

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA



PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL SISTEMA DE  
RIEGO POR SUCCION EN CONDICIONES  
DE LABORATORIO

T E S I N A

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

PRESENTA

GILBERTO R. GONZALEZ GUTIERREZ

MONTERREY, N. L.

ENERO DE 1978

040.631  
FA 6  
1978  
C.5.

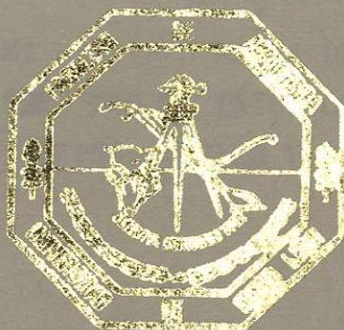
43  
S66  
G65  
C.1



1080061359

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA



INVENTARIADO  
AUDITORIA  
U.A.N.L.

PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL SISTEMA DE  
RIEGO POR SUCCION EN CONDICIONES  
DE LABORATORIO

T E S I N A

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

PRESENTA

GILBERTO R. GONZALEZ GUTIERREZ

MONTERREY, N. L.

ENERO DE 1978

5320

A handwritten signature or set of initials in dark ink, located in the bottom right corner of the page.

16-E-89

T  
S603  
G65

040.631

F A 6

L 9 7 8

c. 5



Biblioteca Central  
Magna Solidaridad

F Tesis



A MIS PADRES

RUBEN GONZALEZ FLORES  
REBECA GUTIERREZ DE GONZALEZ

QUIENES MARCARON EN MI LA LINEA RECTA DE LA HONESTIDAD  
Y LA HONRADEZ, A QUIENES CON MI ESTUDIO BRINDO UN PE--  
QUEÑO TRIBUTU DE ADMIRACION, CARIÑO Y RESPETO.

A MIS HERMANOS

RUBEN  
JESUS  
RICARDO  
REBECA  
MA. TERESA  
ANA MARIA

MI ETERNO AGRADECIMIENTO POR SU AYUDA Y ESTIMULOS BRIN-  
DADOS DURANTE MIS ESTUDIOS, CONSEJOS Y ORIENTACIONES EN  
PARTIDOS.

A MI ABUELITA

SRA. EVA FLORES VDA. DE GONZALEZ

A MIS CUÑADOS.

ROSA MARIA

MA. DEL ROSARIO

AIDE

CESAR

SALVADOR

ANTONIO JAIME

A MIS SOBRINOS.

CON CARIÑO Y PROFUNDO RESPETO.

A MI NOVIA

SRITA. PROFRA. ADEILA G. CANTU GARZA

Con gran amor por su apoyo y comprensión  
que me brindó durante mis estudios.



A MI ASESOR :

ING. JUAN FCO. PISSANI ZUÑIGA

CON AGRADECIMIENTO Y RESPETO POR TODOS SUS  
CONSEJOS Y AYUDA QUE ME BRINDO DURANTE --  
ESTE TRABAJO.

MI AGRADECIMIENTO AL ING. VICENTE ANGELES GARZA.  
POR LA AYUDA EN LA ELABORACION DE ESTE TRABAJO.

A MIS MAESTROS.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS.

A LA SRITA. MA. TERESA LOPEZ CRUZ  
CON ADMIRACION Y RESPETO.

# I N D I C E

	<u>PAGINA</u>
INTRODUCCION	1
A NTECED ENTES	3
Elementos Básicos del Sistema	3
Principios Básicos	5
Conceptos del Potencial del Agua en el suelo.	6
Movimiento del Agua en el Suelo	8
MATERIALES Y METODOS.	10
Materiales.	10
Métodos	12
RESULTADOS	16
DISCUSION DE RESULTADOS	18
COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES	28
Comentarios	28
Recomendaciones	29
BIBLIOGRAFIA	30

## INDICE DE CUADROS

<u>C U A D R O</u> No.		<u>P A G I N A</u>
1	Características-químicas del suelo utilizado en las pruebas experimentales de riego por succión.	13
2	Relación de variables de las pruebas.	15
3	Registro de las observaciones del primer ensayo experimental del tanque de pruebas.	19
4	Registro de las observaciones del segundo ensayo experimental del tanque de pruebas.	22
5	Registro de las observaciones del tercer ensayo experimental del tanque de pruebas.	25

## INDICE DE FIGURAS

<u>FIGURA</u> No.		<u>PAGINA</u>
1	Elementos básicos del sistema de riego por <u>suc</u> ción.	4
2	Materiales y equipo utilizados en las pruebas experimentales.	11
3	Curva de calibración de la fuente de abasteci- miento de agua.	17
4	Gráfica que relaciona el consumo "VS" la evapora- ción, en el primer ensayo experimental.	20
5	Gráfica que relaciona el consumo "VS" la evapora- ción, en el segundo ensayo experimental.	23
6	Gráfica que relaciona el consumo "VS" la evapora- ción, en el tercer ensayo experimental.	27

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

La irrigación, es un antiguo método usado por el hombre para abastecer de agua a los cultivos en aquellas épocas del año en que la lluvia no ocurre o resulta insuficiente para cubrir las necesidades hídricas de los mismos.

Debido a que la precipitación pluvial en las zonas áridas de México es escasa y de mala distribución y al alto costo de conducción y - bombeo de agua de riego, obtenida de mantos freáticos profundos, excluyen toda posibilidad práctica de explotar esas zonas con fines agrícolas bajo los métodos tradicionales de riego.

Los métodos de riego han evolucionado a través del tiempo - desde los antiguos métodos de inundación, a sistemas mecánicos y de estos, a sistemas de dosis como el riego por goteo, la eficiencia de los riegos enumerados anteriormente no ha perdido vigencia y buena aplicación en muchas partes del país y del mundo.

Esto ha enseñado que se debe aceptar y alentar cualquier - - innovación en este campo, pero también a tomar precauciones y evitar los altos riesgos que plantea el considerar un determinado método de riego como "superior a los demás" y de "aplicación general".

En fechas recientes está desarrollándose un sistema a nivel experimental, que permite aplicar el agua de riego y los fertilizantes -- solubles eficazmente a los cultivos; utilizando para esto, pequeñas fuentes de abastecimiento de agua, que no requiere para su operación una fuente de energía externa, ya que aprovecha el gradiente de tensión hidrostática que se crea dentro de un sistema agua-suelo-planta, y es la planta, al parecer, la que regula el sistema y su propio régimen de humedad en la medida en que incidan sobre ella los factores involucrados en el proceso evapotranspirativo.

El sistema al que se hace referencia se le ha denominado riego por succión, ha sido desarrollado solamente a nivel experimental; y se desconocen sus limitaciones, y las variables de su implantación a nivel parcelario, por esta razón se ha estado realizando investigación, a este respecto para determinar su funcionalidad en el campo, que de ser positiva, tendría utilidad principalmente en zonas donde se cuenta con un volumen limitado de agua para riego.

El objetivo del presente trabajo consistió en probar el sistema de riego por succión en condiciones de laboratorio para obtener información previa acerca de la instalación del mismo y los problemas que presenta su operación así como, observar el desarrollo de un cultivo de rabanito irrigado por este método, para establecer las normas para futuras investigaciones.

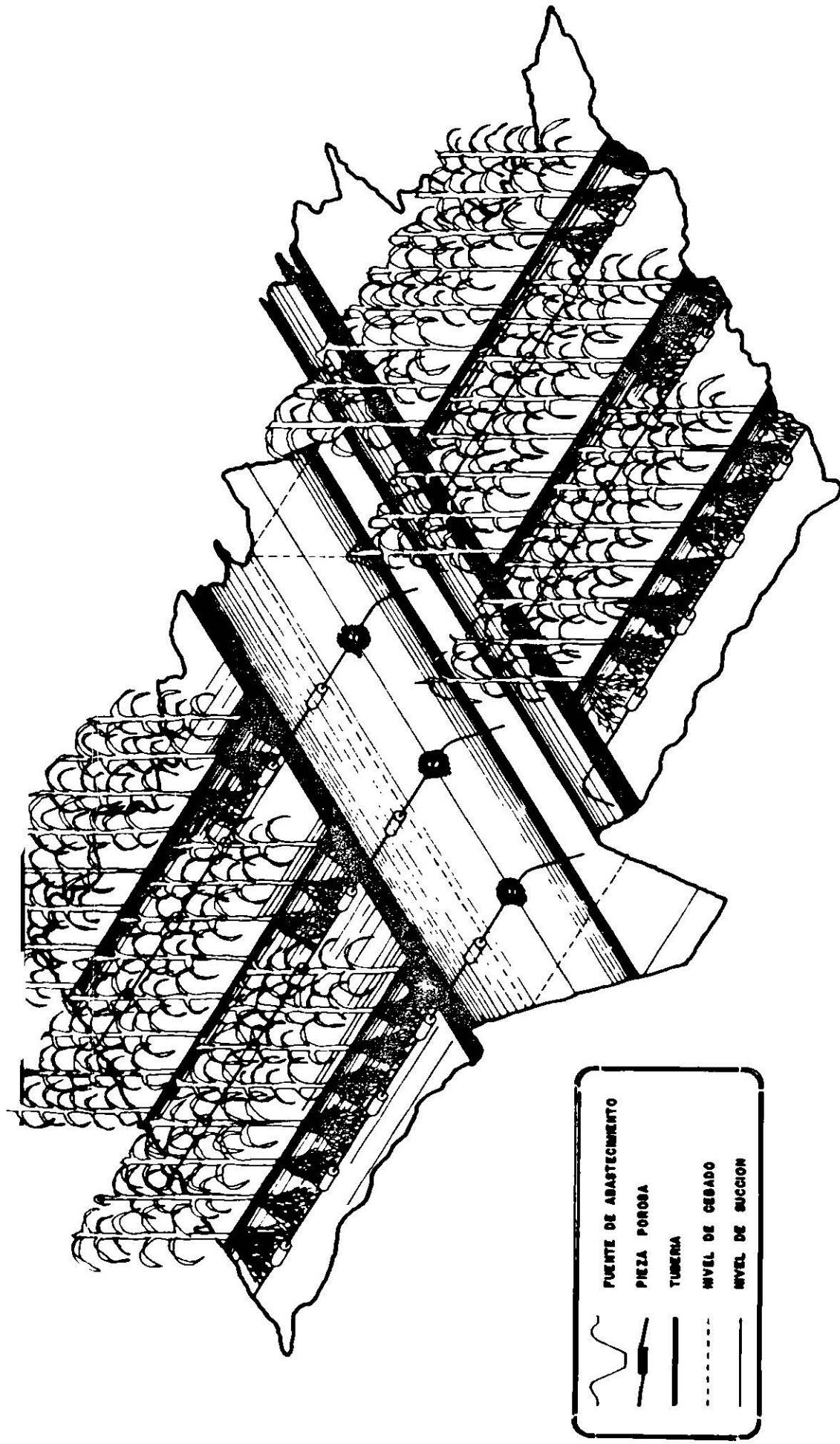


Figura.- 1 : ELEMENTOS BASICOS DEL SISTEMA DE RIEGO POR SUCCION.

## ANTECEDENTES

Liuiston, 1908, 1913, citado por Kramer ( 7 ), tuvo la idea de crear sistemas de auto-irrigación utilizando conos huecos de porcelana para suministrar el agua a las plantas a medida que ésta hacía falta.

Korneff et al, citado por Richard y Blood (15 ), han utilizado por algunos años auto-irrigadores fabricados de arcilla en forma cilíndrica de 7 cms. de diámetro y 60 cms. de longitud conectados con tubos de -- plástico concluyendo que sí tiene utilidad práctica. Reed, et al ( 7 ), - 1962, informaron haber empleado con éxito los auto-irrigadores para mantener un potencial mátrico constante de 50 cms. de columna de agua.

Las primeras observaciones hechas en México sobre la operación del sistema de riego por succión fueron hechas por Olguín, en condiciones de invernadero. ( 10 )

Los elementos básicos de este sistema son :

Una cápsula porosa "hueca" hecha de barro cocido no expansible; la cual va enterrada en el suelo por debajo del sistema radicular.

Una tubería de diámetro pequeño que une a las cápsulas porosas con una fuente de abastecimiento de agua colocada a nivel inferior de las cápsulas porosas. Ver Fig. 1



## Principios básicos.

Cuando el sistema cápsula-tubería-fuente de abastecimiento, - está lleno de agua\*, la columna de agua pendiente, no fluye hacia la fuente de abastecimiento por dos razones:

- 1a. Los poros de las cápsulas se llenan de agua que es retenida por fuerzas de adhesión.
- 2a. Al llenarse los poros de la cápsula con agua, no permiten la entrada del aire al interior y crean un vacío, provocando una ausencia de presión atmosférica en la cápsula.

Esto significa que la tensión capilar de la cápsula porosa y la acción de la presión atmosférica que actúa en la fuente de abasteci--miento retengan el agua contra la acción de la gravedad por lo menos en - un rango de diferencias de nivel teóricamente posible de varios metros.

*\*Esto se logra dando inicialmente una pequeña carga de agua en la fuente de abastecimiento y cerrando el extremo abierto de la tubería una vez - expulsado todo el aire del sistema.*

Por otra parte, se genera una corriente de agua desde la pieza porosa saturada hacia el suelo seco debido al gradiente de tensión hidrostática que se presenta en este sentido (de la cápsula al suelo).

Cuando la diferencia entre los potenciales del agua de la pieza porosa y del agua del suelo, disminuyen debido al humedecimiento de este, el gradiente de energía es mínimo y el flujo cesa prácticamente, o sea, entre en equilibrio, sin embargo, si cerca de las cápsulas porosas existen plantas que absorben la humedad del suelo y la transpiran hacia la atmósfera, el gradiente entre el suelo y la cápsula porosa vuelve a incrementarse y el flujo de agua también con una intensidad proporcional a la absorción del agua del suelo por las plantas. (11)

El sistema de riego por succión podría definirse como un sistema en el cual no se requiere de una fuente externa de energía sino que se aprovecha el gradiente de succión (diferencia de tensión hidrostática), el cual opera en un suelo continuamente desecado por efecto de la evapotranspiración de un cultivo y un cuerpo poroso el cual está comunicado con la fuente de abastecimiento de agua, permitiéndole un aprovisionamiento continuo eficiente y localizado únicamente en la zona radicular de un cultivo.

Concepto del potencial del agua del suelo.

Como muchos de los procesos que ocurren en la naturaleza, el movimiento del agua del suelo a la planta y de ésta a la atmósfera son el resultado de la acción de una fuerza. El movimiento del agua en el -

suelo o la planta podrá ocurrir solamente de un área de mayor a menor potencial total. (1)

El potencial hídrico de un suelo o una planta se puede definir como la energía potencial que contiene el agua, debido a su posición o condición interna que la capacita para producir trabajo útil en un sistema o campo de fuerzas. (3, 7, 8)

Si a partir de esta definición se considera la influencia de la fuerza de gravedad el potencial total del agua está expresado por

$$\Psi_T = \Psi_W + \Psi_g + \dots \quad (1)$$

donde :

$\Psi_T$  = es el potencial total.

$\Psi_W$  = es el potencial hídrico.

$\Psi_g$  = es el potencial gravitacional.

El potencial hídrico ( $\Psi_W$ ) se considera formado a su vez por :

$\Psi_m$ .- Potencial matricial. Qué es el resultado de las fuerzas de adhesión y cohesión que se suscitan entre un cuerpo sólido y el agua en los estrechos conductos capilares de un suelo o una planta.

$\Psi_p$ .- Potencial de presión. Es la energía que posee el agua cuando está sometida a mayor presión que la de un nivel de referencia dada, "agua pura a la misma temperatura y presión atmosférica".

$\Psi_s$ .- Potencial osmótico. Se puede considerar como un potencial negativo,

debido a la disminución de la capacidad del agua en dilución para producir trabajo útil con respecto a el agua pura.

$$\Psi_T = \Psi_g + \Psi_p + \Psi_m + \Psi_s \quad \dots \quad (2)$$

Movimiento del agua en el suelo.

Ha sido costumbre establecer la diferencia entre flujo saturado y flujo no saturado en el suelo, la diferencia principal consiste en que en suelos saturados la gravedad controla el gradiente de potencial hídrico, mientras que en suelos drenados, este es controlado por el potencial matricial. (7)

Cuando el agua se mueve dentro de un suelo saturado, lo hace como resultado de diferencias de presiones hidrostáticas que solo incluye a los términos  $\Psi_g$  y  $\Psi_p$  en la ecuación.

La ley que describe ese movimiento es conocida como la Ley de Darcy :

$$V = -K \frac{\Delta \Phi}{\Delta Z} \quad (3)$$

donde :

$V$  = Velocidad del flujo en cm./seg. en la dirección  $Z$ .

$\Phi$  = Potencial hídrico total en cm. de agua.

$\Delta Z$  = Representa la profundidad. (cm.)

$K$  = Coeficiente de proporcionalidad que se conoce como conductividad hidráulica y se expresa en cm./seg.

Esta ley expresa que la cantidad de agua que se mueve a través de una sección transversal unitaria de suelo en la unidad de tiempo es proporcional al gradiente hidráulico. (1,3)

Cuando ha salido un cierto volumen de agua de la masa de suelo considerado, el movimiento del agua se realiza en condiciones de no saturación forzado por diferencias de potencial en las cuales ya no es tan importante el potencial gravitacional sino el matricial. El potencial de presión no opera en estas condiciones, pues normalmente desaparece cuando se presenta el matricial, que ahora tiene la mayor importancia. (7)

La ecuación de Darcy describe también este proceso pero con ciertas consideraciones en las que se incluye la conductividad hidráulica  $K$ , ahora como una función del contenido de humedad del suelo. (3, 4, 7)

Si el suelo sigue desecándose hasta el grado de que las películas líquidas que cubren las partículas de suelo pierdan su continuidad, puede ser importante el flujo en forma de vapor, principalmente cuando existan diferencias de temperatura considerables dentro de la masa del suelo. (8)

## MATERIALES Y METODOS

La presente investigación se llevó a cabo en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León y ésta consistió en tres pruebas experimentales de riego por succión utilizando como cultivo el rabanito. A continuación se describen los materiales, equipo y procedimiento utilizados.

### MATERIALES.

Los materiales y equipo utilizados en las pruebas experimentales son los siguientes : Ver Fig. 2.

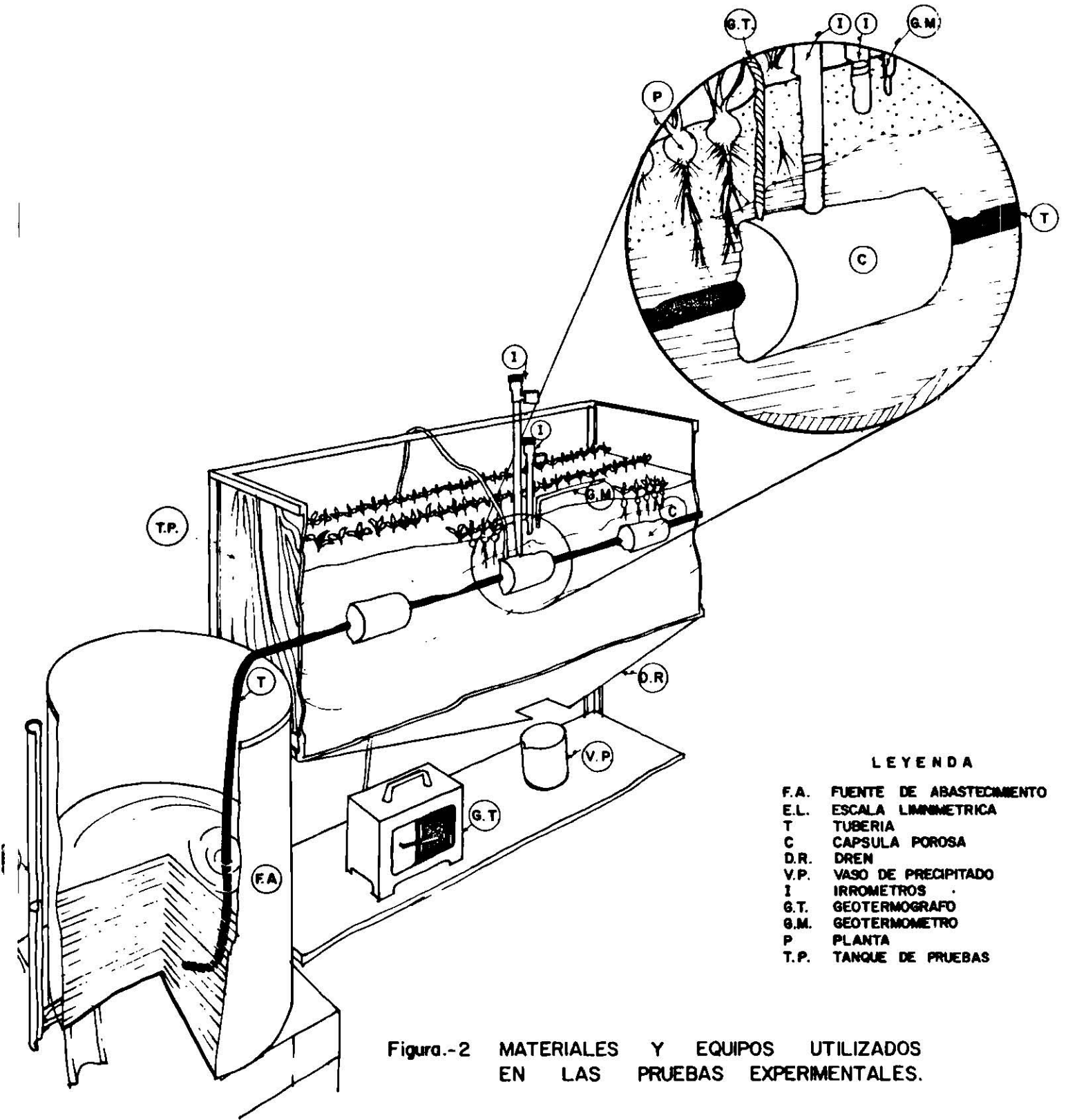
Tanque de pruebas (T.P) en el que se desarrollaron los experimentos, consistió en un depósito de madera con paredes de vidrio de 51 cm. de ancho por 95.5 cm. de largo y 50 cm. de alto.

El sistema de drenaje (Dr) colocado en la parte inferior del tanque de pruebas para percolar y coleccionar los posibles excesos de agua.

Línea de cápsulas porosas (c) colocadas al centro del suelo confinado dentro del tanque de pruebas.

Tubería (T) de polietileno que comunica a la línea de cápsulas con la fuente de abastecimiento.

Fuente de abastecimiento (F.A) consistió en un tanque de acero cilíndrico con capacidad de almacenamiento de 60 Lts. al que se le instaló una escala



**LEYENDA**

- F.A. FUENTE DE ABASTECIMIENTO
- E.L. ESCALA LIMNIMETRICA
- T TUBERIA
- C CAPSULA POROSA
- D.R. DREN
- V.P. VASO DE PRECIPITADO
- I IRROMETROS
- G.T. GEOTERMOGRAFO
- G.M. GEOTERMOMETRO
- P PLANTA
- T.P. TANQUE DE PRUEBAS

**Figura.-2 MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS EN LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.**

lineométrica (E.L) para medir la altura de la carga de succión en centímetros y el consumo en litros, ver Fig. 3. Al tanque de pruebas se le instaló el siguiente equipo de medición:

Dos irrómetros (i) para formar un criterio y/o establecer un nivel de referencia en cuanto al contenido de humedad del suelo a profundidades, sin embargo la curva de retención, porcentaje de humedad vs. tensión, no se realizó.

Un geotermómetro (G.M) y un geotermógrafo (G.T) instalado a diferentes profundidades para conocer la temperatura del suelo.

El suelo utilizado en los tres experimentos fué el mismo para cada uno de los casos y se trajo del campo experimental "El Canadá" propiedad de esta Facultad. Ver Cuadro No. 1

#### METODOS.

Al construir el tanque de pruebas se le colocó en la parte inferior una hoja de triplay perforada formando una cuadrícula por encima de esta se colocó una malla de alambre y una capa de grava de 2 cm. de espesor con el objeto de dejar pasar los posibles excesos de agua al dren y así evitar la pérdida de las partículas de suelo.

Sobre la arena se colocó el suelo completamente mullido en capas de 10 cm. y de acuerdo a la profundidad a como se encontraban en el perfil del suelo de donde se tomaron, hasta una altura de 20 cms. en donde se colocaron las cápsulas porosas.



CUADRO I. CARACTERISTICAS FISICO QUIMICAS DEL SUELO UTILIZADO EN LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES DE RIEGO POR SUCCION.

DETERMINACION	ANALISIS	CLASIFICACION AGRONOMICA
COLOR (Escala MunSELL)	Seco 10 y R <sup>6/2</sup> Húmedo 10 y R <sup>4/2</sup>	Gris cafésáceo claro Café grisáceo obscuro
REACCION (Relación Suego-Agua 1:2)	pH 7.8	Medianamente alcalino
TEXTURA (Método del Hidrómetro)	Arena 24 % Limo 30 % Arcilla 46 %	Arcilloso
MATERIA ORGANICA (Método Walkley y Black)	1.7 %	Mediano
NITROGENO TOTAL (Método Kheldahl)	0.08 %	Pobre
FOSFORO APROVECHABLE (Método Olsen)	2.0 p.p.m.	Bajo
POTASIO APROVECHABLE (Método Peech y English)	390 Kg./Ha.	Muy rico
SALES SOLUBLES TOTALES (Puente Wheatstone)	Conduc. Elect a 25°C 1.5 mmhos/cm.	Muy ligeramente salino

Estas cápsulas se unieron a la tubería de polietileno con pegamento y se colocaron sobre el suelo al centro del tanque de pruebas, uno de los extremos de la línea de cápsulas se introdujo en la fuente de abastecimiento de agua y el otro fuera del tanque de pruebas, el cual permaneció abierto. Después se procedió a cebar el sistema dando inicialmente una carga hidráulica positiva y una vez expulsado todo el aire del sistema, se procedió a cerrar el extremo abierto.

Cuando se observó el completo humedecimiento de las cápsulas y comprobando que no existieran fugas entre las pegaduras, se procedió a enterrarlas junto con los instrumentos de medición a la profundidad deseada en las diferentes pruebas experimentales, ver Cuadro No. 2.

CUADRO No. 2 .- RELACION DE VARIABLES DE LAS PRUEBAS

VARIABLES	PRUEBA I	PRUEBAS II y III
Tipo de cápsula	Celospuma	Barro Cocido
Dimensiones	4 cm. x 4 cm. x 7.5 cm.	5 cms. de $\emptyset$ x 10 cms. de largo
Número de cápsulas	5 cápsulas	3 cápsulas
Espaciamiento entre caps.	16.5 cms.	35 cms.
Profundidad de las caps.	17 cms.	15 cms. 10 cms.
Tipo de tubería	Polietileno transparente Diám. 5/16 pulg.	Polietileno negro Diám. 1/2 pulgada
Profundidad de los -	7 cms.	2 cms. 2 cms.
irrómetros	17 cms.	10 cms. 10 cms.
Geotermómetro	7 cms.	2 cms. 2 cms.
Geotermógrafo	27 cms.	10 cms. 27 cms.
Rangos de Carga de Succión	+6.34 - 14.80	+0.687 - 19.24 +27.73 - 1.2925

## RESULTADOS

En los cuadros Nos. 3, 4 y 5 se muestra el registro diario de campo de los datos que se tomaron durante la realización de cada una de las pruebas experimentales y estas se tomaron a las 7:00 A.M. en todos los casos.

Con los datos de la lectura de la escala lineamétrica, cuarta columna de los registros de campo y con la curva de calibración del tanque de abastecimiento de agua Fig. 3, se calculó el consumo diario en litros que aparece en la quinta columna de dichos registros.

Con los datos de consumo en litros y conociendo la superficie del suelo a irrigar ( $.4845 \text{ mts.}^2$ ) se calcularon las láminas de agua diariamente consumidas, ver columna No. 5.

Una vez calculadas las láminas de agua consumidas, y con los registros de la evaporación media diaria proporcionados por la estación meteorológica del campo experimental "El Canadá", se construyeron los gráficos que aparecen en las figuras No. 4, 5 y 6 en donde se compararon los consumos de agua en contra de la evaporación de un tanque tipo A en mm.

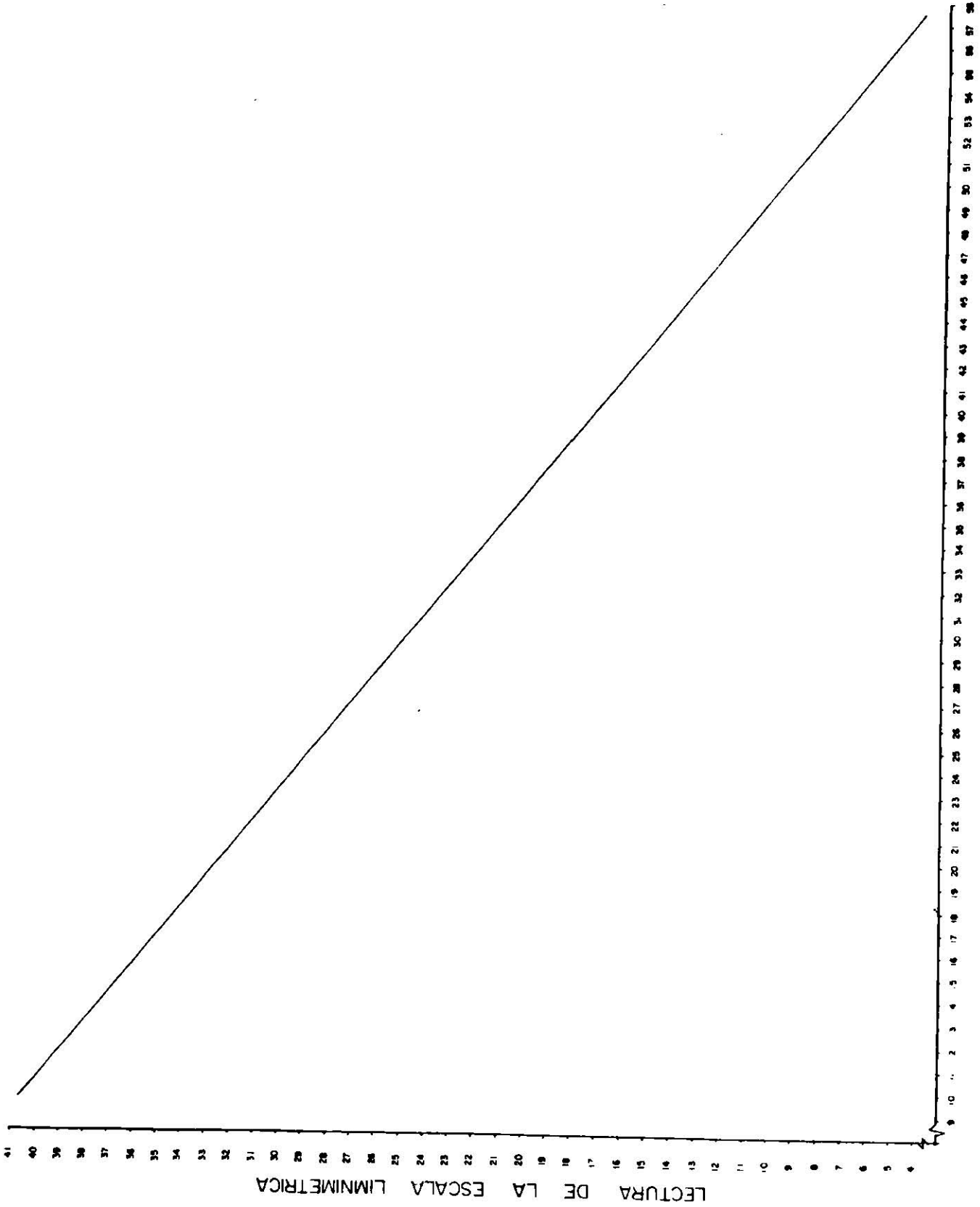


FIGURA 3 CURVA DE CALIBRACION DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

## DISCUSION DE RESULTADOS.

En el Cuadro 3, se muestra el registro de campo de las variables que se estudiaron durante la primera prueba experimental. Esta prueba tuvo una duración de 30 días, donde el desarrollo del cultivo fué bastante raquítico debido principalmente a los bajos contenidos de humedad logrados, debido a fallas en el sistema de riego.

A los 14 días del experimento se observó la presencia de algas - en la manguera que conectaba a la fuente de abastecimiento con el tanque de pruebas, amenazando con obstruirla y romper la columna de agua pendiente. Esto se debió a que dicha manguera era transparente y dejaba pasar - los rayos de sol a través de ella, tratando de remediar este problema, se aplicó sulfato de cobre, a razón de .4 gr./lto. en la fuente de abastecimiento y después se cambió el agua de riego para no crearle fitotoxicidad al cultivo.

A los 24 días del experimento, las plantas presentaron síntomas de marchitez y a los 31 días, siete días después, al no recuperarse el - cultivo se dió por concluído el experimento.

En base a los resultados que se muestran en las columnas No. 6 y 15 del Cuadro No. 3 con la que se construyó el gráfico que aparece en la Fig. 4 puede decirse que el volúmen de agua aportado por el sistema es mucho menor que la evaporación, aproximadamente en un 50% y si se observan detenidamente los datos de tensión se verá que el contenido de humedad logrado por el sistema es deficiente, razón por la que se concluye que los

CUADRO No. 3  
REGISTRO DE LAS OBSERVACIONES DEL PRIMER ENSAYO EXPERIMENTAL DEL TANQUE DE PRUEBAS

FECHA	DIAS	CARGA HIDRAULICA	LECTURA E. L.	CONSUMO / DIA		TEMP. DEL SUELO		TENSION		SUELO
				lts.	mm.	7 cm.	27 cm.	7 cm.	17 cm.	
8-05-76	0									
8-09-76	4	+0.9517	10.1			40	31	38		25
8-10-76	5	-0.1057	11.1	1.304	2.69	41.7	29	32		16
8-11-76	6	-4.8645	15.6	9.857	12.08	38	30	38		17
8-12-76	7	-5.922/8.46	16.6/19.0	1.339	2.76	37.5	30	46		30
8-13-76	8	-9.0945	19.6	0.750	1.55	38.5	31	52		34
8-14-76	9	-14.80/15.18	25.0/6.1	7.000	14.45	37.3	28	58		38
8-15-76	10	+3.2782	7.9	2.419	4.99	35.25	28	56		30
8-16-76	11	+1.85	9.25	1.848	3.81	35.25	29	58		34
8-17-76	12	+1.11	9.95	1.0	2.0639	32.50	26	62		39
8-18-76	13	+0.528	10.50	0.705	1.46	33.0	25	69		45
8-19-76	14	+0.106	10.90	0.518	1.069	28.75	26	64		51
8-20-76	15	-0.216	11.20	0.428	0.88	23.50	20.05	6		56.5
8-21-76	16	-0.529	11.50	0.429	0.88	28.0	25.0	14		54
8-22-76	17	-1.058/2.59	12.0/13.45	0.688	1.42	29.5	25.0	28		58
8-23-76	18	-3.330	14.15	1.376	2.84	30.0	26.0	49		61
8-24-76	19	-3.96/5.39	14.75/16.1	0.750	1.54	30.75	26.5	64		70
8-25-76	20	-8.97	16.65	2.00	4.13	30.75	28.8	77		83
8-26-76	21	-6.45/-7.24	17.1/17.85	0.750	1.55	31.0	26.5	79		86
8-27-76	22	-7.87	18.45	0.750	1.55	31.0	28.0	84		89
8-28-76	23	-8.037/16.34	18.60/5.0	0.214	0.44	31.25	25.0	87		90
8-29-76	24	+6.292	8.95	1.188	2.45	32.0	27.0	86		89
8-30-76	25	+4.177	7.05	1.800	3.10	32.5	28.5	84		88
8-31-76	26	+3.278	7.90	1.125	2.32	33.8	27.0	81		88
9-01-76	27	+2.327	8.80	1.188	2.45	33.5	30.0	81		90
9-02-76	28	+1.4805	9.60	1.125	2.45	33.5	28.5	82		92
9-03-76	29	+0.3173	10.70	1.500	3.10	35.0	26.5	85		91
9-04-76	30	-0.7403	11.70	1.411	2.91	34.75	25.5	82		89

PERCOLACION ml.	PRECIPITACION mm.	OBSERVACIONES GENERALES	TEMP. Amb. °C.	EVAPORACION mm.
		Siembrá		
		Germinación	27.25	8.42
			26.00	8.02
		Se cebó nuevamente el sistema	26.00	7.98
		" " " " "	26.75	7.97
		Aclareo de plantas	27.0	7.31
		Se cebó nuevamente el sistema	26.75	6.73
			28.0	6.10
	.2	Cambio de grafico (geotermogram)	28.0	5.60
			27.5	5.0
	13.9	Se presentaron algas en el tubo	26.75	5.04
			26.50	4.62
	21.45		24.25	4.89
	1.1		26.75	4.09
		Se volvió a cebar el sistema	24.75	6.01
			29.00	6.05
		Se volvió a cebar	25.25	6.50
			25.50	5.78
			24.75	6.25
			24.50	5.00
	0.7	Presenta síntomas de murchas	26.00	4.30
			25.5	6.24
			25.0	4.29
			25.80	5.10
			26.0	5.25
			26.0	6.30
			27.0	4.95
			27.5	6.58

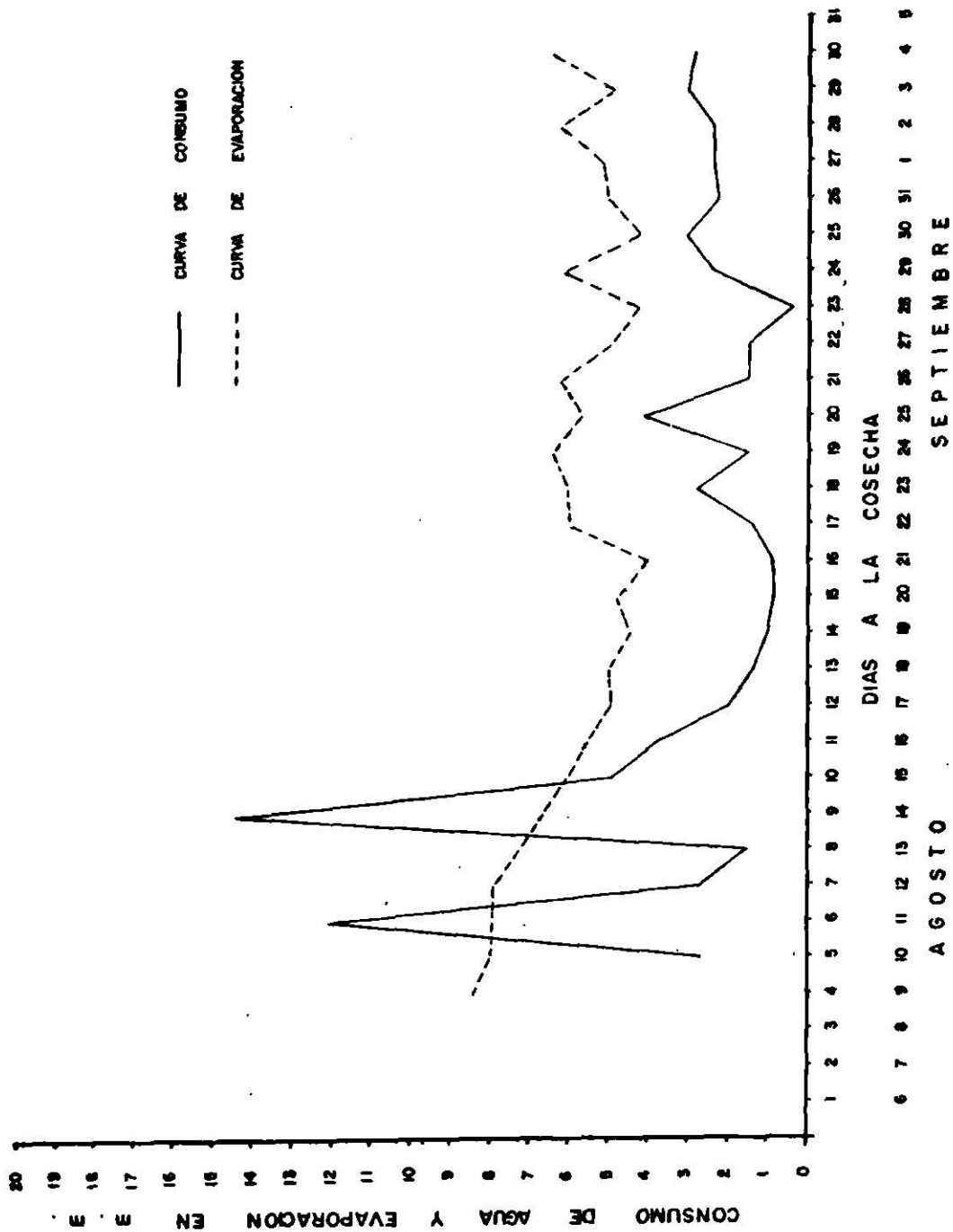


FIGURA 4. CONSUMO VS EVAPORACION



síntomas de marchitez de las plantas, siete días antes de concluído el experimento fueron debidos a la deficiente operación del sistema.

En el Cuadro No. 4, se muestra el registro de campo de las variables que se estudiaron durante la segunda prueba experimental. Esta prueba tuvo una duración de 32 días y el cultivo se desarrolló bastante bien pero no se pudieron obtener datos de producción confiables, porque la cosecha no se realizó en forma escalonada.

En este experimento, la máxima carga de succión obtenida fué de - 19.2 cms., el consumo de agua durante la prueba fué uniforme y en base a las lecturas de los tensiómetros instalados, se podría pensar que el sistema logró aparentemente altos contenidos de humedad, sin embargo se observó que hubo frecuentes excesos de humedad en el suelo como lo demuestran los datos de agua percolada, columna No. 11 del Cuadro No. 4, el volumen de agua percolada corresponde a una lámina de 7.48 mm. durante el ciclo.

El exceso de humedad puede haberse debido al agua aportada por las precipitaciones pluviales registradas y que corresponde a una lámina de 52 mm.

Por otra parte en la Fig. 5, se puede apreciar que el volumen de agua aportado por el sistema, es mayor que la evaporación media diaria. En vista de lo contradictorio de los datos no se pueden obtener conclusiones válidas bajo ningún aspecto y solo resta recomendar que se repita el

CUADRO No. 4

REGISTRO DE LAS OBSERVACIONES DEL SEGUNDO ENSAYO EXPERIMENTAL DEL TANQUE DE PRUEBAS

FECHA	DIAS	CARGA DE SUCCION	LECTURA E.L.	CONSUMO / DIA		TEMP. SUELO		TENSION SUELO	
				Lts.	mm.	2 cm.	10 cm.	2 cm.	10 cm.
10-20-76	0								
10-24-76	4	+ .581	10.45						
10-25-76	5	- 8.898/.687	11.85/11.65	.634	1.308				
10-26-76	6	- 3.066	12.9	2.14	4.42				
10-27-76	7	- 3.0807	13.6	.393	.811				
10-28-76	8	+ 2.80/2.69	12.65/12.55						
10-29-76	9	+ 2.80	12.65	.22	.454				
10-30-76	10	+ 3.384	13.2	.750	1.547				
10-31-76	11	+ 4.547	14.3	1.25	2.579	19.2	19.5	3	6
11-1 -76	12	- 5.393	15.1	1.0	2.0639	17.7	18.9	3	5
11-2 -76	13	- 6.0277	15.7	.80	1.65	25.5	22.5	4	9
11-3 -76	14	- 6.87	16.5	1.07	2.208	25.0	21.0	5	9
11-4 -76	15	- 8.04	17.6	1.42	2.93	24.8	19.0	10	10
11-5 -76	16	- 8.98	18.5	1.14	2.352	21.3	19.0	9.5	10
11-6 -76	17	- 9.99	19.45	1.24	2.559	23.5	21.0	10.0	12
11-7 -76	18	-10.41	20.85	1.81	3.735	21.	20.0	9.0	10
11-8 -76	19	-10.57	21.0	.187	.386	20.5	19.0	8.0	9
11-9 -76	20	-12.42	21.75	.973	1.008	20.3	19.0	7.5	10
11-10-76	21	-12.10	22.45	.857	1.768	24.5	21.0	10.05	12
11-11-76	22	-14.17	23.40	1.23	2.538	24.2	26.0	11.5	11.5
11-12-76	23	-15.38	24.55	2.5	5.16	19.0	13.0	7.0	6.0
11-13-76	24	-16.02	25.15	.81	1.671	7.5	2.0	4.5	5.0
11-14-76	25	-16.49	25.60	.56	1.155	10.9	10.5	7.0	10.0
11-15-76	26	-17.03	26.10	.62	1.279	14.0	14.5	10.0	10.0
11-16-76	27	-17.66	26.7	.76	1.568	12.0	15.0	3	1.0
11-17-76	28	-17.76	26.8	.14	.289	10.2	13.0	3	0
11-18-76	29	-17.87	26.9	.14	.289	9.6	13.0	1	0
11-19-76	30	-18.08	27.1	.25	.516	12.5	14.5	3	7
11-20-76	31								
11-21-76	32	-19.24	28.2	1.4	2.889	19.8	19.2	8	10

PERCOLACION ml.	PRECIPITACION mm.	OBSERVACIONES GENERALES	TEMP. AMB. °C.	EVAPORACION mm.
		Siembra	15.0	3.95
		Germinación	23.0	3.70
			23.5	3.45
			19.5	.10
		Se le agregó 200 ml. de solución	20.5	4.50
1100	25		10.0	1.75
60			13.5	1.15
			18.5	2.10
			16.0	1.80
			17.0	1.80
			13.5	1.0
			15.5	2.6
			16.0	2.8
			15.0	3.45
400	37		16.5	3.45
			19.0	3.50
			16.5	1.40
			16.0	2.10
			15.5	1.40
			20.0	2.65
100			19.5	4.15
			7.5	.10
			4.0	.65
1000			8.5	1.35
			8.0	1.35
700			8.0	.10
300			9.5	.30
			13.5	.50
			19.0	1.50

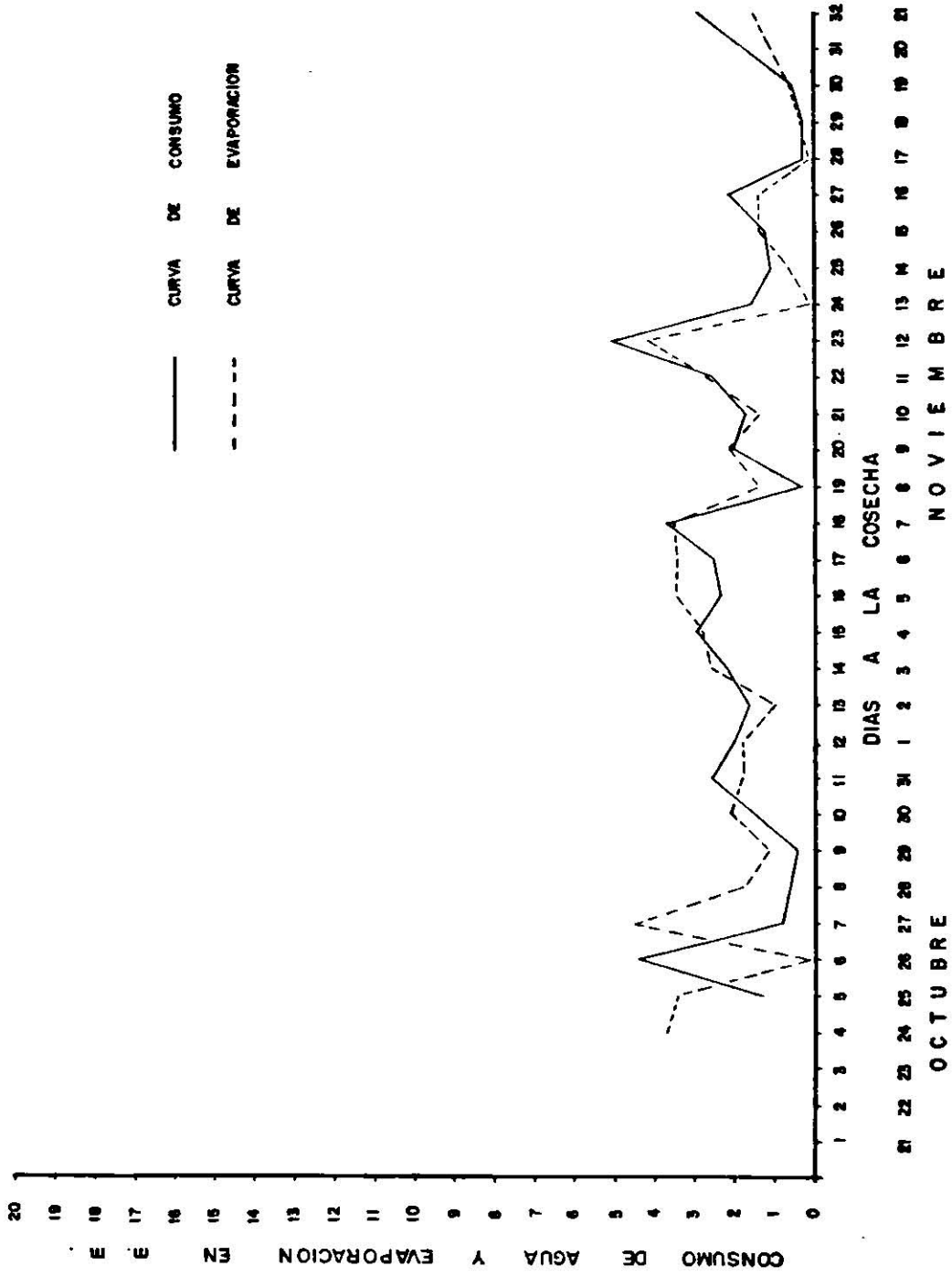


FIGURA 5. CONSUMO VS EVAPORACION

experimento.

En el cuadro No. 5, se muestra el registro de campo de las variables que se estudiaron durante la tercera prueba experimental. Esta tuvo una duración de 67 días y el cultivo se desarrolló bastante bien, obteniéndose una producción equivalente a 37.5 Ton./Ha. con una densidad de 133,000 plantas por hectárea.

Durante esta prueba la máxima carga de succión obtenida fue de -8.6 cms., registrada a los 37 días de iniciado el experimento, después de la cual se trabajó con carga positiva, porque se presentaron problemas con el cebado. Ver columna 3 Cuadro No. 5, se trabajó el sistema con carga positiva durante más del 44% de la duración total del experimento.

Los consumos de agua registrados durante la prueba fueron bastante uniformes pero mucho menores durante los primeros 37 días que los restantes 30, que duró el experimento, esto se debió precisamente a que se cambió la carga de operación del sistema durante ese período columna 3 - Cuadro No. 5.

Las lecturas de la tensión hidrostática del suelo a 2 y a 10 cm. de profundidad, aparecen en las columnas No. 9 y 10 del Cuadro No. 5, estos fueron bastante bajas, menores de 25 centibares durante los primeros 37 días fueron más elevadas entre 30 y 60 a 2 cms. de profundidad y entre 25 y 50 centibares a 10 cms.

CUADRO No. 5  
REGISTRO DE LAS OBSERVACIONES DEL TERCER ENSAYO EXPERIMENTAL DEL TANQUE DE PRUEBAS

FECHA	DIAS	CARGA HIDRAULICA	LECTURA E. L.	CONSUMO / DIA		TEMP. DEL SUELO		TENSION	SUELO
				lts.	mm.	2 cm.	27 cm.	2 cm.	10 cm.
11-22-76	0	-11.6325	28.9						
11-27-76	5	-13.5125	30.5	2.125	4.3857	18	21	10	8
11-28-76	6			.1875	.3869				
11-29-76	7	-13.865	30.8	.1875	.3869	6.75	10.0	0	0
11-30-76	8	-24.0875	39.5	.1375	.2837	8.3	11.0	0	0
12-01-76	9	-14.2175	31.1	Anulado		12.0	15.0	0	0
12-02-76	10	- 1.2925	31.1	.250	.5159	18.0	18.7	9.0	6.0
12-03-76	1	+ 2.35	28	.2500	.5159	18.0	17.5	16.0	7.5
12-04-76	2	- 1.9975	31.7	Anulado		19.5	19.5	21.0	7.5
12-05-76	3	- 2.2325	31.9	.1500	.3095	17.5	19.7	22.0	7.5
12-06-76	4	- 2.4675	32.1	0.000	0.0000	22.0	23.0	15.0	9.0
12-07-76	5	- 2.82	32.4	.625	1.2899	15.5	17.0	23.5	9.0
12-08-76	6	- 3.055	32.6	.2858	.5898	16.2	16.4	24.0	9.0
12-09-76	7	- 3.76	33.2	.7856	1.6213	14.5	16.0	20.0	10.0
12-10-76	8	- 4.1125	33.5	.4286	.8845	14.0	17.1	14.0	10.0
12-11-76	9	- 4.3475	33.7	.250	.5159	16.0	13.0	5.0	9.0
12-12-76	20	- 4.52375	33.85	.166	.3426	12.5	15.5	5.0	7.0
12-13-76	1								
12-14-76	2	- 4.8175	34.1	.167	.3446	12.5	15.5	5.0	7.0
12-15-76	3	- 4.935	34.2	.125	.2579	16.5	15.5	10.0	7.0
12-16-76	4	- 5.17000	34.4	.250	.5159	18.5	18.6	13.0	10.0
12-17-76	5	- 5.875	35.0	.750	1.5479	16.0	13.0	10.5	7.0
12-18-76	6	- 6.11	35.2	.250	.5159	15.0	17.2	9.0	9.0
12-19-76	7	- 6.345	35.4	.375	.7739	21.0	21.0	14.0	12.0
12-20-76	8	- 6.6975	35.7	.392	.8090	14.5	17.6	7.5	7.0
12-21-76	9	- 7.05	36.0	.2866	.5915	9.0	12.5	12.0	6.0
12-22-76	30	- 7.285	36.2	.2134	.4404	9.5	13.0	13.0	7.5
12-23-76	31	- 7.57875	36.45	.42	.8668	11.5	14.0	10.0	9.0
12-24-76	32	- 7.81375	36.65	.438	.9039	14.0	15.0	14.0	11.0
12-25-76	33	- 8.225	37.0	.250	.5159	17.5	18.5	14.0	11.0
12-26-76	34	- 8.46	37.2	.125	.2579	15.5	16.5	21.0	15.0
12-27-76	35	- 8.518	37.25	0.1/	.2063	16.5	17.0	17.0	24.0
12-28-76	36	- 8.57 / - .3525	37.3/30.1	1.250	2.5798	19.5	20.0	30.0	27.5
12-29-76	37	- .8225/+3.99	30.7/26.6	1.250	2.5798	16.5	17.5	45.0	45.0
12-30-76	38	+ 3.99/+27.73	26.6/6.4	0/	0.0000	19.0	19.5	66.0	66.0
12-31-76	39	+26.79	7.2	1.0536	2.1745	14.5	15.0	75.0	54.0
1-01-77	40	+26.026	7.85	.875	1.8059	10.0	12.0	75.0	26.0
1-02-77	41	+24.7925	8.4	.7842	1.6185	9.5	12.5	51.5	16.0
1-03-77	42	+24.91	8.8	.4658	.9613	11.0	12.2	32.0	24.0
1-04-77	43	+24.205	9.4	.8928	1.8426	14.5	15.5	35.0	27.0
1-05-77	44	+23.3825	10.1	.9822	2.0271	13.0	15.7	38.0	18.0
1-06-77	45	+22.4425	10.2	.1250	.2579	12.0	15.5	30.0	14.0
1-07-77	46	+22.09	11.2	1.3214	2.7272	15.0	14.5	34.0	16.0
1-08-77	47	+21.15	12.0	1.1426	2.3582	14.5	15.5	41.0	25.5
1-09-77	48	+20.21	12.8	1.000	2.0639	15.0	16.0	52.0	32.0
1-10-77	49	+19.1525	13.7	1.161	2.3961	9.5	10.5	63.0	35.0
1-11-77	50	+18.4475	14.3	.8125	1.6769	9.5	10.5	67.0	27.0
1-12-77	51	+17.7425	14.9	.6875	1.4189	9.8	13.6	60.0	21.0
1-13-77	52	+17.8725	18.3	.8000	1.0119	12.0	14.0	46.0	25.0
1-14-77	53	+16.5675	18.9	.8408	1.7383	14.0	15.8	44.0	29.0
1-15-77	54	+15.6275	16.7	1.0342	2.1344	15.2	16.0	49.0	30.0
1-16-77	55	+14.9225	17.3	.750	1.5479	11.5	14.0	45.0	10.0
1-17-77	56	+14.9225	17.3	0.0	0.0000	7.0	11.0	29.0	11.0
1-18-77	57	+13.7475	18.2	1.1868	2.4488	11.5	13.8	33.0	20.0
1-19-77	58	+13.0425	18.9	.9385	1.9369	10.5	13.0	43.0	24.0
1-20-77	59	+12.3375	19.5	.750	1.5479	13.7	14.0	49.0	27.0
1-21-77	60	+11.3975	20.3	1.00	2.0639	13.4	15.0	57.0	24.0
1-22-77	61	+10.81	20.6	.6875	1.4189	14.5	17.0	55.0	19.0
1-23-77	62	+10.105/9.87	21.3/21.6	.625	1.2899	17.5	18.0	44.0	23.0
1-24-77	63	+ 9.0475	22.3	.9911	2.0455	17.0	19.0	50.0	20.0
1-25-77	64	+ 7.99	23.2	1.18	2.4354	17.0	16.0	45.2	16.2
1-26-77	65	+ 7.99	23.2	0	0.0000	17.0	19.0	39.0	20.0
1-27-77	66	+ 6.9325	24.1	2.125	4.3857	22.0	25.0	48.0	30.0
1-28-77	67	+ 5.64	25.2	1.56	3.2196	22.5	24.0	60.0	38.0

PERCOLACION M.L.	PRECIPITACION M.L.	OBSERVACIONES GENERALES	TEMP. AMB. ° C.	EVAPORACION mm.
		Siembra	17.5	3.15
			21.0	.80
	24.0		12.0	.50
	5.0		15.0	.10
			4.0	.10
		Se cambió N.R. 19 a 30	19.5	1.10
		Se observó una pequeña burbuja	13.0	1.96
			15.0	2.81
			17.5	1.90
			16.0	1.31
			19.0	1.24
			11.5	2.86
			10.0	2.15
			9.5	0.89
			8.5	0.06
			11.0	0.45
	1		10.0	1.00
	4		10.0	0.56
	1		13.0	1.92
	1.5		15.5	0.40
	.8		13.0	1.10
	.8		11.5	0.12
	1.7		14.5	0.25
			19.5	0.40
			8.0	2.48
			7.0	1.52
	.1		7.5	1.20
	1.5		10.5	.95
			13.0	.94
			11.5	2.04
		Burbuja en la manguera	9.0	3.00
		Se rompió la columna	14.5	2.85
		Se rompió la columna	19.0	5.00
		Se rompió la columna	14.5	2.85
		Carga positiva	19.0	3.05
	.1		11.0	3.55
	8.5		8.0	0.30
	.20		7.5	0.60
	.20		9.0	1.15
	.20		13.0	2.85
	2.60		9.5	0.17
			10.5	1.00
			12.5	2.00
			14.0	1.88
			16.5	3.65
			5.0	2.20
			7.5	1.45
			8.5	0.45
			10.5	0.50
	.20		14.0	1.47
	.40		9.5	2.60
			9.0	2.40
			5.5	0.20
			9.5	3.90
			8.0	2.10
			11.0	2.25
			9.5	1.05
	.8		12.5	0.55
	2.0	Se eliminaron burbujas	16.5	2.10
	1.8		15.0	1.05
	.5		10.0	0.60
			16.5	2.25
			19.5	5.95
			9.0	5.05

En esta prueba se puede decir que no hubo excesos de humedad como lo demuestran los datos de percolación columna No. 11, ni tampoco aportaciones de agua por precipitación, ya que siempre que se previa posibilidades de lluvia, se tapaba el sistema con un hule para no enmascarar los datos de consumo.

Por otra parte en la Fig. 6, se puede observar salvo algunas -- excepciones que la lámina de agua aportada por el sistema es menor que la evaporación media diaria y en general es un 80% de la evaporación media diaria promedio durante el ciclo del cultivo. La lámina de agua aportada durante todo el ciclo fué de 91 mm. y la lámina de agua evaporada en el tanque de evaporación fué de 108.2 mm.

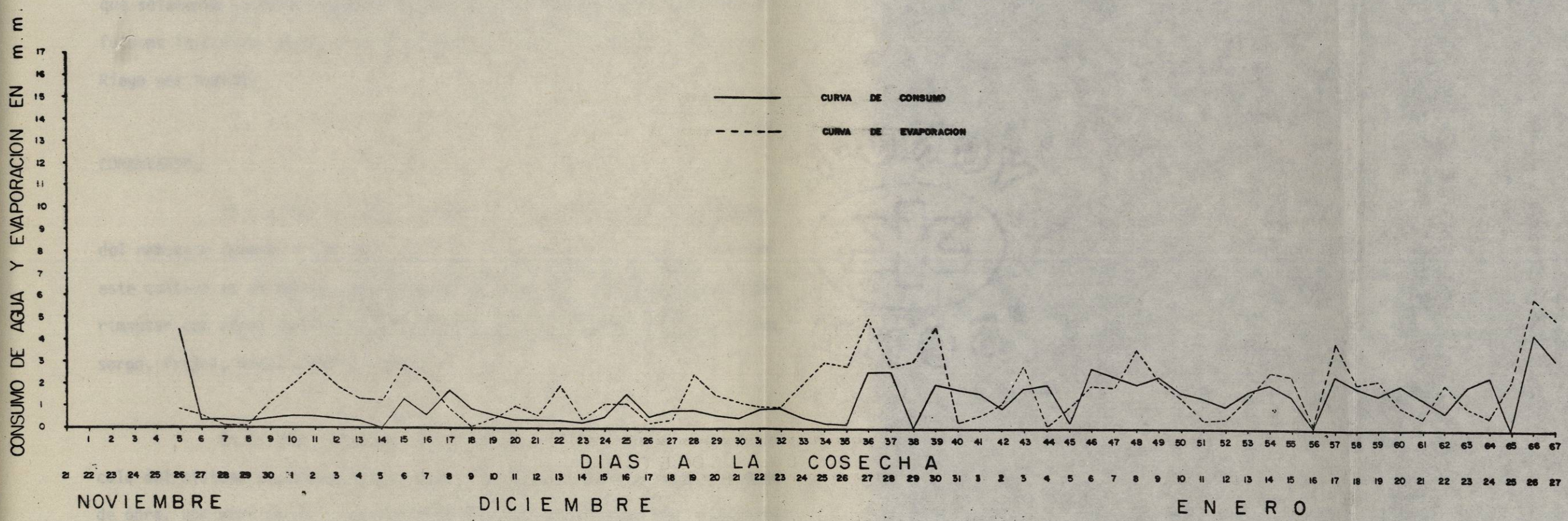


FIGURA 6. CONSUMO VS EVAPORACION



## COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES

El presente, es un trabajo de observación y estudio por lo que solamente se harán algunos comentarios y recomendaciones respecto a futuras investigaciones, que se pretendan realizar sobre el sistema de Riego por Succión.

### COMENTARIOS.

El sistema es capaz de satisfacer las necesidades hídricas del rabanito (*Raphanus Sativos L.*) Var. Crisom Gigant, sin embargo como este cultivo es de bajos requerimientos de humedad, es recomendable experimentar con otros cultivos de medianas y altas necesidades hídricas como sorgo, frijol, maíz, alfalfa, etc.

En lo que se refiere a la instalación y operación a gran escala del sistema experimentado, es muy laboriosa y requiere de mucha mano de obra, por otra parte, la profundidad máxima a la que pueden ir enterradas las cápsulas, es un factor limitante para las labores culturales propias del cultivo, al hacerlas con maquinaria agrícola debido a que es de trato delicado y una fuerza regular, puede quebrar las piezas o desconectarlas.

Desde el punto de vista estadístico, no se puede hacer ninguna conclusión, debido a que no se realizó el trabajo bajo un diseño experimental porque no se contaba con la información suficiente.

## RECOMENDACIONES.

Es recomendable repetir los experimentos por lo menos con tres repeticiones por tratamiento y un testigo para poder obtener conclusiones válidas para así determinar el tamaño de muestreo y de parcela experimental.

Es necesario realizar investigaciones sobre las siguientes variables que influyen en el sistema :

- A.- Longitud máxima de la línea regante, con una sola fuente de abastecimiento.
- B.- Distancia entre las piezas porosas.
- C.- Material más eficiente en la pieza porosa.
- D.- Tamaño de la pieza porosa.
- E.- Profundidad a la que van enterradas.
- F.- Carga de succión.
- G.- Efectos que causa la textura del suelo sobre la eficiencia de operación del sistema.
- H.- Determinar la eficiencia del acoplamiento de las micro-cuencas de captación y almacenamiento de agua de lluvia para abastecer el sistema de riego por succión, que dependerá únicamente de la precipitación que sea captada.

## B I B L I O G R A F I A

1. Bayer, L.D., Gardner, W.H. y Gardner, W.R. Física de suelo. México, - UTEHA, 1973.
2. Black, C.A. Relaciones suelo planta. Trad. por Armando Rabuffetti y - Susana Darre. Buenos Aires. Hemise Sur 1975. V. 1 444 p.
3. Gavande, S.A. Física de Suelos; Principios y aplicaciones. México,D.F. Limusa Wiley, 1972, 357 p.
4. George, N.C. Davey, B.G. y Smiles, D.E. Suelos, Atmósfera y Fertilizantes; Fundamentos de Agricultura Moderna, Trad. del inglés por Luis García Torres. Barcelona, Aedos, 1971, V. 1. 335 p. (Biblioteca -- Agrícola Aedos).
5. Henin, S., Gras, R. y Monnier, G. El Perfil Cultural; El Estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas. Trad. de la Primera Ed. francesa por Carlos Roquero de Labarú y Jaime García Casal Taracena, Madrid, Mundi - Prensa, 1972. 342 p.
6. Israelsen, W.O. y Hansen, V.E. Principios y aplicaciones del riego. -- Trad. por Alberto García Palacios, 2a. Ed. Barcelona, Reverte, 1975. 400 p.

7. Kramer, P.J. Relaciones Hídricas de Suelos y Plantas; Una síntesis moderna, Trad. Leonor Tejeda, México, Euatex, 1974, 538 p.
8. Luthin, J.N. Drenaje de Tierras Agrícolas. Trad. Alfonso Blackaller - Valdéz. México. Limusa 1967. 784 p.
9. Olguin, P.C. et al. Observaciones sobre el efecto de riego por succión en el rendimiento y desarrollo de maíz (VAR N-507) en el distrito de riego No. 41, Río Yaqui Son. in Memorias del 9º Seminario Nacional sobre la Ciencia del Suelo. Durango, 1975. 18 p.
10. \_\_\_\_\_ Riego por Succión, descripción del método y avances en la investigación. in Memorias del 1er. Seminario Nacional de Riego por Goteo, Hermosillo, Son. 1975. V.2 pp. 165-181.
11. \_\_\_\_\_ Desarrollo de un sistema de riego por succión. in Colegio de Postgraduados de la Escuela Nacional de Agricultura de Chapingo. Avances en la enseñanza y la investigación 1975-1976, Chapingo, México 1976, pp. 114-115.
12. Oliver, H. Riego y Clima; nuevos métodos para la planeación y desarrollo de los Recursos Hidráulicos, Trad. por José Luis de la Loma, México, D.F., C.E.C.S.A., 1969. 264 p.
13. Ortíz, B. Edafología 2da. Ed., Chapingo, Méx. Escuela Nacional de Agricultura, 1975, 291 p.

14. Poiree, M. y Olliver, Ch. El Regadío; Redes, Teoría, Técnica y Economía de los riegos; Trad. por Jesús Fernández Moreno, 2a. Ed. Barcelona, ETA, 1970, 362 p.
15. Richards, L.A. and Blood, H.L. Some Improvements in Auto-irrigation Apparatus. Journal of Agricultural Research. 49:115-121. 1934.
16. Velazco, H.A. Cosecha de agua de lluvia en regiones áridas. México, D.F., Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 1974. 45 p.

