es causado por la falta de homogeneidad de la superficie.

d) Cada lisímetro debe tener una franja circundante con el mismo cultivo y las mismas condiciones de humedad para minimizar el efecto de orilla. En clima árido, Thornthwaite (1954) sugirió que una franja de diez acres puede ser pequeña.

Se han definido las condiciones o requisitos para el — diseño de un lisímetro, ahora toca definir las operaciones por — seguir para conocer el complejo suelo.

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR O ESTIMAR LA CAPACIDAD DE CAMPO.

a) En el campo se puede determinar la CC, después de — un riego, tomando muestras diarias y determinando su Ps., hasta — que más o menos permanezca constante, es decir expresándonos en — términos matemáticos cuando $\frac{d Ps}{Dt} = 0$

b) Método de laboratorio:- El mejor método es el de las columnas de suelo.

c) Richards y Weaver (1944) encontraron que sometiendo un suelo saturado a una presión de succión equivalente a 0.3 atmósferas, durante 16 horas, el porcentaje de humedad de dicho suelo era prácticamente igual a la capacidad de campo. (15)

PUNTO DE MARCHITAMIENTO PERMANENTE

Existen varios procedimientos para determinar el PMP.

a) Método del girasol:- se llenan unos botes de lámina de 500 grs., aproximadamente de tierra, se fertiliza, se siembra de girasol enano, una vez que la planta se ha desarrollado hasta tener cuatro hojas, se deja secar el suelo determinando su porcentaje de humedad cuando se notan síntomas de marchites.

b) Uno de los procedimientos más exactos es el porcentaje a 15 atmósferas reportado por Richards en 1947. (15)

DENSIDAD APARENTE.

Se llama densidad aparente a la relación que existe entre el peso del suelo seco y el volumen total.

Para determinar la densidad aparente existen dos métodos:-

- a) Sobre muestras alteradas
- b) Sobre muestras inalteradas (15).

CURVA DE RETENCION DE HUMEDAD

Es un sistema de ejes coordenados que lleva como ordenadas, valores de esfuerzo de humedad del suelo y como abcisas los valores del porcentaje de humedad, se ve que para diferentes texturas de suelo se presentan curvas diferentes. (15)

INFILTRACION BASICA

La infiltración de agua al suelo es un proceso físico - que ha sido extensamente investigado debido a su importancia en - la agricultura y otras actividades técnicas.

El uso eficiente del agua y la conservación de los suelos requieren una información precisa acerca de la capacidad del suelo de absorber agua bajo diferentes circunstancias.

En el diseño del riego por surcos y por melgas la infiltración es una de las determinaciones más importantes de cuantas intervienen en la sistematización de la tierra para el riego por superficie.

Entre los diferentes procedimientos para medir la infiltración destaca el del infiltrómetro de Cilindro, corrientemente empleado en la planificación del riego. (13).

PRINCIPALES LISIMETROS NACIONALES Y EXTRANJEROS

(20)

Cuadro 1.

No.	Invest. ó Autor de la construcción.	País	Año	Características de Construcción					Magnitud medida.	
				Relleno ó Monolito	Forma en Plano.	Superficie en m ² .	Profundidad en m	Con ó Sin sistema de pesada		Con ó Sin subaliméntación.
	De la Gir	Francia	1688	Relleno	Redondo	-	0.19, 0.34, 2.43	Sin	Sin	Infiltración
	Dalton	Inglaterra	1795	Relleno	Redondo	0.051	0.91	Sin	Sin	Infiltración
	Way	Inglaterra	1850	Relleno	Redondo	0.0003	0.38, 0.46, 0.91	Sin	Sin	Infiltración
	Laves y otros	Inglaterra	1870	Monolito	Rectangular	4.05	0.51, 1.02, 1.52	Sin	Sin	Infiltración
	Dorant	Rusia	1874	Relleno	Redondo	0.1	0.35	Sin	Con	Evaporación
	Volni	Alemania	1880	Relleno	Cuadrado	0.4 1.0	0.30 0.50	Sin	Sin	Infiltración
	Sanborn	E.U.A.	1888	Monolito	Rectangular	40.46	1.3	Sin	Sin	Infiltración y Escorrentía Superficial
	Ricachev	Rusia	1896	Monolito	Rectangular	0.1	0.3	Con	Sin	Evaporación
	Verbel	Rusia	1903	Ebermeller	Redondo	0.1	0.25, 0.50 0.75 1.00	Sin	Sin	Infiltración
	But y otros	India	1903	Monolito	Cuadrado	4.05	0.91, 1.83	Sin	Sin	Infiltración y Escorrentía Superficial

o	Invest. ó Autor de la construcción.	País	Año	Características de Construcción					Magnitud medida.	
				Relleno ó Monolito.	Forma - en Plano	Superficie en m ² .	Profundidad en m	Con ó Sin sistema de pesada		Con ó Sin subalimientación.
1	Zeelhorst	Alemania	1906	Relleno	Cuadrado	1.0	1.25	Con	Sin	Evaporación
2	Popov	URSS	1927	Monolito	Redondo	0.05 0.025	0.25 1.00	Con	Sin	Infiltración Evaporación
3	Soil Conservation Service	U.S.A.	1936	Monolito	Redondo	8.089	2.44	Con	Sin	Evaporación Infiltración Condensación y Escorrentía Superficial
-	-	Holanda	1941	Relleno	Cuadrado	625.0	2.25	Sin	Con	Infiltración y Escorrentía Superficial
	Urivayev	URSS	1950	Monolito	Redondo	5.0	2.0	Con	Sin	Evaporación Infiltración Condensación y Escorrentía Superficial



3. MATERIALES Y METODOS

3.1. PROYECTO

ESCUELA DE AGRICULTURA
BIBLIOTECA

3.1.1. DESCRIPCION DEL PROYECTO

Para el proyecto de este lisímetro se revisó en literatura los diversos tipos de construcción que pudieran en un momento dado, adaptarse a las condiciones de los Distritos de Riego.

No es posible construir lisímetros de pesada en cada uno de los Distritos de Riego, con esto no quiero decir que no sea factible, pues, considero que el alto costo de este tipo de obras es el factor que estaría limitando; dadas las condiciones económicas de nuestros Distritos de Riego, para la realización de estas obras.

De lo que sí está convencido es que, estas obras no deben de faltar en una Escuela de Agricultura (para mejorar la enseñanza del alumno en relación con agua-suelo-planta-atmósfera etc.) y campos experimentales.

Por lo que se ha diseñado un tipo de lisímetro que a la vez sea preciso y barato ya que la única diferencia estriba en la carencia de la báscula electrónica (como dato: un lisímetro de pesada y de estructura inalterada su costo es alrededor de \$ - - - \$750,000.00.

Siguiendo las directrices de los modelos revisados se optó por diseñar un modelo que presentara innovaciones y que, estas fueran encaminadas a mejorar la precisión dentro de las posibilidades y naturaleza propia de la estructura.

a).- El Lisímetro en proyecto debe servir para cultivos en hilera y plano, en caso particular de los cultivos en hilera el Lisímetro debe contar con múltiplos de ancho de una hilera, — pues este lisímetro tiene 2.70 Mts., de ancho, reúne esa condición ya que según el CIB, en la guía para la asistencia técnica agrícola, la separación más común en hilera son: 0.15, 0.30, 0.45 0.60 y 0.90 Mts., además se hace la aclaración que se debe de orientarse geográficamente para aprovechar la radiación solar y — por lo consiguiente el otro lado también debe tener múltiplos de separación, pues es un cuadrado de 2.70 X 2.70 Mts.

b).- Este lisímetro es lo suficientemente grande como — para disminuir el efecto de orilla o hacerlo insignificante ya — que es un cuadrado de 2.70 X 2.70 Mts.

c).- Para poder hacer que las condiciones naturales del

terreno fueron iguales a los del lisímetro, se consideró que fuera el lisímetro de estructura inalterada o monolítica.

d) El lisímetro está diseñado para poder apreciar consumo de agua en períodos cortos de 3 a 5 días.

e) El lisímetro cuenta con un sistema de aportación y de extracción de agua.

f) El lisímetro cuenta con una caseta de medición para poder observar el agua aplicada, agua drenada y por diferencia saber el agua consumida; esta causa es la que ha originado a llamarle a este lisímetro de Entradas y Salidas.

g) El lisímetro debe de construirse al centro de un lote sembrado.

h) Este lisímetro cuenta con su cubículo de observación que está localizado fuera del lisímetro.

i) Este proyecto cuenta con una estación agroclimática que servirá para observar todos los variables climáticos que pudieran registrarse al estar operando el lisímetro y así poder determinar las que intervienen en el proceso de la evapotranspiración y debe de instalarse la estación en el lote de sembradio.

j) El lisímetro debe de proveer un perfil normal de desarrollo radicular suficientemente profundo para evitar efectos fuertes de aportaciones de humedad en la zona radicular, difíciles de reproducir en el lisímetro; por esto se consideró que de 1.50 Mts. de profundidad del suelo sería suficiente.

3.1.2. CUBICULO DE OBSERVACION

El cubículo de observación, como ya se anotó se encuentra fuera del lisímetro con el fin de aumentar el área cultivable, las medidas que se le dieron a este cubículo son importantes ya que, permiten de una manera comoda realizar observaciones de avances de humedad y detectar la profundidad de las raíces; para realizar este tipo de observaciones se colocan los cristales sobre las paredes del lisímetro cuyas medidas se anotan en el plano.

3.1.3 CASETA DE MEDICION

En esta caseta de medición se encuentran dos tanques - cuya capacidad es de 200 litros c/u y un tanque de 60 litros que se encuentran en el mercado, además estos tanques tienen una escala para poder realizar lecturas.

El objetivo de los tanques es el siguiente: un tanque - de 200 litros alimenta al lisímetro por medio de una tubería de fierro galvanizada de 1/2 pulgada.

Este tanque en la parte superior tiene un tubo que sirve para alimentarlo.

El otro tanque de 200 litros recibe el agua que escurre de la superficie del lisímetro por medio de una tubería de fierro galvanizado de 1/2 pulgada, esta tanque estaría en servicio - en época de lluvias, para recoger el agua escurrida.

El tanque de 60 litros, recogería el agua que drena el lisímetro, el agua que recoge este tanque es conducida por tubo galvanizado de 1/2 pulgada desde el sistema de drenaje hasta el tanque.

La caseta de medición esta tapada para evitar accidentes de toda índole. El acceso a esta, se realiza por medio de una escalera marina.

3.1.4. ESTACION AGROCLIMATICA

El fin de esta estación es obtener de todos los aparatos que a continuación se describen; datos reportados:

- a) Termómetro de máxima y mínima
- b) Pluviómetro
- c) Pluviógrafo
- d) Veleta
- e) Evaporómetro tipo A
- f) Anemómetro
- g) Heliógrafo
- h) Psicómetro

Generalmente una estación simple cuenta con los 5 primeros aparatos, con estos aparatos no es posible realizar investigaciones en el campo de la agrometeorología, ni tampoco poder determinar cual de los variables climáticas es la más importante

en el proceso de la evapotranspiración, ni tampoco poder evaluar los métodos empíricos más modernos, porque no es posible emplear la ecuación de balance de energía ni la ecuación aerodinámica.

Por lo que se han incluido 3 aparatos de más que nos van a estar midiendo el resto de las variables climáticas y así poder estar en condiciones de emplear los métodos más modernos para determinar la evapotranspiración potencial.

3.1.5. SISTEMA DE REPOSICION DE LAMINA CONSUMIDA

Es un tanque de 200 litros que se encuentra en la caseta de medición y tiene una escala para leer consumos de agua, en la base del tanque se encuentra incrustado un tubo galvanizado de 1/2 pulgada que se distribuye hasta el lisímetro como se observa en el plano, además del tanque para poder medir el agua se encuentra un totalizador volumétrico tipo agua potable para checar el agua consumida por el lisímetro.

El riego se realiza por unos tubos de 1/2 pulgada, los cuales han sido perforados en la parte inferior, para que así haya una buena distribución de agua.

3.1.6. SISTEMA DE DRENAJE

El tipo de drenaje es de lo más rústico que puede realizarse.

Es un colchón de grava de diferentes diámetros, empezando con el mayor diámetro que se coloca en la base, después viene otra capa de menor diámetro que la primera y así sucesivamente - hasta tener una altura de 10 cm. Encima de este colchón se colocará una maya galvanizada para evitar oxidaciones y así poder estar seguros de que no van a pasar partículas de suelo que nos podría tapar el tubo de drenaje.

Con este sistema de drenaje se garantiza la extracción de agua que por exceso de riego o infiltración por lluvia, puedan formar un nivel freático.

El colchón de grava se coloca sobre una loza de concreto, esta loza tiene pendiente tanto de los costados como al frente del orificio; el tubo de descarga también tiene pendiente para acelerar la extracción del agua.

3.2. CONSIDERACIONES QUE SE TOMAN EN CUENTA PARA LA CONSTRUCCION Y OPERACION DEL LISIMETRO DE ESTRUCTURA INALTERADA Y DE DRENAJE DE ACUERDO A LA LITERATURA REVISADA Y OBSERVACIONES PERSONALES.

3.2.1. PROGRAMA DE ACTIVIDADES

Es necesario que para la realización de la obra se establezca un programa de actividades detallado, que pueda ser un diagrama con flechas o barras, y se deben de fijar fechas de iniciación de la obra como la fecha de terminación de la misma.

A continuación se en listan las actividades que se deben de desarrollar al construir un lisímetro de estructura inalterada y de drenaje o entradas y salidas.

- a) Revisión de Literatura
- b) Visitas a instalaciones lisimétricas
- c) Elaboración de proyecto
- d) Aprobacion del proyecto
- e) Localizacion del terreno

- f) Orientación
- g) Excavación
- h) Afinar paredes del Lisímetro
- i) Colocar láminas
- j) Instalar sistema de drenaje
- k) Prueba de filtraciones
- l) Excavación y construcción de la caseta de medición
- ll) Instalación de la estación agroclimática
- m) Acondicionar caseta de medición
- n) Reponer en la excavación las capas y darles compactación.

Nota:- Desde la aprobación del proyecto se debe de empezar a comprar los materiales que se van a necesitar en la construcción.

3.2.2 DETERMINACION DE CAPACIDAD DE CAMPO, PUNTO DE MAR CHITAMIENTO PERMANENTE, CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA, INFILTRACION BASICA, DENSIDAD APARENTE, CURVAS DE RETENCION DE HUMEDAD Y TEXTURA.

Se considera que cuando se haya aprobado el proyecto, lógico que el punto a seguir será localizar el terreno, al cual es necesario determinar las constantes antes dichas por cualquier

método descrito en la revisión de la literatura, estas determinaciones deben de hacerse cada 10 cm., hasta completar la profundidad de 1.50 mts. todos estos resultados de las constantes de humedad nos ayudarán grandemente en la operación del lisímetro.

Con estos parámetros estaremos en condiciones de poder auxiliarnos en el cálculo de la lámina de riego por aplicar, la velocidad de infiltración de agua en el suelo etc.

3.2.3. EFECTUAR UN ANALISIS QUIMICO DEL SUELO Y AGUA DE RIEGO.

Es necesario conocer el aspecto químico donde se va a instalar un lisímetro, pues con este resultado nos formaríamos una idea, si podríamos tener problemas de sales y de que tipo, el grado de fertilidad con el fin de conocer que elementos son y si se encuentran asimilables, su pH, y los demás análisis químicos.

3.2.4. ORIENTACION

Como ya se aclaró la importancia que tiene la orientación - de los lisímetros, pues orientándolos geográficamente estaríamos aprovechando al máximo la radiación solar o bien, si en un determinado lugar hay vientos dominantes, se tiene que orientar para - evitar el efecto del viento en los cultivos.

3.2.5. EXCAVACION.

Una vez que se ha orientado geográficamente y con cal - señalado, los límites del lisímetro se procede a la excavación -- quitando capas según tipos de textura y las cuales serán colocadas sobrepuestas en lona o polietileno y al mismo tiempo tapadas para evitar al máximo su intemperización , las dimensiones al rededor del monolito deben ser las siguientes: 1.50 Mts. por lado - de ancho y de profundidad 2.00 Mts. con el fin de poder realizar las siguientes operaciones comodamente. A estas alturas ya quedo separado el monolito de sus costados del terreno natural..

3.2.6 MONOLITO

Para la realización del monolito se procedió como sigue primero, es necesario formar un prisma cuyas medidas deben de ser 2.90 X 2.90 Mts. en su base superior, y 3.10 X 3.10 Mts. en su - base inferior y con una altura de 2.00 Mts.

Notese que estas dimensiones son mayores que las del -- proyecto, la razón es para evitar rupturas del monolito. Segundo, se hicieron los cortes definitivos sobre las caras del lisímetro, pero antes es necesario hacer una prueba de corte fuera del lisímetro para observar el comportamiento ya que este corte debe de quedar vertical (checarse con la plomada). Quedando un prisma cuyas medidas son 2.70 X 2.70 Mts. en su base superior e inferior y caras laterales de 2.70 X 1.60 Mts.

En esta etapa es necesario colocar las láminas en las -- caras del monolito, la colocación debe ser opuesta, con esto quiero decir que primero se colocarían las láminas de las caras de -- norte-sur y luego las láminas de las caras este-oeste.

Tercero:- cortar el monolito en su base para separarlo del suelo, es quizá la tarea más difícil, es por ello que nos ocupa otro punto más por tratar.

3.2.7. COLOCACION DE LAMINAS EN LAS PAREDES DEL MONOLITO.

Como se describió en el punto anterior es la segunda etapa cuando se colocan las láminas.

Estas láminas son de 5 cm. de gruesas y deben de ser -- pintadas con un anticorrosivo, las cuales llevan tornillos para -- sujetarse unas a otras. Las láminas llevan soldadas unas soleras en la parte de dentro con el fin de evitar que el agua escurra -- por las caras interiores del lisímetro, la separación entre una y otra es de 40 cm. La forma de la solera como se van a incrustar en las caras del lisímetro, deben de hacerse al estar confiando estas. Las dimensiones de las láminas deben ser de 2.70 X 1.60 Mts. c/u.

3.2.8. EXCAVACIONES EN LA BASE DEL MONOLITO

Se dijo anteriormente que es la tarea más difícil ya -- que se tiene que hacer ciertos cálculos para determinar cuantos -- refuerzos de angulo se necesitan para sostener en peso aproximada -- mente 15 toneladas de tierra

Para empezar a separar el monolito del suelo se deberá de avanzar en pequeños túneles de 30 cm. de ancho y 30 cm. de alto y colocar un refuerzo de angulo soldado a la lámina y así sucesivamente.

Se recomienda una vez que está separado el monolito del suelo mojarse con agua la base para evitar desprendimientos, esto se debe de realizar cada dos días.

3.2.9. COLOCACION DE LA CHAROLA Y SISTEMA DE DRENAJE

Una vez, que está suspendido el monolito, se efectúa un colado de 3 cm. de grueso dándole pendiente hacia el orificio de descarga, posteriormente se colocará una lámina que se soldará con las láminas de las caras laterales, para darle fuerza a estas se recomienda unir las láminas con un angulo soldado a estas posteriormente se colocará el colchón de grava y la maya.

3.2.10 REPOSICION DE CAPAS Y COMPACTACION.

Una vez que se ha construido el lisímetro el paso siguiente es el de reacomodo por capas de la tierra excavada, mojarla y darle compactación con un pesón de fierro.

3.2.11 EXCAVACION Y CONSTRUCCION DE LA CASETA DE MEDICION.

La profundidad de la excavación debe ser de 2.10 Mts., el tipo de construcción es el siguiente: En el pizo^S va una losa de concreto de 5 cm. de gruesa, los muros son de mampostería de tercera, hasta la superficie del suelo, el techo de lámina galvanizada, una escalera marina, de la superficie del suelo hacia arriba los muros son de block, las medidas detalladas se exponen en el plano.

3.2.12 ACONDICIONAMIENTO DE ACCESORIOS EN LA CÁSETA DE MEDICION.

- a) Dos tanques de una capacidad de 200 litros c/u.
- b) Un tanque de 60 litros
- c) Una escalera marina
- d) Un entarimado para poder sostener el tanque alim
tador.
- e) Tres vigas de madera a lo largo de la caseta para que se coloque el entarimado
- f) Colocación de escalas en los tanques respectivos.

3.2.13 C O S T O S.

OBRA PROYECTO DE UN LISIMETRO "ZACATECAS I" No.

NUM.	CONCEPTO	CANTIDAD	Un.	P. UNITARIO	IMPORTE
I	Suministro e instalación de tubería $\frac{1}{2}$ "				
1.1	Tubo galvanizado	6	Tramo	\$ 75.00	\$ 450.00
1.2	Codos	7	Pza	3.50	24.50
1.3	Tuerca Universal	4	Pza	12.00	48.00
1.4	"m"	5	Pza	4.50	22.50
1.5	Tapones	7	Pza	2.20	15.40
1.6	Medidor tipo agua potable	1	Pza	235.00	235.00
1.7	Niples	2	Pza	2.00	4.00
II	Suministro e Instalación de techo:				
2.1	Lámina galvanizada No. 30 de 4 X.80 Mts.	3	Pza	110.00	330.00
III	Fabricación de mampostería de tercera clase	11.5	M ³	256.00	2,944.00
IV	Suministro e instalación de la estación agroclimática				
4.1	Termómetro de máxima y mínima	1	Pza	396.00	396.00
4.2	Evaporómetro	1	Pza	1,180.00	1,180.00
4.3	Pluviógrafo	1	Pza	7,800.00	7,800.00
4.4	Pluviómetro	1	Pza	416.00	416.00
4.5	Heliógrafo	1	Pza	17,363.00	17,363.00
4.6	Psicrómetro	1	Pza	565.00	565.00
4.7	Veleta	1	Pza	9,780.00	9,780.00
4.8	Anemómetro	1	Pza	6,989.00	6,989.00
V	Excavación en material común	50	M ³	14.85	742.50
VI	Suministro y colocación de tanques de lámina de 200 Lts.				
6.1	Tanques de 200 litros	2	Pza	80.00	160.00
6.2	Tanque de 60 litros	1	Pza	40.00	40.00
6.3	Escalas	3	Pza	100.00	300.00
6.4	Codos de 2"	2	Pza	10.00	20.00
VII	Suministro de lámina				
7.1	Lámina del No. 10 de 3.05 X 8.92 Mts.	8	Pza	179.20	1,433.60
VIII	Suministro de cristales				
8.1	Cristal de 6 mm de grueso y de 50 X 150 Cm.	2	Pza	260.00	520.00
IX	Escalera marina				
9.1	Varilla de $\frac{1}{2}$ "	10	Kg	5.20	52.00
X	Suministro de madera				
10.1	Vigas de madera	3	Pza	60.00	180.00
10.2	Tablones de 1 $\frac{1}{2}$ " de grueso	2	Pza	80.00	160.00
XI	Mano de obra				7,000.00
XII	Otros Gastos				4,000.00
T O T A L					\$ 63,170.50

3.2.14 OPERACION.

A continuación describo la forma en que puede operarse un li símetro de estructura inalterada y de entradas y salidas.

He mencionado que se tiene un sistema de reposición de lámina de riego y un sistema de drenaje, también contamos con los parámetros de humedad. Para el primer riego, con las constantes de humedad se calcula una lámina de riego para cada una de las — capas de 10 cm., o según fórmula:

$$Lr = Da \times Pr \times Ps$$

La lámina total por aplicar será la suma de las láminas de cada una de las capas.

Para cuantificar el agua aplicada, se cuenta con un tan que de 200 litros con su respectiva escala y además un totaliza— dor volumétrico tipo agua potable.

Se dejará de aplicar agua hasta que empiece a drenar. el tanque de 60 litros recogerá el agua drenada.

Por simple resta podemos determinar el agua que retie— ne el suelo, a esta lámina también se le llama Lámina de Uso - Consumtivo.

$$L_a = L_{UC} + L_d$$

$$L_{UC} = L_a - L_d \quad \text{en donde:}$$

L_a = lámina aplicada en centímetros

L_{UC} = lámina de uso consuntivo en centímetros

L_d = lámina drenada en centímetros.

Para los riegos posteriores los intervalos se escogen arbitrariamente o sea como pueden ser el intervalo de 3 días, 5 días, 8 días etc.

Se hace la misma operación, aplicarle agua hasta que empiece a drenar y determinar en ese intervalo que consumo de agua hubo.

Al mismo tiempo que se están operando el lisímetro se debe de ir anotando las lecturas de los aparatos climáticos diariamente.

NOTA:— Un centímetro de lámina de agua aplicada al lisímetro corresponden a 30.6 centímetros en el tanque de 200 litros.

C O N C L U S I O N E S

1.- Es de gran interés el establecimiento de estaciones lisimétricas, en cada uno de los distritos de riego, pues ofrece un procedimiento práctico y preciso para la determinación de las demandas hídricas por las plantas.

2.- Dentro de los tipos de diseño en la lisimetría, que ofrece la literatura contemporánea, el principio de estructura inalterada es el que ofrece propiedades más adecuadas para la medición del agua por las plantas.

3.- Con este tipo de instalaciones, es posible observar los consumos de agua en las etapas críticas del desarrollo de los cultivos, en intervalos de 2 a 3 días y poder determinar cuáles son los factores más importantes que intervienen en el proceso de la evapotranspiración.

4.- Las instalaciones lisimétricas permiten calibrar aparatos que de una forma indirecta nos determinan consumos de agua por los cultivos, como son bloques de yeso, aspersor de neutrones, tensiómetros etc. etc.

5.- Este método, comparado con los demás para medir consumos de agua es más preciso, que los demás, pues sus características físicas son idénticas a las del suelo natural.

6.- Con las investigaciones realizadas en el lisímetro podremos corregir; Láminas de riego aplicadas, calendarios de riegos existentes y métodos de riego, con todas estas correcciones estaremos en condiciones ; mejorar la deficiente operación de los distritos de riego, aumentar la producción agrícola con mínimas láminas de riego y ahorro de agua, este ahorro se enfocaría para 2 objetivos;

a) Aumentar la superficie física irrigada

b) Dar apertura a segundos cultivos .

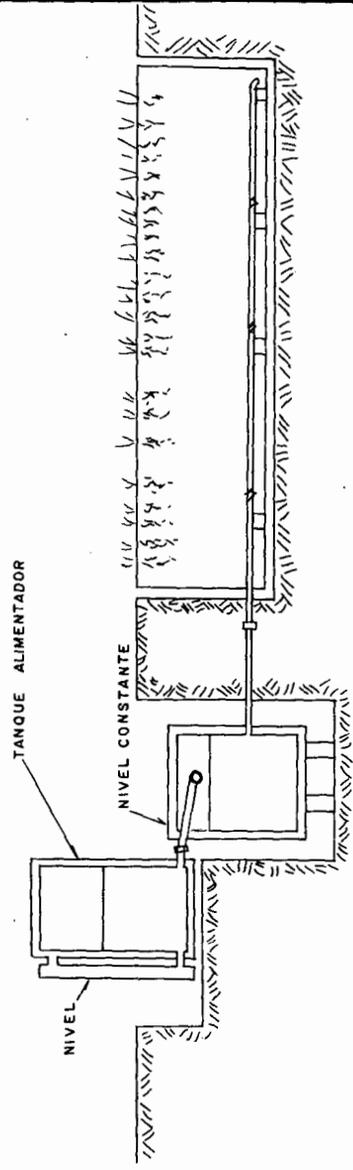
Todo esto vendría a redundar en el aumento de la producción agrícola y como consiguiente aumentar el ingreso del campesino

BIBLIOGRAFIA

- 1.- ANONIMO .- Métos para determinar el uso consuntivo.-
- 2.- BAVEL VAN C. H. M. 1961.- Lisimetric measurement of evapotranspiration Rates In the Estern - Unites States Soil 25: 138-141.
- 3.- BLACK C. A. 1957.- Evapotranspiration Soil plant re lations hips. New York. John Wiley & - - Sons Inc. pp 53-56.
- 4.- CABALLERO C. H. M. 1973.- Diseño y operación de li- símetros, Tesis de grado, Programa de -- graduados en Agricultura. Instituto Tec- nológico y de Estudios Sup. de Monterrey.
- 5.- C.E.F.A.M. 1965.- Manual para Constructores. Compa- ñía Fundidora de Fierro y Acero de Monte rrey, S. A. México.
- 6.- CHANG J. H. 1968.- Climate and Agriculture an Ecolog ical Survey. University of Hawaii, aldi ne Publishing Company. Chicago (145-148)
- 7.- DE LA LOMA O. J. L. 1966.- Métodos económicos para medir la humedad de un suelo. Boletín de la S. R. H. No. 239.
- 8.- DEL VALLE F. H. 1968.- Bloques de yeso para detec- tar las variaciones de humedad en el sue- lo. Boletín Técnico de la S. R. H. No. - 257.

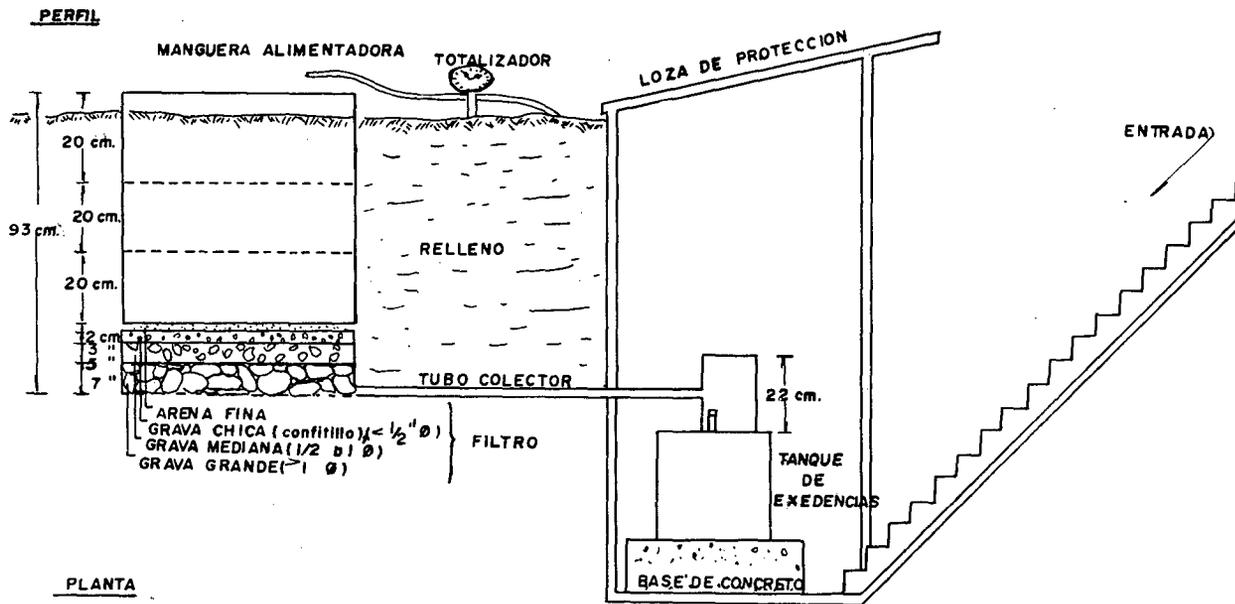
- 9.- DICCIONARIO ENCICLOPÉDICO ILUSTRADO, TOMO No. 5 1972.
- 10.- EVAPOTRANSPIROMETRO TIPO VERACRUZ II. Distrito de - Riego No. 35 y 65.
- 11.- GRASSI C. J. 1975.- Estimación de los usos consuntivos de agua y requerimientos de riego con fines de formulación y diseño de proyectos. Mérida Venezuela.
- 12.- LOPEZ AGUILAR C. 1973.- Uso de la programación Fortran IV en el Cálculo de los Requerimientos de Agua de Riego. Tesis Profesional - para obtener el título de Ingeniero Agrónomo especialista en Irrigación E.N.A. -- Chapingo, Mex.
- 13.- NORERO A. y ANDRADE R. 1974.- Consideraciones sobre la Infiltración y sus aplicaciones. Mérida Venezuela.
- 14.- OJEDA O. y TREJO SILVA 1957.- Métodos de la Resistencia Eléctrica para la medición continua de la humedad del suelo en condiciones de campo. Boletín Técnico de la S. R. H. No.121.
- 15.- PALACIOS VELEZ E. 1966.- Revista Ingeniería Hidráulica. Cuanto, Cuando y como regar.
- 16.- PALLARES OCHOA J. F. 1974.- Medida de la evapotranspiración, su relación con variables agrometeorológicas y efecto de diferentes condiciones de humedad del suelo al final del ciclo vegetativo en trigo. (Yecora F - 70). Tesis profesional para obtener el título de Ingeniero Agrónomo especialista en Irrigación E.N.A. Chapingo, Mex.

- 17.- PEÑA PEÑA E. 1974.- Proyecto y Construcción de un -
Lisímetro de Pesada y Estructura Inaltera
da. Tesis presentada como requisito para -
obtener el grado de maestro en ciencias.,
E.N.A., Chapingo Mex.
- 18.- RENDON PIMENTEL 1974.- Uso de medidores de la hume-
dad del suelo en la Investigación Agrome-
teorologica, Tesis Profesional para obte-
ner el título de Ingeniero Agronomo espe-
cialista en Irrigación E.N.A. Chapingo, -
Mex.
- 19.- RODRIGUEZ Z. C. 1975.- Seminario. Investigaciones -
Lisimétricas. Rama de Riego y Drenaje, Co
legio de Postgraduados.
- 20.- SUBBOTIN A. S. 1964.- Resumen sobre lisímetros y --
principales requerimientos de Construc- -
ción. Memorias del Institute Estatal Hi--
drologico. Publicación No. 92. Editorial
Gidrometeoczdat, Leningrado, traducido --
del Ruso por Dr. Oscar Palacios V.(1974).
- 21.- TRAVA MANZANILLA M. J. L. 1972.- Obtencion de valo-
res de Evapotranspiracion en trigo median
te la utilización de lisímetros. Tesis --
de maestro de ciencias E.N.A. Chapingo, -
Cologeo de Postgraduados.

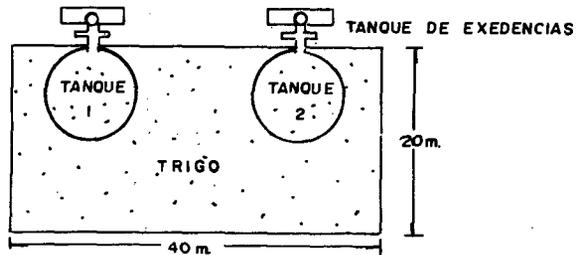


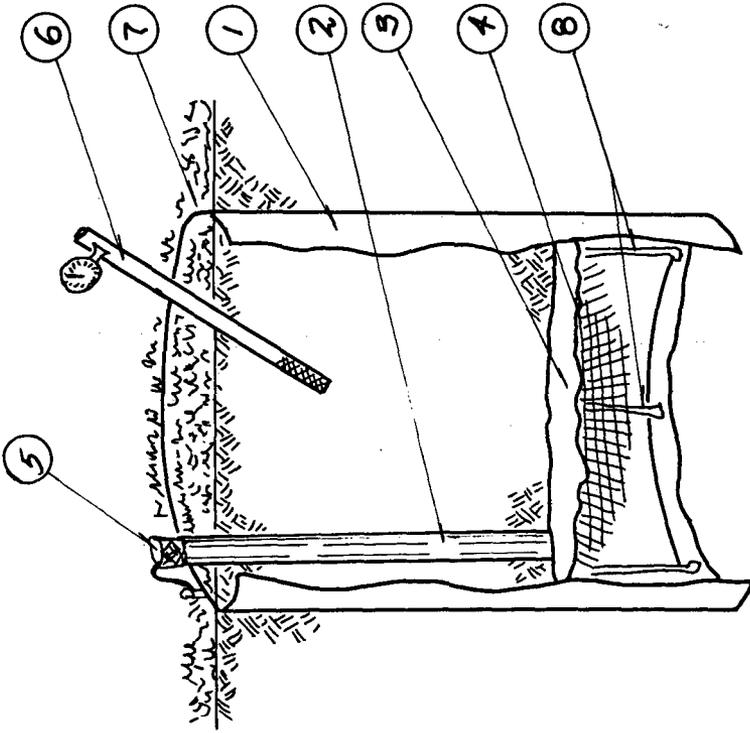
EVAPOTRANSPIROMETRO DE THORNTHWAITTE

DETALLE DEL TANQUE EVAPOTRANSPIROMETRO



PLANTA



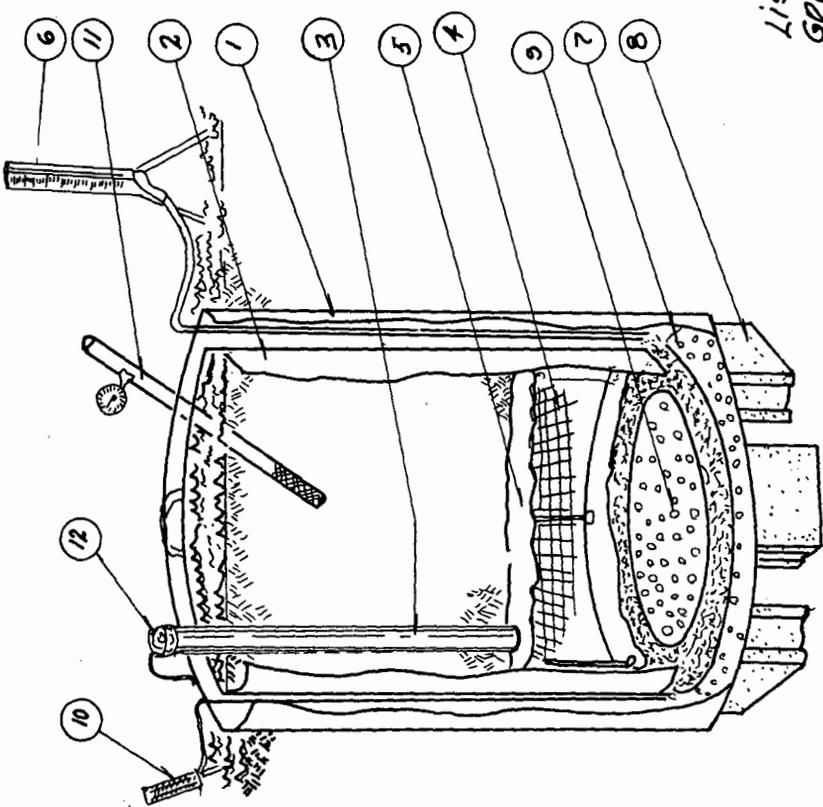


- 1- TANQUE
- 2- TUBO PARA EXTRACCIONES.
- 3- TELA DE CONTENCIÓN.
- 4- PARRILLA.
- 5- TAPÓN DE HOLE.
- 6- MANÓMETRO
- 7- CÉSPED.
- 8- SOPORTE DE LA PARRILLA.

LISÍMETRO DE PRINCIPIO
VOLUMÉTRICO.

DIAGRAMA 3

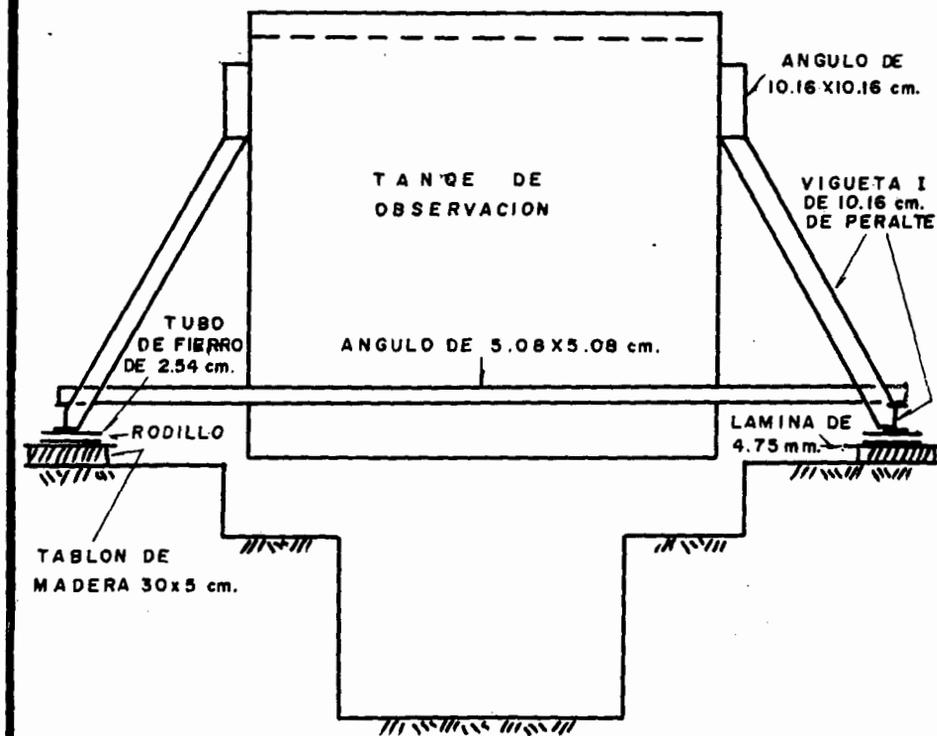
- 1- TANQUE EXTERIOR
- 2- TANQUE INTERIOR.
- 3- TUBO PARA EXTRACCIONES.
- 4- PARRILLA.
- 5- TELA DE CONTENCIÓN.
- 6- MANÓMETRO HIDRÁULICO.
- 7- TUBO DE NEUMÁTICO.
- 8- BLOCS PARA DRENAJE.
- 9- PERFORACIONES DE DRENAJE.
- 10- TEO MOMETRO S.
- 11- MANÓMETRO.
- 12- TAPÓN TUBO DE EXTRACCIONES.



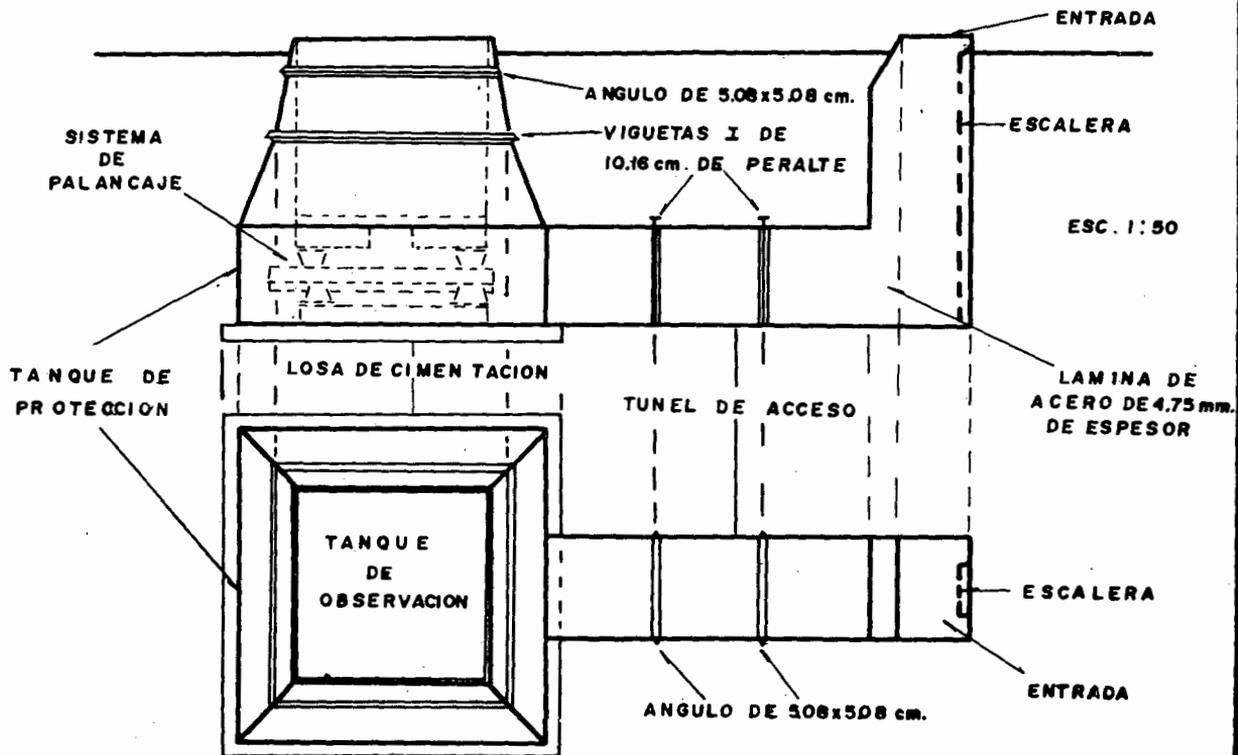
LISIMETRO DE PRINCIPIO GRAVIMETRICO.

DIAGRAMA A

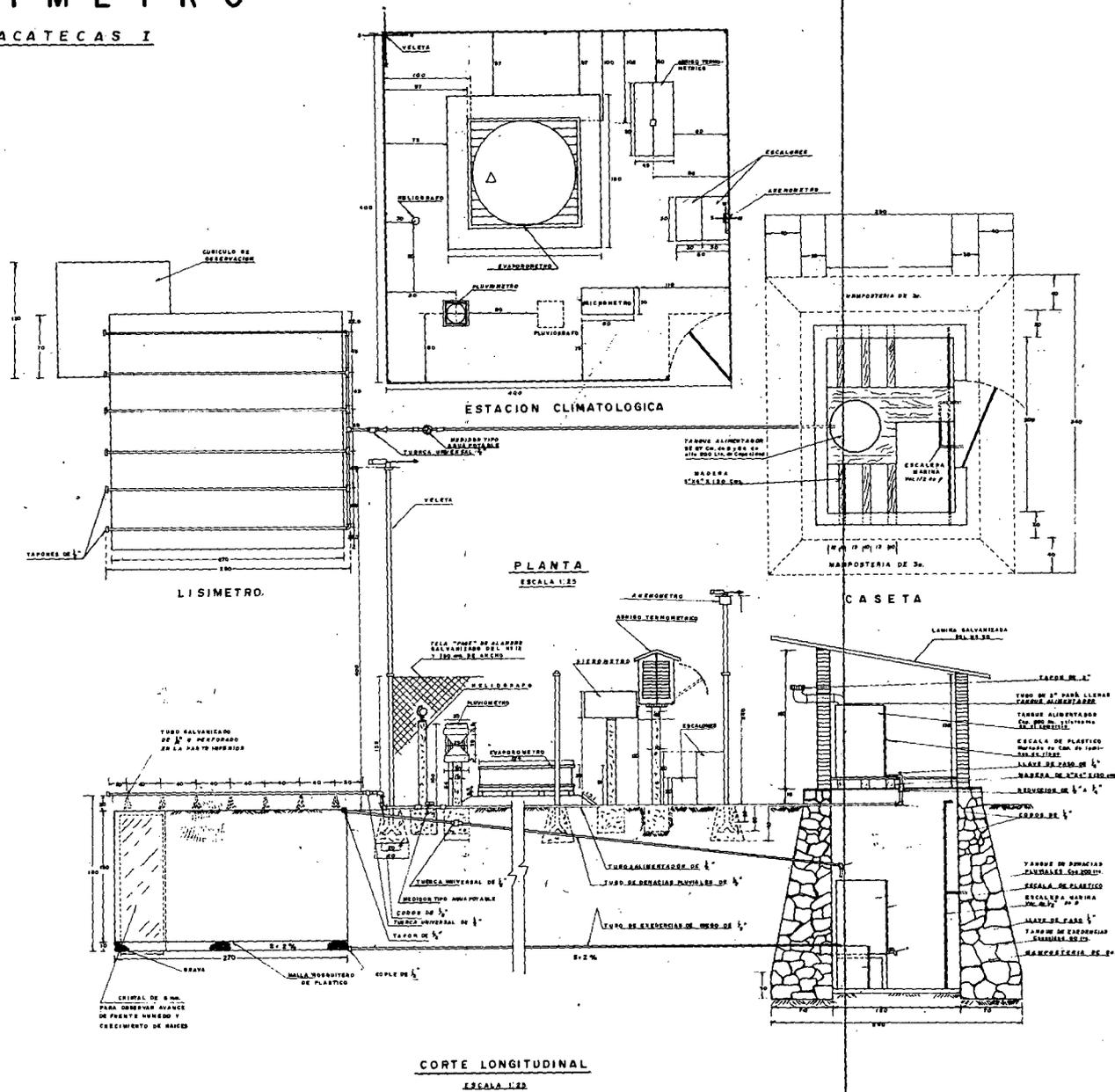
ESTRUCTURA DE APOYO



ESQUEMA GENERAL DEL LISIMETRO



PROYECTO DE
LISIMETRO
 ZACATECAS I



SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS
 DISTRITO DE RIEGO N° 34
 PROYECTO Ing. Francisco Mojarró Davila
 CALCULO Ing. Francisco Mojarró Davila
 DIBUJO Romualdo Gurrola del Real