

**ESTUDIO DE LA EVAPORACIÓN DE AGUA, EN
RÉGIMEN ESTACIONARIO DE HUMEDAD, EN
MUESTRAS DE SUELOS DE DIFERENTE TEXTURA,
EN CONDICIONES CLIMATICAS NATURALES.**

S. CUADRADRO SÁNCHEZ

F. INGELMO SÁNCHEZ

Colaboración Técnica J. HERNÁNDEZ POMBERO

SUMMARY: The evaporation of water in six samples of a different texture, both under a stationnary moisture regime and natural climatologic conditions, is reported.

There exists a correlation between the evaporation of water in the soil samples and the evaporation of water in a water-permeable porous capsule. Soil samples with coarse texture yield the lowest evaporation values.

RESUMEN: En este trabajo se estudia la evaporación del agua desde la superficie de muestras de seis suelos de diferente naturaleza textural, mantenidas en un nivel de humedad estacionario según una metodología particular, en condiciones climáticas naturales.

En las condiciones normalizadas del ensayo se han encontrado correlaciones de alta significación entre los valores de evaporación de agua desde los suelos y desde una cápsula porosa, considerada como testigo; las muestras de textura gruesa presentan los valores más bajos de evaporación.

INTRODUCCIÓN

El flujo de agua ascendente a través del suelo hacia la zona en la que se produce evaporación, desde otra humectada en condiciones determinadas de potencial del agua, por ejemplo desde una capa freática, natural o simulada, ha sido estudiado experimentalmente, en primer lugar, por MOORE (1939). HILLEL (1982)

hace una revisión sobre estos estudios recogiendo las principales contribuciones teóricas y experimentales y señala que, si bien la representación y análisis de este tipo de procesos en estado estacionario es una aproximación útil desde el punto de vista analítico, en condiciones climáticas naturales, no puede hablarse estrictamente del flujo estacionario de la humedad del suelo, debido, entre otras causas, al efecto ejercido por las fluctuaciones diurnas y nocturnas de la demanda evaporante de la atmósfera, así como a la presencia de gradientes térmicos de cuantía variable por la no isoterminia durante el proceso de flujo.

Son por otra parte frecuentes en la bibliografía los trabajos experimentales que tienen como finalidad la estimación de la *evaporación potencial* del agua a partir de las medidas de la cesibilidad del agua a la atmósfera desde el suelo, en condiciones no limitantes de su humedad (PUECH et al, 1977). En este tipo de experimentos parece olvidarse que, para una determinada demanda evaporante de la atmósfera, la máxima capacidad de transmitir agua desde el perfil del suelo está en función de la conductividad hidráulica del mismo, que lógicamente debe depender de su textura y estructura.

En un trabajo anterior (INGELMO et al, 1984) hemos estudiado, en muestras de suelos de *diferente naturaleza textural*, las características de la *cinética de imbibición con agua*, mediante un dispositivo experimental particular consistente en una microcápsula porosa permeable al agua, que atravesando la muestra de suelo, la alimenta hasta alcanzar el equilibrio de humedad para un valor determinado de tensión.

Se trata ahora de continuar este trabajo estudiando, con un dispositivo experimental parecido, el *flujo de agua inducido por el poder desecante de la atmósfera* a partir de las muestras de los suelos que han sido humectadas por imbibición con agua a una tensión constante de -32 cm y que son expuestas en tal situación de humedad a la evaporación atmosférica en condiciones climáticas naturales. Se da cuenta a continuación del proceder experimental.

MATERIAL Y METODOLOGÍA

A. Dispositivo experimental.

El gráfico de la figura 1 muestra el esquema del dispositivo unitario experimental de humectación de las muestras a la tensión -32 cm. El agua es captada por la microcápsula porosa desde el depósito inferior y cedida a la muestra de suelo que la rodea, hasta alcanzarse al equilibrio entre ambos sistemas porosos.

Las características de cada microcápsula son: 6 cm de longitud; 0.6 cm de diámetro exterior; 1.6 mm de espesor de pared y una superficie útil para la transmisión de agua de 7.5 cm². Las seis microcápsulas —una para cada muestra de

suelo— han sido normalizadas, y en los resultados se ha tenido en cuenta el factor individual de transmisión de agua, por referencia del valor de velocidad de transmisión de cada una al valor medio del conjunto.

Cada uno de los seis dispositivos está situado sobre un soporte cuyas dimensiones son 100 x 40 x 10 cm, que lleva un techo a dos aguas de PVC a la altura de 50 cm, sobre la superficie de los embudos que los contienen. En el mismo soporte son situados también el dispositivo que se muestra en la figura 2, para la estimación del poder evaporante del aire. La cápsula porosa, considerada como sistema poroso de referencia, evapora desde su superficie el agua que tiene retenida en equilibrio con la tensión de -32 cm. Una vez finalizada la fase de humectación de las muestras, el conjunto experimental se lleva a las condiciones climáticas naturales de un abrigo alambrado cuyas dimensiones son 25 x 5 x 3 m.

Se dispone en este recinto de una garita meteorológica con un termómetro de máxima y mínima, que está situada cerca del dispositivo experimental, a la misma altura que éste.

B. *Condiciones de las muestras.*

La tabla 1 muestra las características hidrofísicas de las muestras de los suelos de diferente textura: % de materia orgánica, densidad real, distribución porcentual del tamaño de las partículas y los valores de la humedad ponderal resultantes de la imbibición con agua a diferentes valores de tensión (INGELMO et al, 1984).

Las muestras de los seis suelos, tamizadas por malla de 2 mm de abertura y secadas al aire (con una humedad ponderal entre 0.5 % para la muestra arenosa y 4 % para las arcillosas) son colocadas en tubos de 5 cm de largo por 1.6 de diámetro interno que contienen las microcápsulas porosas, rodeando a éstas, de manera que se consigue un valor constante de densidad aparente, 1.30 g/cm³ para 5 de las muestras y 1.43 para la muestra arenosa.

Alrededor de cada tubo, en cada embudo, se ha colocado material aislante (mezcla de arena y trozos de porcelana porosa) que está cubierto en superficie por una lámina de papel de aluminio que actúa como material reflectante. Estas adaptaciones tienen por objeto la obtención de condiciones normalizadas de experimentación: homogeneidad y constancia en la humectación de las muestras por transmisión de agua desde las microcápsulas durante la duración del ensayo, con el fin de procurar mantener el estado estacionario de humedad, e impedir la formación de fisuras anulares en la separación tubo-suelo, por contracción de origen térmico así como evitar en lo posible la creación de gradientes térmicos por calentamiento directo del material experimental.

C. Medidas

Con este dispositivo experimental, se realizan durante el período del ensayo (7 de junio a 8 de julio) la lectura de la temperatura máxima y mínima correspondiente al tiempo entre dos medidas sucesivas de la evaporación y se determina gravimetricamente ésta pesando en la mañana de cada día, a la misma hora, los depósitos con agua desmineralizada que alimentan cada microcápsula y, desde ésta al suelo, así como el que alimenta la cápsula de referencia. La diferencia de pesos entre dos determinaciones, dividida por la superficie de evaporación —la de los tubos que contienen las muestras y la de la cápsula de referencia, respectivamente— es el valor de la evaporación expresada en mm/día. Durante esta operación, cada tubo capilar de nailón se introduce en un depósito que contiene también agua desmineralizada, del que previamente se conoce su peso; para evitar la entrada de aire en los tubos capilares por succión durante el cambio, se tapan los embudos que contienen las muestras de los suelos y también se tapa la cápsula de referencia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 2 muestra los valores de temperatura máxima, mínima y la amplitud térmica del aire en cada período de medida durante el ensayo. Son valores normales para la época del año y para la zona en que tiene lugar el ensayo. La no isotermita es manifiesta, a juzgar por los valores de la amplitud térmica, con extremos de 22°C y de 6.5°C.

Se han estudiado las correlaciones de la evaporación desde la cápsula de referencia con las temperaturas máximas y mínimas encontrando alta significación en el caso de la máxima y baja para la mínima. Ello está indicando que el dispositivo experimental utilizado para medir la evaporación de referencia es sensible a los valores máximos de radiación neta, que son los que ocasionan los valores máximos de temperatura y en consecuencia, los mayores valores de los gradientes de presión de vapor entre la atmósfera y la superficie evaporante. En la parte inferior de la tabla 2 se muestra esta correlación.

En la tabla 3 se exponen los valores de velocidad de evaporación diaria desde la superficie de las muestras de suelo y desde la de la cápsula porosa de referencia. Puede observarse que durante todo el ensayo, los de las muestras arcilloarenosas y arcillosas son superiores a los de la cápsula de referencia. Los de las muestras limoarenosa, arenosa y arenoarcillosas son superiores también pero más parecidos a los de aquella hasta la fecha 15 - 16 de junio e, inferiores después.

Se han estudiado correlaciones del tipo $y = ax^b$, donde y = velocidad de evaporación diaria de los suelos en mm/día, y x = velocidad de evaporación de referencia, encontrándose en todos los casos alta significación. En la parte inferior de la tabla 3 se muestran estas correlaciones. Destacan en primer lugar los

valores negativos del parámetros «a» para las muestras de suelos arenosa y limoarenosa, que también muestran los valores más altos del parámetro «b». En cuanto al resto de las muestras, los valores de «b» son muy parecidos, algo inferiores a los anteriores, y los de «a» quedan ordenados, en sentido creciente, según las muestras, de la forma: arenoarcillosa (2) < arcillosa (4) < arcillosa (5) < arcilloarenosa (3). Desde el punto de vista textural, no se encuentra una explicación lógica para esta ordenación, por lo que pensamos que debe estar relacionada con la naturaleza mineralógica de los materiales que componen las muestras. En todo caso este parámetro «a» debe ser un factor que indica el grado de aprovechamiento por las muestras de los suelos de la radiación neta. Los valores de «b» están menos contrastados, y vienen a significar como el suelo satisface los valores máximos de evaporación ambiental. Bajo esta consideración, los suelos de textura gruesa [arenoso (1), limoarenoso (6) y arenoarcilloso (2)] evaporan agua a menor velocidad pero responden de una manera más lineal que los de mayor contenido en arcilla.

Por otra parte, en el trabajo anterior (INGELMO et al, 1984) mostramos que los valores de flujo en sentido horizontal desde la cápsula al suelo, en las proximidades del equilibrio humedad —tensión siguen el orden decreciente según las muestras, arcilloarenoso (3) < arcilloso (5) < arcilloso (4) < arenoarcilloso (2) limoarenoso (6). Es decir, un orden inverso al encontrado para las velocidades de evaporación en condiciones climáticas naturales. Esto puede interpretarse considerando que:

1) En condiciones naturales, en la superficie de las muestras no se consigue el estado estacionario de humedad, y por ello, las muestras de los suelos pueden presentar un comportamiento histerético (a mayor velocidad de captación, menor velocidad de cesión), más acentuado en las de textura más gruesa.

2) En estas condiciones, la no isoterminia ambiental ocasiona gradientes térmicos de cuantía variable en las muestras de los suelos, dando lugar a que haya un flujo vertical (de sentido opuesto al de evaporación) cuyo valor sería superior también para las muestras de textura más gruesa.

CONCLUSIONES

1) La metodología empleada permite la normalización de las condiciones experimentales, a juzgar por la reproductividad de los resultados obtenidos a lo largo del ensayo.

2) La evaporación de agua en condiciones no limitantes de humedad es diferente según la naturaleza textural, y cabe pensar mineralógica, de las muestras. Se observa, en general, que las muestras de textura más gruesa evaporan agua a menor velocidad que las de mayor contenido en arcilla.

3) El flujo de agua inducido por la atmósfera desde la superficie de los suelos es superior para las muestras más arcillosas, independientemente de que retengan o no mayor cantidad de agua. Ello puede explicarse por la menor tendencia al comportamiento histerético de estas muestras y por la menor incidencia de los gradientes térmicos sobre las mismas.

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS DE LOS SUELOS.

SUELOS	1	2	3	4	5	6
% Materia orgánica	0.45	1.08	0.23	1.60	0.35	1.80
Densidad real	2.68	2.67	2.64	2.55	2.60	2.70
2 — 0.2 mm.	62.5	43.5	34.0	30.2	21.5	17.1
0.2 — 0.05 mm.	30.5	24.0	26.3	13.3	30.8	24.1
% 0.05 — 0.002 mm.	1.5	15.3	4.0	6.8	4.8	40.2
< 2 μ m.	5.0	16.1	34.2	47.4	42.6	15.9
(limo + arcilla)	6.5	31.4	38.2	54.2	47.4	56.1
% <i>Humedad ponderal, por imbibición</i>						
- 16	16.4	21.7	23.8	33.1	29.2	32.9
- 32	9.2	15.2	20.9	29.0	25.2	30.1
Tensión (cm) - 48	-	13.5	17.6	26.5	23.1	27.2
- 64	-	12.9	15.7	24.5	20.6	25.8
- 100	-	11.7	13.4	20.2	17.9	23.1

TABLA 2. VALORES DE LA TEMPERATURA MÁXIMA, MÍNIMA, MEDIA Y DE LA AMPLITUD TERMICA (Δ) DEL AIRE, EN CADA PERIODO DE MEDIDA DURANTE EL ENSAYO. CORRELACIÓN LINEAL ENTRE LA EVAPORACIÓN DESDE LA CAPSULA DE REFERENCIA Y LA TEMPERATURA MÁXIMA.

Temperatura				
Fecha	Máxima	Mínima	Media	Δ
7- 8/6	19.0	10.0	14.5	9.0
9	26.5	12.0	19.3	14.5
10	31.0	14.0	22.5	17.0
11	30.0	14.0	22.0	16.0
12	27.5	12.5	20.0	15.0
13	26.2	12.0	19.1	14.2
15-16	33.5	11.8	22.7	21.7
17	28.5	11.0	19.8	17.5
18	31.5	12.0	21.8	19.5
19	28.2	8.4	18.3	19.8
20	28.0	6.0	17.0	22.0
21	26.0	7.0	16.5	19.0
22	25.0	13.5	19.3	11.5
23	26.0	13.0	19.5	13.0
24	22.0	12.0	17.0	10.0
25	18.0	11.0	14.5	7.0
26	18.0	11.5	14.5	6.5
27	18.5	10.5	14.5	8.0
28	22.5	9.5	16.0	13.0
5- 6/7	26.5	13.5	20.0	13.0
7	26.0	14.0	20.0	12.0
8	26.5	14.5	20.5	12.0

$E. \text{ cápsula (mm/día)} = 0.386 T. \text{ máxima} - 3.671; r = 0.934 \text{ n} = 22$

TABLA 3. VALORES DE LA EVAPORACIÓN DE AGUA (mm.) DESDE LA SUPERFICIE
 DE LAS
 MUESTRAS DE LOS SUELOS, DESDE LA CÁPSULA DE REFERENCIA Y
 CORRELACIONES ENTRE LOS MISMOS.

SUELOS							
Fecha	1	2	3	4	5	6	Cápsula referencia
7- 8/6	5.03	4.93	5.92	5.60	5.92	4.74	4.69
9	6.49	6.62	7.93	7.48	7.93	6.33	6.29
10	7.26	7.13	8.56	7.89	8.56	7.29	7.23
11	7.16	7.00	8.44	7.77	8.44	7.00	6.94
12	8.05	7.89	9.45	8.85	9.58	7.67	7.61
13	7.70	7.54	9.04	8.47	9.17	7.61	7.55
15-16	8.34	8.88	9.80	9.29	9.71	7.51	9.11
17	7.29	7.35	8.31	7.70	8.63	6.78	7.23
18	7.70	7.86	9.26	8.66	9.42	6.94	8.44
19	6.88	7.03	8.31	7.70	8.44	6.62	7.69
20	6.72	6.88	8.12	7.51	8.24	6.43	7.53
21	6.62	6.62	7.89	7.23	7.73	6.11	8.82
22	5.47	5.47	6.62	6.11	6.56	5.41	5.92
23	5.35	5.44	6.11	5.86	6.21	5.03	6.00
24	3.50	3.79	4.46	4.07	4.36	3.41	3.69
25	2.64	2.86	3.37	3.09	3.31	2.58	2.80
27	2.67	2.77	3.34	3.12	3.41	2.51	2.84
28	5.44	5.57	6.46	6.05	6.27	5.12	5.58
5- 6/7	6.24	6.30	7.45	6.65	7.07	6.08	6.41
7	6.68	6.84	8.24	7.38	7.96	6.37	7.10
8	6.75	6.91	8.37	7.54	8.05	6.46	6.98

E. suelo 1	(mm/día)	=	-0.067 (E. cápsula) ^{1.017} ;	r = 0.988 n = 22
" 2	"	=	0.062 (E. cápsula) ^{0.960} ;	r = 0.993 n = 22
" 3	"	=	0.239 (E. cápsula) ^{0.950} ;	r = 0.988 n = 22
" 4	"	=	0.163 (E. cápsula) ^{0.950} ;	r = 0.989 n = 22
" 5	"	=	0.235 (E. cápsula) ^{0.950} ;	r = 0.988 n = 22
" 6	"	=	-0.062 (E. cápsula) ^{0.989} ;	r = 0.982 n = 22

BIBLIOGRAFÍA

- HILLEL, D. (1982). Applications of Soil Physics. Academic Press. New York.
- INGELMO SANCHEZ, F. y CUADRARÓ SÁNCHEZ, S. (1984). Cinética de imbibición de suelos de diferente textura. Proc. I Congres. Nac. Ciencia del Suelo. (I. 3.27-40. Madrid.
- PUECH, J., CUADRADO SANCHEZ, S., et HERNANDEZ, M. (1977). Influence du type textural sur l'évaporation et el drainage de différents sols, en presence ou non d'un végétal. C.R. Acad. sc. Paris (T-284, 12).
- MOORE, R. E. (1939). Water conduction from shallow water-tables. Hilgardia 12, 386-426.

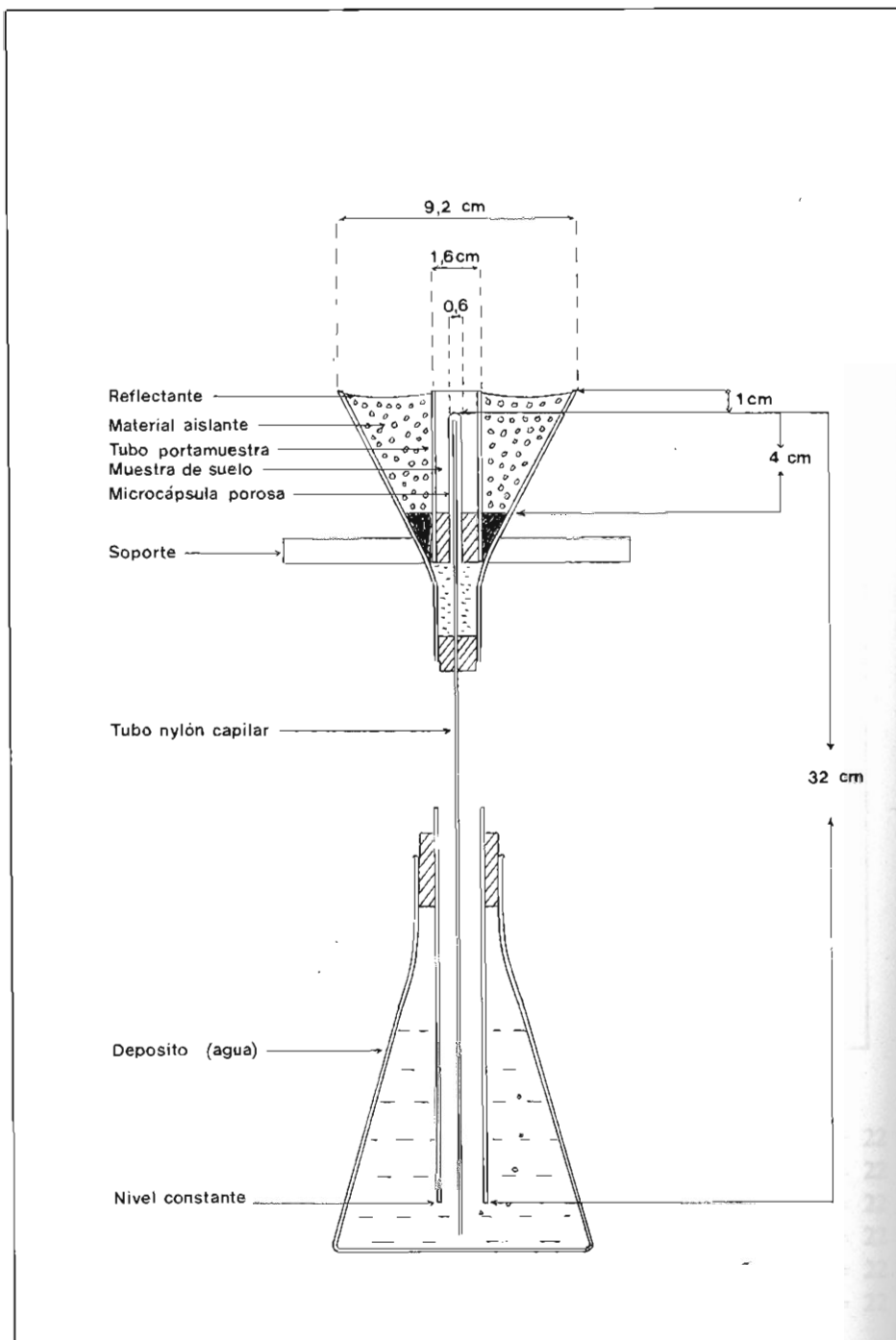


FIG. 1. Esquema del dispositivo unitario experimental de humectación de las muestras a la tensión de -32 cm.

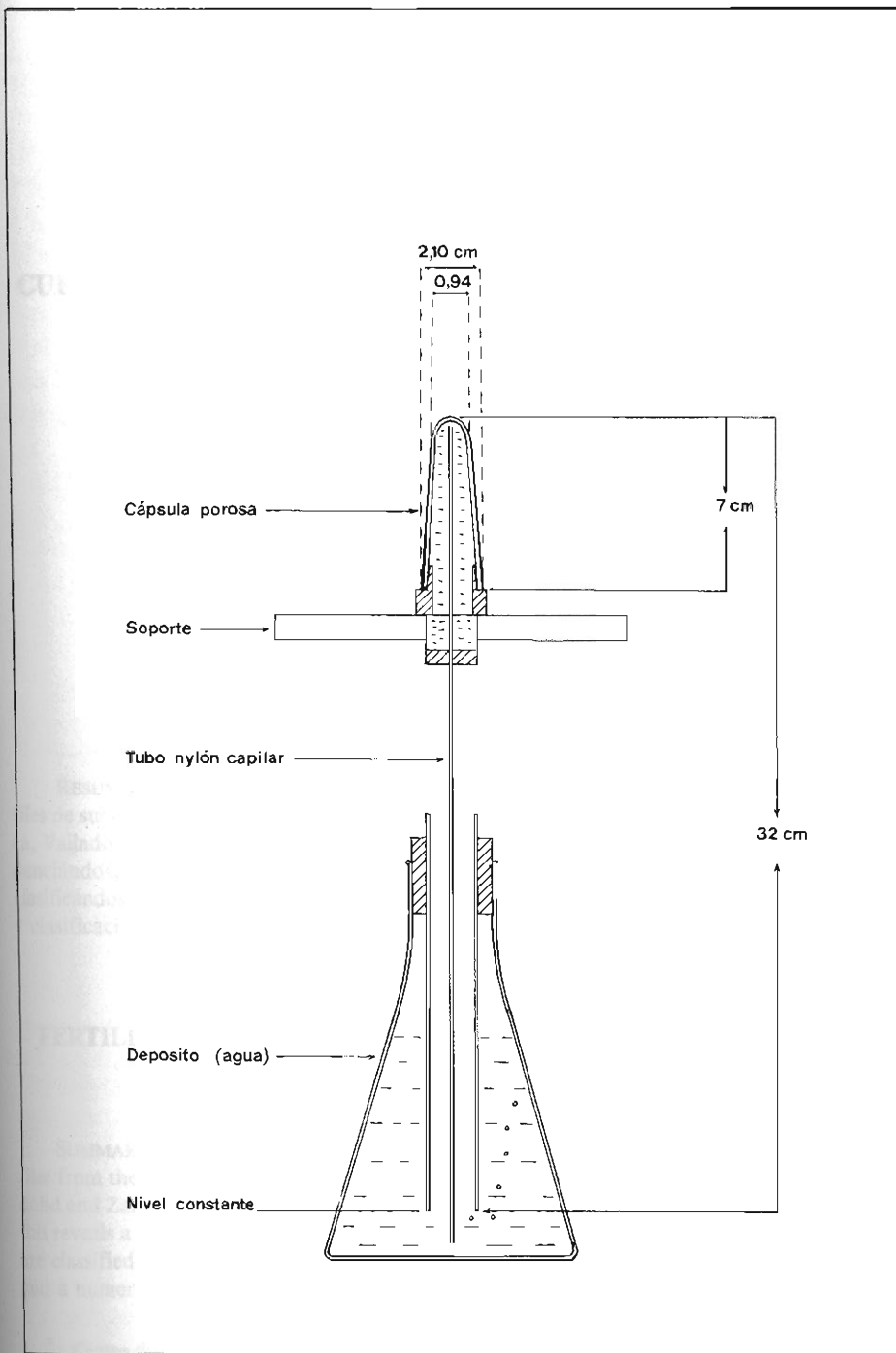


FIG. 2. *Dispositivo experimental para estimación del poder evaporante del aire, mediante una cápsula porosa humectada constantemente a la tensión de -32 cm.*