

# UTILIZACION DEL INFILTROMETRO CON DOBLE DESAGUE EN SURCOS PARA LA DETERMINACION DE LAS CURVAS DE INFILTRACION.

Aderaldo de Souza Silva  
David Riestra Díaz  
Manuel Anaya Garduño

## INTRODUCCION

La determinación de la función de Infiltración del agua en el suelo es de gran importancia para el regador. La importancia de esta propiedad de los suelos ha motivado a varios investigadores (Criddle et al, 1956; Bishop, 1961; Davis y Fry 1963; Wile y Smerdon, 1965; Galván y Fernández, 1974; Erie, citado por de la Loma, 1970; Queiroz, Millar y Boers, 1975) a desarrollar aparatos sencillos que evalúen lo más aproximadamente posible la velocidad de Infiltración en el Campo.

La preocupación de los investigadores reside en la obtención de un método más representativo de las condiciones de campo dado que los métodos comúnmente utilizados presentan algunos problemas, como los infiltrómetros de anillos (infiltrómetro de Cilindro, Michael et al., 1972). Según Nelson (7) citado por de la Loma, este procedimiento tiene serias limitaciones, por ejemplo

plo el modo de colocación en el suelo. La mayor parte de los métodos de colocación causan una cierta modificación en las condiciones de campo que se manifiesta por la degradación o compactación del suelo y puede causar una gran variación entre las velocidades de infiltración determinadas en operaciones sucesivas. Según González (10), el método de entradas y salidas da resultados satisfactorios en la estimación de la velocidad de infiltración.

En base a las consideraciones anteriores al propósito a esta investigación es presentar un método de determinación de la velocidad de infiltración, modificado del infiltrómetro de Surco, (boers y Millar, 1974), que analizado a través de procedimientos muy simplificados, puede proporcionar una base firme para mejorar las determinaciones de las pruebas de infiltración a nivel de predios o granjas.

## MATERIALES Y METODOS

### Ubicación del sitio experimental.

El experimento se estableció en el campo experimental "San Martín" del Colegio de Postgraduados de la ENA, el cual se ubica geográficamente a  $19^{\circ}29'$  de latitud norte y  $98^{\circ}53'$  de longitud al oeste del meridiano de Greenwich, con una altura sobre el nivel del mar de 2258 mts (1).

### Características del clima.

Los valores promedio anuales para el lugar son:

Temperatura	15°C
Precipitación	625 mm
Evaporación	1491 mm
Humeda Humedad relativa	67.7%

Las mayores precipitaciones se presentan en los meses de junio, julio y agosto, sobrepasando los 100 mm de lluvia para cada uno de estos meses. Las menores precipitaciones se presentan en el invierno y el otoño. De acuerdo con estas características y según García citado por Aceves (1) el clima se clasifica como C (Wo) (W) b(i<sup>1</sup>). Siendo húmedo con lluvias en verano y con un coeficiente de precipitación total anual de mm/temperatura media anual en °C, menor de 43.2 C(Wb), con un porcentaje de lluvia anual menor que el 5% de la total (W), templado con verano fresco y largo, con temperatura media entre 12 y 18 C, temperatura del mes más frío entre 3° y 18°C y temperatura media del mes más caliente entre 6.5° y 22°C.

### Planeación de las pruebas comparativas.

Mediante el presente trabajo, se pensó encontrar las curvas de infiltración por diferentes métodos y comparar los promedios



204

Algunas Características físico-químicas del suelo de San Martín, donde fueron realizadas las pruebas de velocidad de infiltración a través de diferentes métodos de determinación. (4).

	pH	CE	M.0%	N to- tal	kg/ha P	K	P <sub>s</sub>	Da	% are- na	% li- mo	% arci- lla	Textura Identificada
1	7.0	1.0	0.24	0.18	37.0	280	39.0	1.4	50.0	28.0	22.0	mig. arenosa
2	7.2	0.69	0.23	0.14	12.0	120	46.0	1.2	44.0	32.0	24.0	franco
3	7.2	1.2	0.24	0.10	7.0	80	46.0	1.2	44.0	36.0	20.0	franco
4	7.3	0.60	0.38	0.14	56.0	540	33.0	1.4	58.0	24.0	18.0	mig. arenoso
5	7.8	0.43	1.14	0.14	33.0	440	29.0	1.4	66.0	20.0	14.0	mig. arenoso
6	7.5	0.44	0.20	0.12	15.4	320	24.5	1.4	80.0	10.0	10.0	arena migajonosa
7	7.5	0.57	1.14	0.10	52.2	440	34.0	1.4	52.0	28.0	20.0	mig. arenoso
8	7.3	1.3	0.87	0.10	52.2	160	44.0	1.4	52.0	20.0	28.0	mig. arcilla A.
9	7.3	0.72	0.87	0.08	53.0	80	27.0	1.4	50.0	14.0	36.0	mig. arcilla A.

1. Algunas características hídricas del suelo de San Martín.

	C.C. por columnas	C.C. (0.3 At- mosfera)	PMP (15 At- mosferas)						
1	18.6	20.07	10.1	1	Pozo No. 1	Prof. 0-30	L.x.8	Chapingo	
2	25.10	26.7	13.8	2	Pozo No. 1	Prof. 30-60	L.x.8	Chapingo	
3	24.50	25.6	11.3	3	Pozo No. 1	Prof. 60-90	L.x.8	Chapingo	
4	16.30	18.0	9.5	4	Pozo No. 2	Prof. 9-30	L.x.8	Chapingo	
5	16.40	17.7	9.4	5	Pozo No. 2	Prof. 30-60	L.x.8	Chapingo	
6	10.30	11.3	5.8	6	Pozo No. 2	Prof. 60-90	L.x.8	Chapingo	
7	17.79	18.8	9.7	7	Pozo No. 3	Prof. 0-30	L.x.8	Chapingo	
8	23.20	24.6	13.1	8	Pozo No. 3	Prof. 30-60	L.x.8	Chapingo	
9	15.20	16.5	8.2	9	Pozo No. 3	Prof. 60-90	L.x.8	Chapingo	



de los parámetros que indican propiedades del suelo entre las ecuaciones obtenidas. Sin embargo, no existe un medio para decidir cual es la ecuación correcta, que no sea comparando los resultados con los obtenidos por otros métodos; Queiroz et al (1975).

Acompañando esta metodología se estudió el comportamiento del infiltrómetro con doble desagüe frente a otros métodos usuales para la determinación de las curvas de infiltración.

Métodos utilizados:

1. Infiltrómetro de doble cilindro, Fig. 2
2. Infiltrómetro con doble desagüe para surco, Figs. 1, 5 y 6.
3. Entradas y salidas (con medidores Parshall) Fig. 3.
4. Microcuencas, Fig. 4.

Las pruebas realizadas en el campo experimental San Martín con 5 repeticiones para cada método y los resultados comparados con el promedio de diez determinaciones realizadas en la misma área por el método del infiltrómetro de doble cilindro.

Descripción de los métodos para determinar la velocidad de infiltración.

- a) Método del infiltrómetro de doble cilindro.

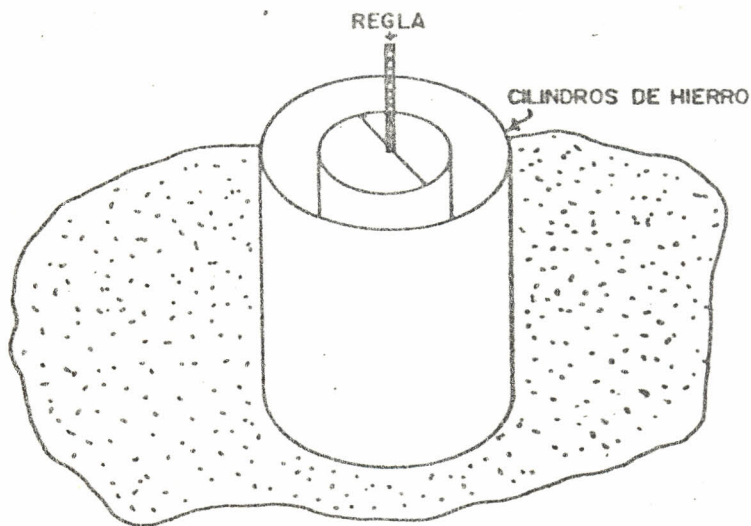


FIG. . METODO DEL INFILTROMETRO DE DOBLE CILINDRO PARA DETERMINAR LAS CURVAS DE INFILTRACION

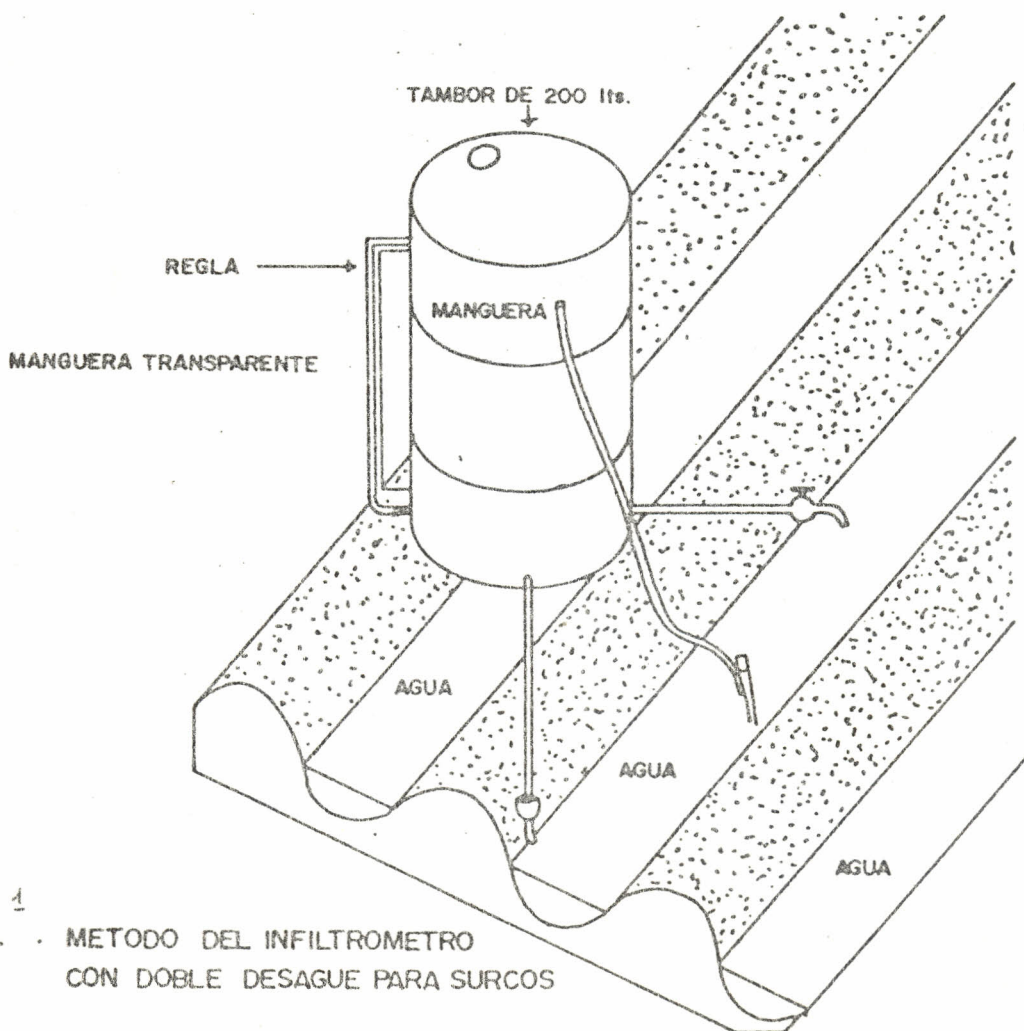


FIG. . METODO DEL INFILTROMETRO CON DOBLE DESAGUE PARA SURCOS

Este método consiste en colocar en el suelo dos cilindros de acero de aproximadamente 25 y 50 cm de diámetro por 40 cm de alto. Se agrega agua dentro de los cilindros hasta cierto nivel el que se repone cada vez que haya bajado de 3 cm como máximo, mayores informaciones sobre esta metodología son descritos por Haise et al (11) o González (10).

b). Método del infiltrómetro con doble desague para surco.

Este método consiste en colocar en un área representativa dos placas de metal transversales al surco (Fig. 5) con una separación de 5.0 ó 3.0 mts. enterrándolos unos 10 ó 15 cm.

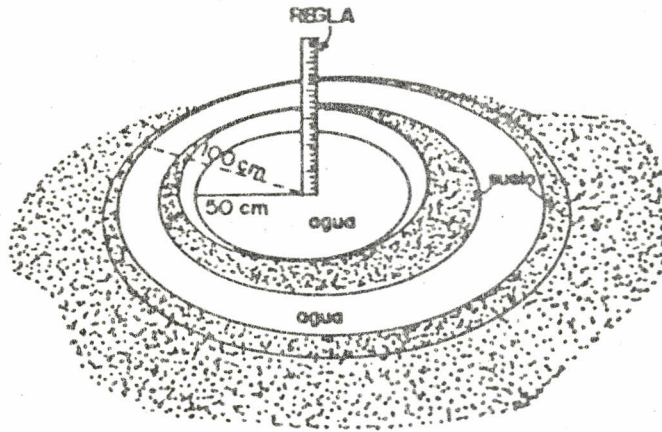
c). Método de "entradas y salidas" (medidores Parshall).

Se utilizó la metodología de Criddle y colaboradores (5), que consiste en aforar simultáneamente en un tramo de surco, los volúmenes de agua que entran y salen, registrando también el tiempo en el cual se hacen los aforos; por diferencia de los volúmenes de entrada y salida, se determina el volumen infiltrado, el cual referido a la superficie del surco y al tiempo permite obtener la función de infiltración.

d). Método de micro-cuencas para determinar la velocidad de infiltración.

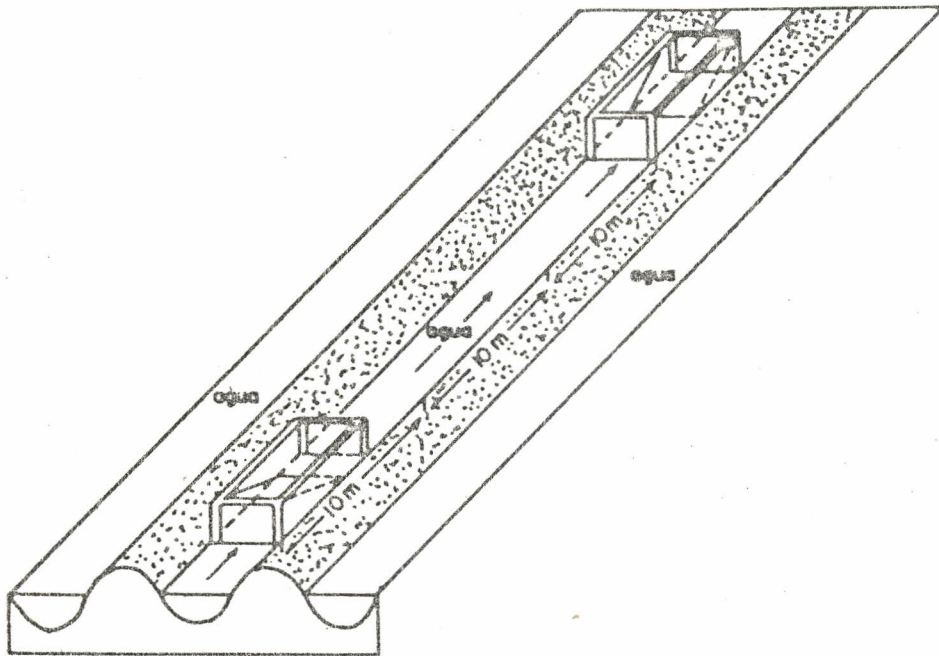
Se utilizaron microcuencas circulares de 1.0 mts. de diáme-





4

FIG. . METODO DE MICROCUENCAS PARA DETERMINAR LAS CURVAS DE INFILTRACION



3

FIG. . METODO PARA MEDIR LA ENTRADA Y SALIDA DEL AGUA EN EL SURCO UTILIZANDO EL MEDIDOR DE PARSHALL

tro. Antes de iniciar la prueba el terreno escogido fué cubierto con plástico y después de aplicar el agua se empleó la metodología semejante al infiltrómetro del cilindro.

#### CALCULO DE LOS PARAMETROS $k$ Y $n$ LA ECUACION DE INFILTRACION DE KOSTYAKOV POR REGRESION LINEAL.

Este método puede emplearse para infiltraciones de poca duración, después de las cuales las fórmulas empíricas pierden su validez, según Gavante 1968.

La ecuación de Kostyakov (1932) expresa la velocidad de infiltración en un punto.

$$VI = K T^{-n} \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

$VI$  = es la velocidad de infiltración ( $LT^{-1}$ ) en  $mm\ dfa^{-1}$ ,  $mm\ hr^{-1}$  ó  $cm\ hr^{-1}$ , etc.

$T$  = es el tiempo de infiltración.

$K$  = es un coeficiente el cual representa la velocidad de infiltración instantánea.

$n$  = es un exponente adimensional siempre es negativo con valores que varían con la estabilidad del suelo.

Los datos de infiltración se relacionaron por medio de una función exponencial, Ec. 1:

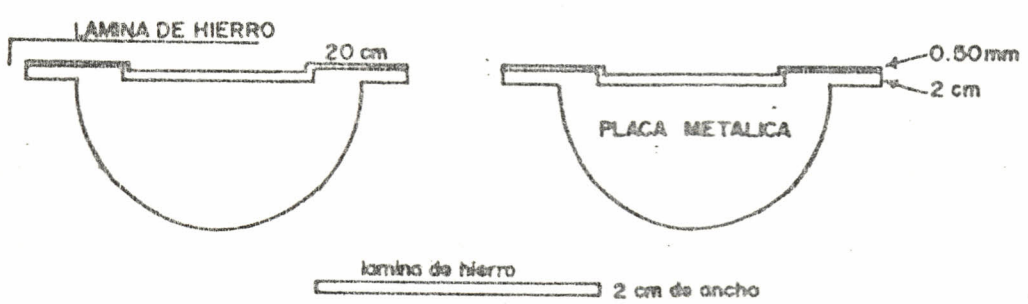
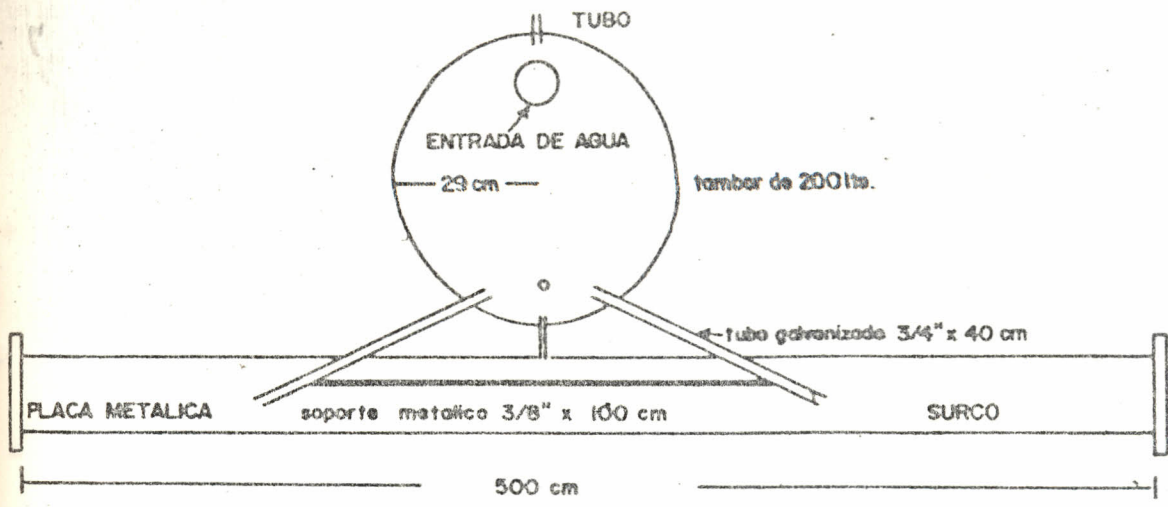


FIG. 5. VISTA EN PLANTA DEL INFILTROMETRO CON DOBLE DESAGUE PARA SURCOS

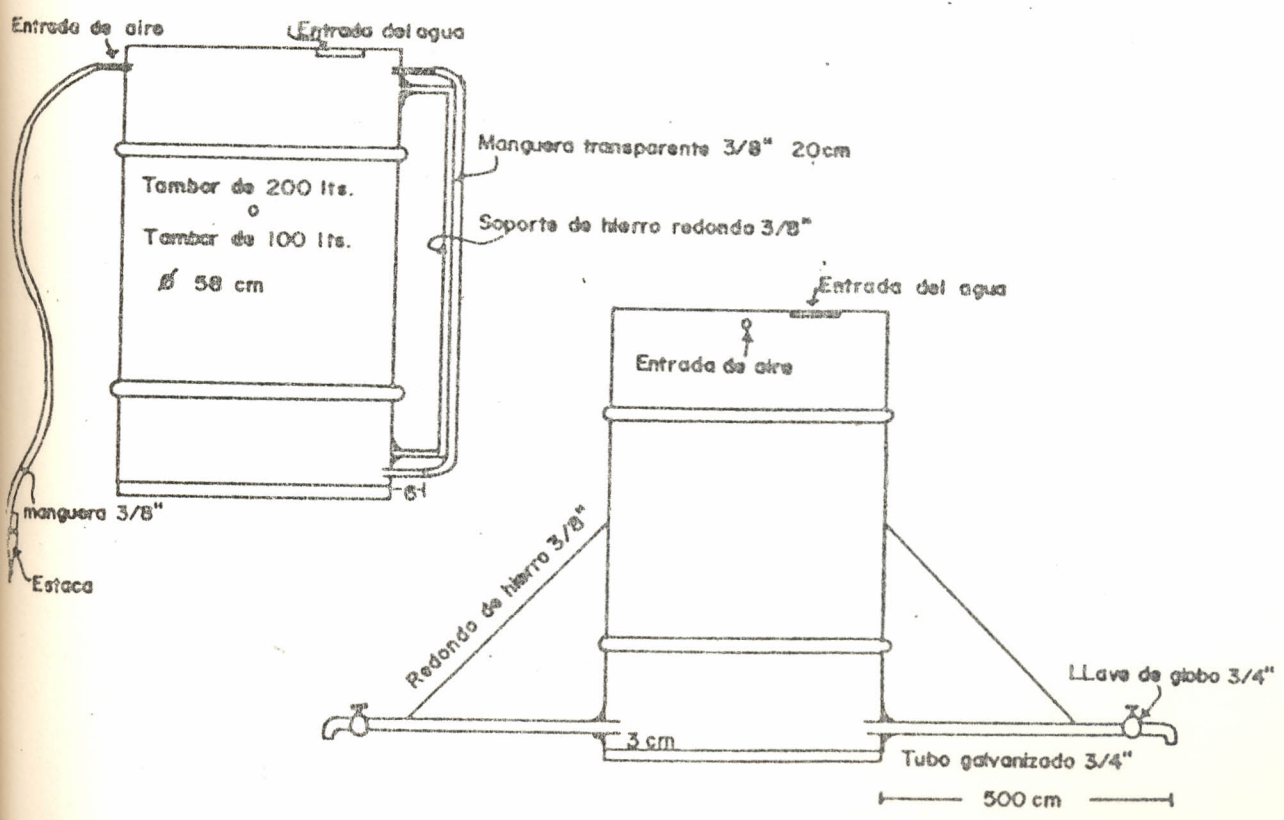


FIG. 6. VISTA DE FRENTE DEL INFILTROMETRO CON DOBLE DESAGUE PARA SURCOS, MODIFICADO DE BOERS Y MILLAR (1974)



Convirtiéndola en su forma logarítmica, se tiene:

$$\text{Log VI} = \log k + n \log T \dots \dots \dots (2)$$

Haciendo  $\log VI = Y$ ,  $\log K = K'$  y  $\log T = T'$  obtendremos

$$Y = K' + n T' \dots \dots \dots (3)$$

que es una ecuación lineal. Los coeficientes  $n$  y  $k'$  pueden ser encontrados y entonces  $k = \text{antilog}(k')$ .

El procedimiento viene descrito con más detalle en el libro de Steel y Torrie, 1960 (citado por, Trava, 1976\*) y dice: para una función  $VI = KT^n$  podemos usar la transformación  $\text{Log VI} = K' + n \log T$  graficando en escala logarítmica  $VI$  y  $T$  de esta forma:

\* Diseño de Sistemas de Riego - Notas del Prf. William E. Hart (CSU, 1975), traducidas y ampliadas por el Prof. José L. Trava M. (1976) - Chapingo, Méx. México.

para  $(T_i, VI_i)_{i=1,2,3,4,5, \dots, N}$

El valor verdadero de K se tiene que deducir luego a partir de:  $(\log VI - \log \overline{VI}) = n (\log T - \log \overline{T})$  . . . . . (6)

para obtener la verdadera expresión, se tiene:

$$\log VI = (\log \overline{VI} - n \log \overline{T}) + n \log T \dots \dots \dots (7)$$

donde:

$$K = \log VI - n \log T \dots \dots \dots (8)$$

Integrando la Ec. 1., entre los límites  $t=0$  y  $t=5$ , se obtiene la infiltración acumulada:

$$Y = \frac{K}{n + 1} T^{n+1} + B \dots \dots \dots (9)$$

B es la velocidad de infiltración básica (el procedimiento es descrito por Cristianse, citado por Fork y Bishop (1965).

## RESULTADOS Y DISCUSION

1) Los datos de infiltración determinados por el método del "infiltrómetro con doble desagüe" se ajustan satisfactoriamente a la ecuación (9), como puede verse en el ejemplo de la fig. 10, donde se observa que los puntos obtenidos, se alinean a lo largo de la recta  $K = KT^n$  ( $r = 0.990$ ) aún cuando se notan ciertas desviaciones. Lo mismo ocurre con el infiltrómetro de doble cilindro ( $R = 0.996$  fig. 9, a manera de ejemplo, en escalas loga-

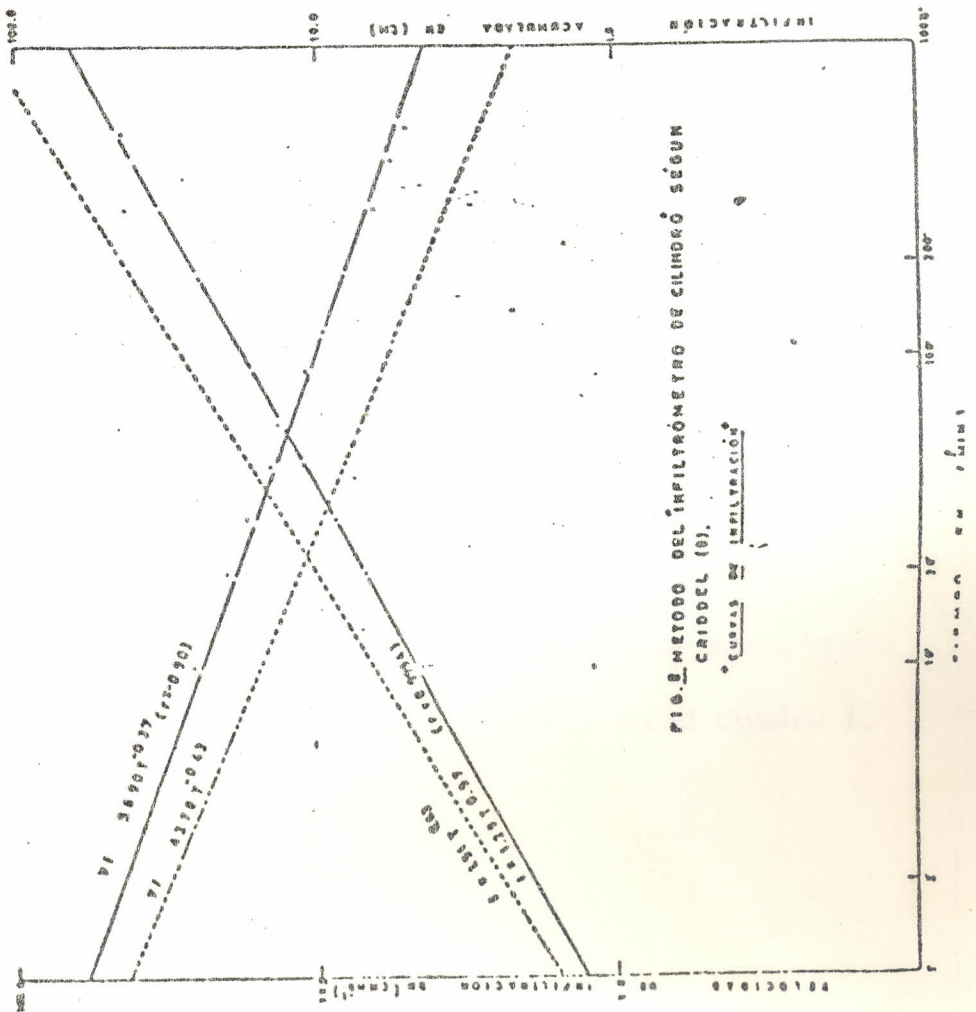


FIG. METODO DEL INFILTRÓMETRO DE CILINDRO SEGUN CRIDDEL (B).  
CURVAS DE INFILTRACION

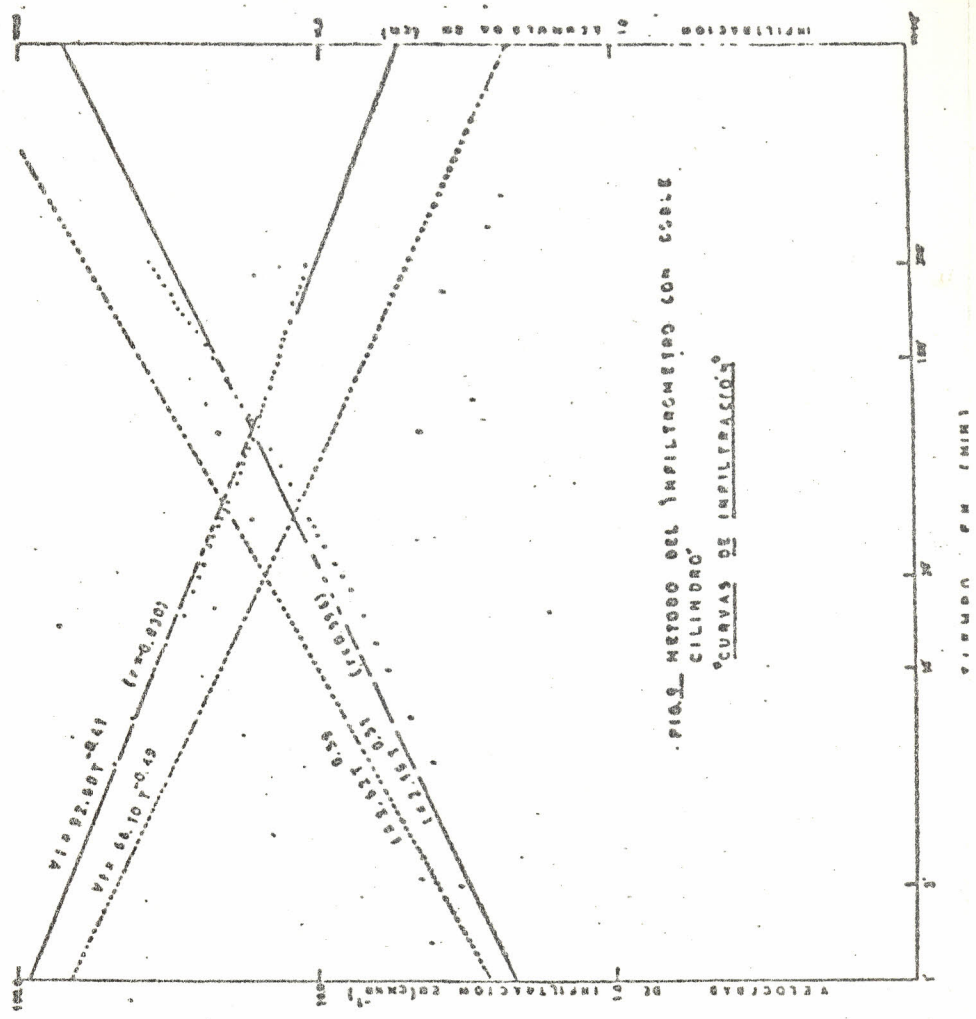


FIG. METODO DEL INFILTRÓMETRO CON CABLE CILINDRO.  
CURVAS DE INFILTRACION



rítmicas se encuentran graficados los puntos obtenidos para el caso de las ecuaciones de las curvas de infiltración, teniendo en las ordenadas la velocidad de infiltración acumulada, y en las abscisas el tiempo.

2) Cuando comparamos el parámetro de la ecuación (9), entre los métodos utilizados en la presente investigación, verificamos que hay diferencias mínimas entre los métodos (I) y (II), y grandes diferencias entre el método (III) y (IV), como se observa en los ejemplos de las figuras 8, 9, 10, 11 y 12.

3) Para los datos de infiltración acumulada y velocidad de infiltración, procesados por medio de una computadora electrónica usando el método de mínimos cuadrados para calcular los parámetros indicadores de las propiedades del suelo, se encontró que la Ec. 9, representa satisfactoriamente a la infiltración acumulada y que la Ec. 1 es más cercana con las condiciones del campo, cuando se calcula por derivación de la Ec. (1) porque los parámetros de esta ecuación, calculados, por regresión lineal y graficados en papel logarítmico log-log, Trava (1965) presenta una mayor correlación, prediciendo por tanto informaciones más cercanas a las condiciones reales de los suelos como puede verse en los ejemplos de las figs, 8, 9, 10, 11, 12 y en el cuadro 1.

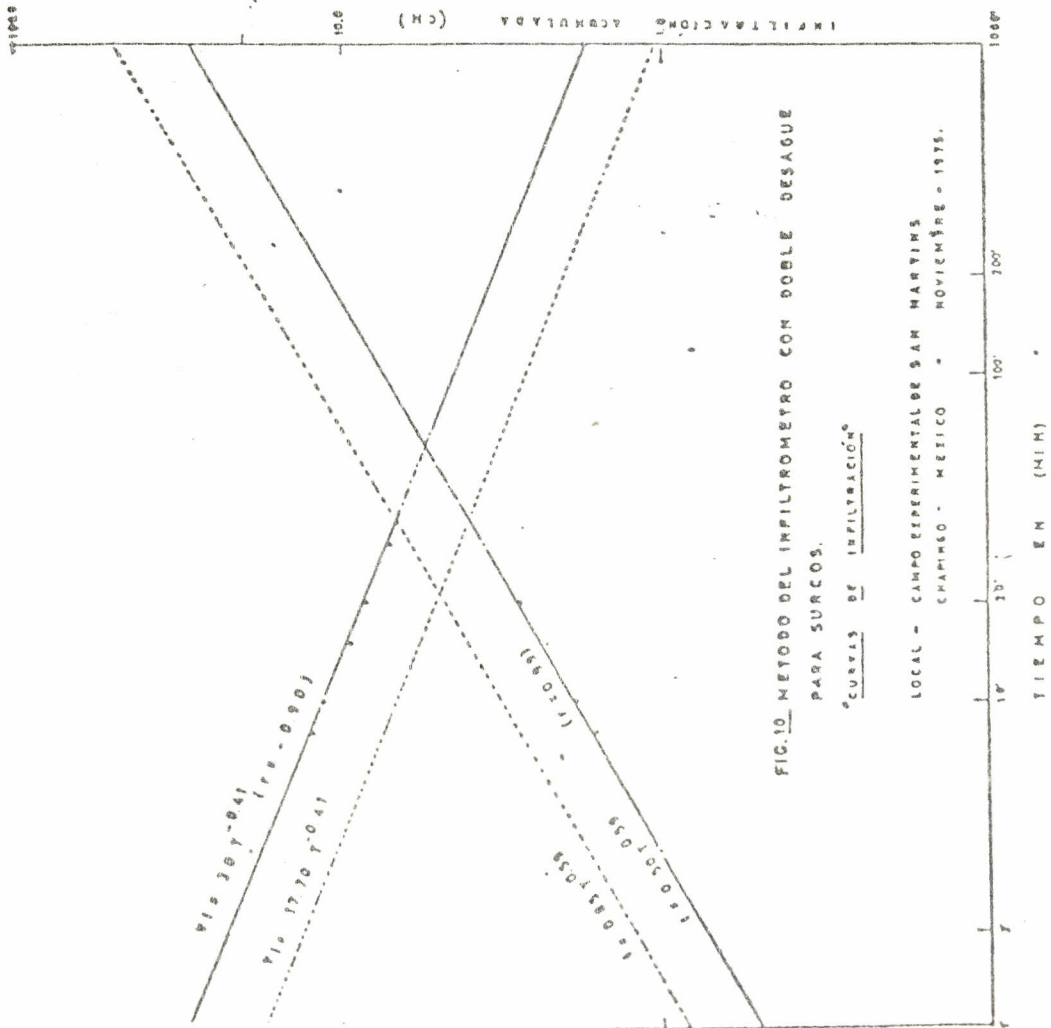


FIG.10 METODO DEL INFILTROMETRO CON DOBLE DESAGUE PARA SURCOS.

CURVAS DE INFILTRACION

LOCAL - CAMPO EXPERIMENTAL DE SAN MARTINS  
 CHAPIMO - MEXICO - NOVIEMBRE - 1975.

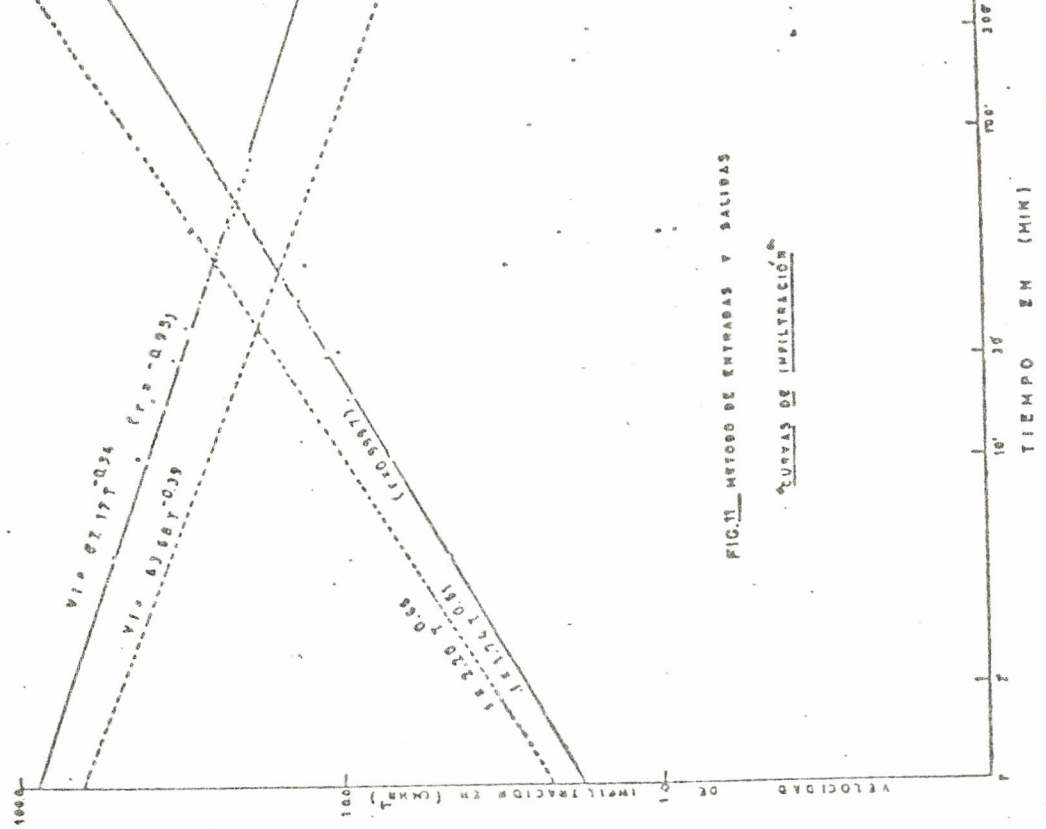


FIG.11 METODO DE ENTRADAS Y SALIDAS

CURVAS DE INFILTRACION

Cualquier persona, utilizando los mismos datos, obtendrán los mismos resultados en contraste con el procedimiento "a ojo".

Se observó que en el caso del infiltrómetro de doble cilindro y el infiltrómetro con doble desagüe cuando se analizan las ecuaciones individuales, (1), para calcular (VI) se obtiene una ecuación de velocidad de infiltración que es semejante a la obtenida de la información de campo. No ocurre lo mismo en el caso de la información obtenida por el método de "entradas y salidas" (cuadro 1).

Observando el cuadro 1, verificamos que hay variaciones mar ca d a s entre los parámetros (k) de las curvas de infiltración esto puede deberse al factor de que ocurren cambios en la determinación de la velocidad de infiltración (VI) inicial cuando realizamos pruebas en suelos recientemente mecanizados o bajo cultivos, también las condiciones de manejo afectan los valores de (k) de la ecuación de infiltración (9) pero estas prácticas agrícolas tienen efecto en la pendiente (n) que hace que las curvas sean mas inclinadas.

Se encontró que el método de "entradas y salidas" da una aproximación de la velocidad de infiltración inicial pero no la



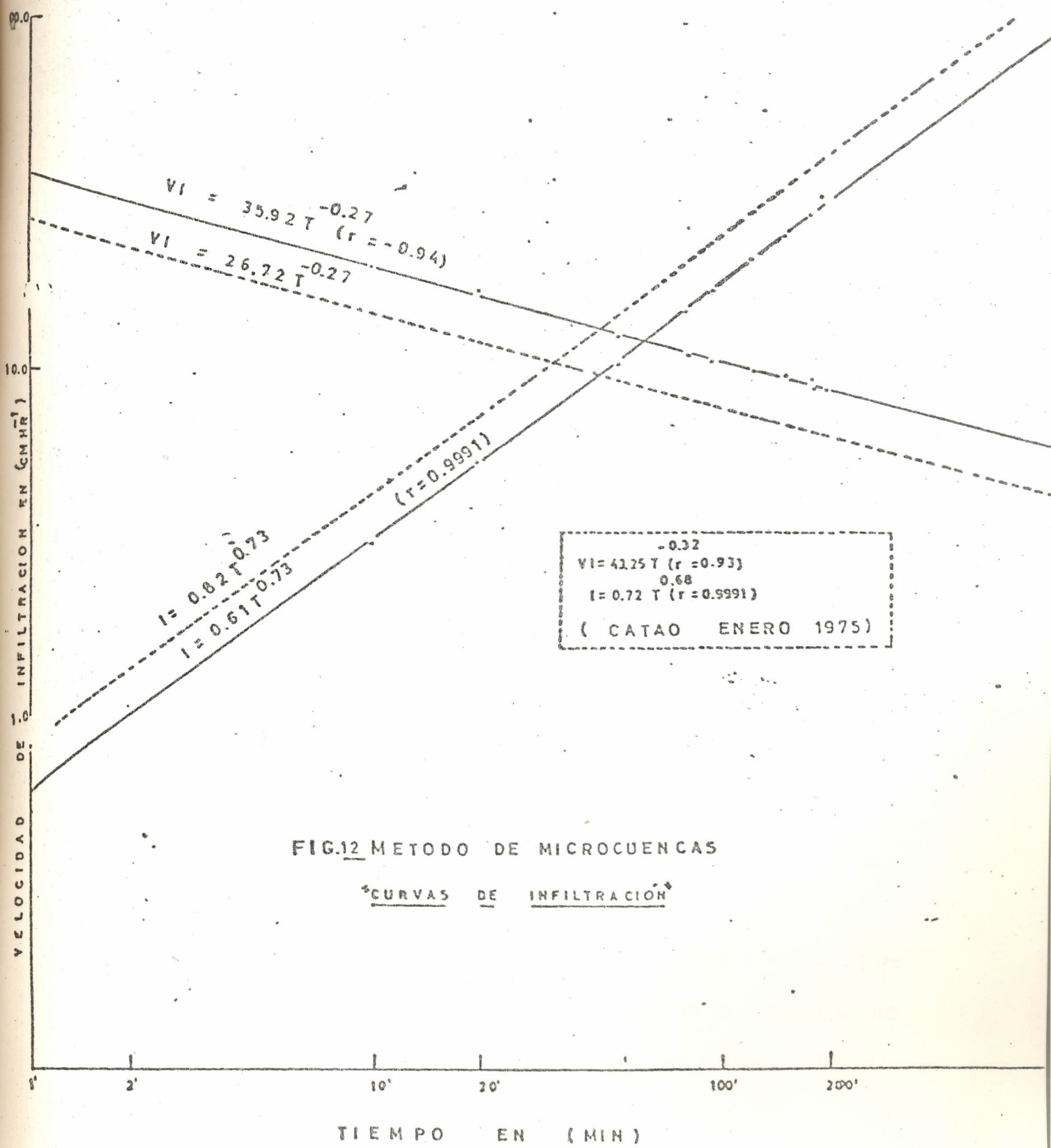


FIG.12 METODO DE MICROCUENCAS

CURVAS DE INFILTRACION

representa, debido a que se trabaja con escurrimiento no establecido y no se toma en cuenta el volúmen de agua almacenada sobre el surco que es mínimo. Cuando graficamos los datos obtenidos en este método el parámetro relacionado con la estabilidad de la estructura del suelo es diferente a los parámetros encontrados por los métodos (I) y (II).

Aceves 1969 (I) determinó la velocidad de infiltración en un suelo desprovisto de vegetación y barbecho cuyo valor de la ecuación de infiltración fué :  $I = 36 T^{-0.47}$  en un área cercana donde se realizaron las referidas pruebas siendo sus datos próximos a las ecuaciones por los métodos (I) y (II) cuando hacemos comparaciones entre el parámetro (n), como puede verse en el cuadro 1. También varios ensayos realizados con el infiltrómetro (n) es muy semejante al promedio de los parámetros determinados por los métodos (I) y (II), como se observa en el cuadro 1.

En el cuadro 1, se presentan las ecuaciones de infiltración acumulada y velocidad de infiltración, calculadas estadísticamente, así como las derivaciones respectivas.

Se observa que el parámetro K de las ecuaciones de VI de los métodos (I) y (II) son iguales y muy diferentes entre los métodos (III) y (IV), esto puede deberse a que los métodos (III) y

2 CUADRO 1. Comparación entre los promedios de las curvas de infiltración obtenidas a través de diferentes "Métodos".

Campo Experimental de San Martín

No. Método	Infiltración acumulada			Velocidad de Infiltración		
	Infiltración acumulada	Coefficiente de correlación	Velocidad de infiltración obtenidas por derivación	Velocidad de Infiltración	Coefficiente de correlación	Infiltración acumulada (Obtenida por integración)
* Cilindro Infiltrómetro	$I=1,28T^{0.57}$	0.9994	$VI=43.78T^{-0.43}$	$VI=56.90T^{-0.37}$	0.90	$I=1.51T^{0.63}$
1 Cilindro Infiltrómetro	$I=2.16T^{0.51}$	0.996	$VI=66.10T^{-0.49}$	$VI=92.60T^{-0.41}$	0.83	$I=2.62T^{0.59}$
2 Inf. Dob. Desague	$I=0.50T^{0.59}$	0.990	$VI=17.70T^{-0.41}$	$VI=30.0T^{-0.41}$	0.90	$I=0.85T^{0.59}$
3 Entrada y Salida	$I=1.74T^{0.61}$	0.9997	$VI=63.68T^{-0.39}$	$VI=87.17T^{-0.34}$	0.95	$I=2.20T^{0.66}$
4 Micro Cuencas	$I=0.61T^{0.73}$	0.9991	$VI=26.72T^{-0.27}$	$VI=36.0T^{-0.27}$	0.94	$I=0.82T^{0.73}$
** Micro Cuencas	$I=0.72T^{0.68}$	0.9991	$VI=29.38T^{-0.32}$	$VI=43.25T^{-0.32}$	0.93	$I=1.0T^{0.68}$
*** Cilindro Infiltrómetro	$I=1.0T^{0.63}$			$VI=37.8T^{-0.37}$		

- \* Las ecuaciones fueron obtenidas de una prueba realizada por Criddle (5) para efecto de comparación de metodología.
- \*\* Las ecuaciones fueron obtenidas del promedio de una prueba realizada por Catao (4) para efecto de comparación de métodos.
- \*\*\* Las ecuaciones obtenidas son promedio de 15 determinaciones con el método de infiltrómetro de doble anillo (II).



(IV) no son buenos indicadores de la velocidad de infiltración debido a los diversos factores ya mencionados anteriormente.

Generalmente se considera que los datos obtenidos por el método de infiltrómetro de cilindro son adecuados para su utilización en los cálculos de los otros parámetros de riego porque representan una área pequeña. Normalmente se utiliza el método de "entradas y salidas" para obtener la infiltración instantánea y luego por integración se encuentra la ecuación de la infiltración acumulada que permite hacer el cálculo del tiempo de riego para una lámina de agua determinadas, (Criddle y Resende, citado por Queiroz (4)).

El procedimiento correcto sería la utilización de la información graficado como infiltración acumulada para obtener la ecuación de infiltración que deberá utilizarse en los cálculos de los parámetros de riego (14). Este procedimiento es utilizado adecuadamente en la obtención de los parámetros para el diseño de un sistema de riego por surcos en nivel, Boers y Millar (1974).

En el cuadro 1, encontramos curvas de infiltración realizadas por Criddle, (5), en un suelo Marga arenosa, con textura semejante al suelo donde fueron realizados nuestros ensayos y

observamos que sus datos son muy semejantes a los obtenidos por el promedio de diez determinaciones con el método de infiltrómetro de cilindro.

### CONCLUSIONES

1) El método del "infiltrómetro con Doble Desague" presenta la ventaja de mantener la lámina de riego constante dentro del tramo de surco de 3.0 ó 5.0 m., apenas con una variación de -3.0 mm antes de efectuarse la siguiente succionada.

2) La utilización del infiltrómetro de doble desague para surco no afecta la homogeneidad del suelo.

3) A través de este método de carga constante modificado podríamos obtener más rápidamente los datos de velocidad de infiltración é infiltración acumulada que con el método de infiltrómetro de Doble Cilindro, pues no hay variación en la lámina del agua dentro del surco.

4) Hay variaciones marcadas en la velocidad de infiltración inicial, cuando realizamos ensayos en suelos recientemente preparados con maquinaria agrícola. También las condiciones de manejo afectan los valores de (K) de la ecuación de infiltración, pe-