

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA



EVALUACION DEL METODO DE RIEGO POR  
MELGAS EN TERRENOS CON NIVELACION  
DE TERCER GRADO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRICOLA

PRESENTAN

EDUARDO FRAGA BERNAL  
MARCO ANTONIO ARENAS GAMEZ

MARIN, N. L.

MARZO DE 1988

T

SB112

F7

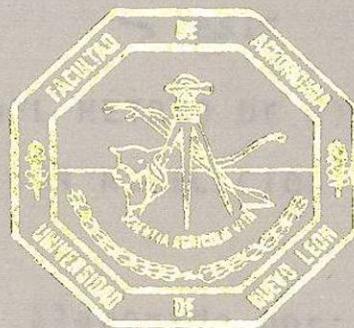
C.1



1080062413

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA



EVALUACION DEL METODO DE RIEGO POR  
MELGAS EN TERRENOS CON NIVELACION  
DE TERCER GRADO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRICOLA

PRESENTAN

EDUARDO FRAGA BERNAL  
MARCO ANTONIO ARENAS GAMEZ

MARIN, N. L.

MARZO DE 1988

07824

T  
SB 112  
F7



040.631  
FAG  
1988  
C.5

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE AGRONOMIA

TESIS

EVALUACION DEL METODO DE RIEGO POR MELGAS  
EN TERRENOS CON NIVELACION DE TERCER GRADO

Elaborado por:

EDUARDO FRAGA BERNAL

MARCO ANTONIO ARENAS GAMEZ

Presentada como requisito parcial para  
obtener el titulo de:

INGENIERO AGRICOLA

COMISION REVISORA

  
DR. JUAN FRANCISCO PISSANI ZUÑIGA  
Asesor Principal

  
ING. PEDRO RICARDO ORIA RAMOS  
Asesor Auxiliar

  
ING. ROBERTO CARRANZA DE LA ROSA  
Asesor Auxiliar

MARIN, N.L.

MAYO DE 1988.

## DEDICATORIA

A DIOS..... Por todo

A MIS PADRES:

DR. JOSE ANTONIO FRAGA VILLARREAL

SRA. MARIA DE JESUS BERNAL DE FRAGA

Por el amor y el apoyo que me han brindado y a quienes  
debo la culminación de mi carrera.

A MIS HERMANOS:

C.P. MARIA GUADALUPE Y C.P. HECTOR HUGO

JOSE ANTONIO

ROMAN

ADRIAN

Por su apoyo a través de la carrera

A MI PRIMA: DALIA YAZMIN

A MI TIA: VICENTA Y MIS PRIMOS

PEDRO Y ELVIA MACARENA

A TODOS MIS FAMILIARES

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS:

Carlos Jaime García Alanís  
Guadalupe Santiago Dávila CH.  
Aurelio Vázquez Lugo  
Eusevio Martínez

A MIS AMIGOS DE TODA LA VIDA

Bonifacio Jesús Martínez Martínez

Luis Fernando Martínez Martínez

Juan Francisco Martínez Luna

## DEDICATORIA

### A MIS PADRES:

SR. JOSE A. ARENAS CRUZ

SRA. MERCEDES GAMEZ DE ARENAS

A quienes con respeto, amor y cariño dedico este trabajo.

### A MIS HERMANOS:

Daniel

Irma

Olga

Hortencia

Celia

Guillermina

José Ascención

Minerva Mercedes

Maricela

César Clemente

Orlando

Quienes en todo momento me apoyaron para lograr mi carrera.

A MIS AMIGOS:

LIC. FCO. JAVIER FELIX

ING. CARLOS A. ABARCA

ING. RIGOBERTO MEJIA HERNANDEZ

LIC. MARCO A. BORQUEZ

ING. RODRIGO LOPEZ

LIC. GERMAN CARLOS AYALA

ING. RAMON RAMIREZ

ING. ANTOLIN MORALES V.

SR. RAMON MARTINEZ

Gracias por su sincera amistad

## AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro agradecimiento al DR. JUAN FRANCISCO PISSANI por su asesoría en la elaboración de este trabajo.

Agradecemos al ING. PEDRO RICARDO ORIA por su colaboración en la revisión de este trabajo, así como al ING. ROBERTO CARRANZA DE LA ROSA.

A todas aquellas personas que de un modo u otro colaboraron para la realización de este trabajo.

## INDICE

	Pág.
1. INTRODUCCION.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. REVISION DE LITERATURA.....	4
3.1. Movimiento superficial y subsuperficial del agua durante el riego por melgas.....	4
3.1.1. Función de avance.....	5
3.1.2. Función de infiltración.....	5
3.1.2.1. Factores que afectan la infiltración.....	7
3.2. Evaluación de mediciones de infiltración en melgas.....	8
3.2.1. Infiltración final.....	11
3.3. Evaluación de la infiltración en modelos de riego para melgas.....	13
3.3.1. Balance de volumen.....	14
3.3.2. Avance estacional lineal.....	15
3.4. Contabilidad de la variable espacial de infiltración en modelos de riego para melgas.....	17
3.4.1. Estimación de la lámina media infiltrada y la varianza.....	18
3.4.2. Incorporando la variabilidad de la infiltración en modelos de riego para melgas.	21
3.5. Uniformidad de riego en melgas: Efectos combinados de infiltración.....	23
3.5.1. Relaciones de uniformidad de distribución.....	23

	Pág.
3.5.2. Variaciones de la infiltración.....	24
3.5.3. Tiempo de oportunidad y variaciones.....	25
3.5.4. Varianza de láminas infiltradas.....	26
3.5.5. Cálculo de la uniformidad de distribu-- ción.....	28
3.6. Eficiencia de aplicación.....	29
4. MATERIALES Y METODOS.....	33
4.1. Localización.....	33
4.2. Clima.....	33
4.3. Suelos.....	33
4.4. Materiales.....	35
4.5. Desarrollo del experimento.....	36
4.6. Análisis de los datos.....	40
4.7. Parámetros a definir.....	42
5. RESULTADOS Y DISCUSION.....	44
6. CONCLUSIONES.....	74
7. RECOMENDACIONES.....	76
8. RESUMEN.....	77
9. BIBLIOGRAFIA.....	79
10. APENDICE.....	83

INDICE DE FIGURAS, GRAFICAS, CUADROS  
FORMA Y PLANOS

FIGURA Pág.

Figuras del texto:

- 1 Representación conceptual de el método para calcular el volumen de infiltración del agua para los dos primeros periodos de tiempo..... 16
  
- 2 Ejemplo de una distribución del tiempo de oportunidad efectivo,  $t^a$ , con locación para un coeficiente de variación  $CU_h$ , de 0.10..... 26
  
- 3 Ejemplo de la distribución en la lámina infiltrada de distribuciones de la constante de infiltración del suelo y los tiempos de oportunidad efectivos con  $CU_k = 0.10$  y  $CV_n = 0.10$ . La línea punteada es de las distribuciones del tiempo de oportunidad -- efectivo para referencia..... 27

GRAFICA

Gráfica del texto:

- 1 Curvas de infiltración acumulada de los cilindros de la melga 1..... 46
  
- 2 Curvas de infiltración acumulada de los cilindros de la melga 2..... 47
  
- 3 Curvas de infiltración acumulada de los cilindros de la melga 3..... 48

	Pág.
4 Perfil de la superficie del suelo más curvas de avance y recesión para la melga 1.....	53
5 Perfil de la superficie del suelo más curvas de avance, recesión y riego para la melga 2.....	54
6 Perfil de la superficie del suelo más curvas de avance, recesión y riego para la melga 3.....	55
7 Lámina infiltrada ajustada a lo largo de la melga-1.....	57
8 Lámina infiltrada ajustada a lo largo de la melga-2.....	58
9 Lámina infiltrada ajustada a lo largo de la melga-3.....	59
10 Láminas infiltradas, ajustada y real de la melga 1	64
11 Láminas infiltradas, ajustada y real de la melga 2	65
12 Láminas infiltradas, ajustada y real de la melga 3	66
13 Curvas de avance para cada gasto.....	67

Gráficas del apéndice:

14	Curvas de calibración de los sifones utilizados...	84
15	Curvas de infiltración representativas anteriores- al movimiento de tierras.....	85
16	Curvas de infiltración representativas posteriores al movimiento de suelos.....	86

## CUADRO

Cuadros del texto:

I	Precipitación total en el mes reportada por el Dep- to. de Meteorología y Climatología de la Facultad- de Agronomía de la U.A.N.L. Marín, N.L.....	34
II	Lámina infiltrada obtenida de la curva de los da- tos típicos de infiltración.....	49
III	Lámina infiltrada ajustada obtenida de la curva de infiltración ajustada.....	50
IV	Tiempos de oportunidad, para cada una de las esta- ciones de las melgas, a partir de las curvas de a- vance y recesión.....	56
V	Determinación, gráfica y evaluación de los paráme- tr s DUA, PELA, AELA, LQ, LA, PELQ y % de percola-	

	ción profunda a partir de las gráficas 7,8 y 9.....	70
VI	Datos de avance y recesión para el gasto de 24 LPS.	71
VII	Datos de avance y recesión para el gasto de 10 LPS.	72
VIII	Datos de avance y recesión para el gasto de 12 LPS.	73
<u>Cuadros del apéndice:</u>		
IX	Análisis físico-químico del suelo en el punto de -- muestreo No. 1 (Después de la nivelación de tie--- rras).....	88
X	Análisis físico-químico del suelo en el punto de -- muestreo No.2 (Después de la nivelación de tierras)	89
XI	Análisis físico-químico del suelo en el punto de -- muestreo No.3 (Después de la nivelación de tierras).	90
XII	Análisis físico-químico del suelo en el punto de -- muestreo No.4 (Después de la nivelación de tierras)	91
XIII	Análisis físico-químico del suelo en el punto de -- muestreo No.5 (Después de la nivelación de tierras)	92

## FORMA

Forma del apéndice:

1	Usada para evaluar la infiltración en un sistema de riego por melgas.....	87
---	--	----

## PLANO

Planos del apéndice:

1	Curvas a nivel original.....	93
2	Cortes y rellenos.....	94
3	Curvas a nivel después de movimiento de tierras...	95

## 1. INTRODUCCION

El riego es un factor importante para asegurar que el cultivo reciba agua suficiente en las etapas críticas de su desarrollo. Israelsen (10), menciona que el arte de regar es antiquísimo. En el transcurso de la historia de la civilización ésta a sufrido la influencia de la evolución del regadío. Civilizaciones enteras han florecido y se han extinguido sobre tierras regadas; lo cual quiere decir que si el regadío no se practica racionalmente está destinado a decaer.

Algunas veces para que el riego sea más eficiente, o para que sea posible, hay que nivelar el terreno en el cual se va a hacer dicha práctica. La nivelación de las tierras para riego es la modificación del relieve de la superficie del campo, a un plano con pendiente uniforme, en una dirección o en las dos direcciones del campo, con objeto de proveer una superficie -- adecuada para una eficiente aplicación del agua de riego.

De la superficie total de México, 1'972,547 km<sup>2</sup> son actualmente regables casi 5'000,000 de hectáreas (18).

Con el objeto de hacer más eficientes los recursos agua y energía se ha puesto un mayor énfasis en el desarrollo y la afinación de los sistemas de riego. El concepto de eficiencia surge de la necesidad de medir el rendimiento con que el agua aplicada es almacenada en la zona de raíces.

Desde que los suelos empezaron a ser clasificados se encontraron similitudes y diferencias de suelos clasificados ba-

jo el mismo nombre. Las propiedades del agua, del suelo, debidas a la variabilidad de éste, están siendo medidas más intensamente en el campo. La mayoría de los análisis se han hecho con los métodos clásicos de estadística para medir cambios sobre la distancia. Los muestreos se hacen en las intersecciones de una red de distribución.

El trabajo que a continuación se presenta se realizó en un terreno en el cual se practicó una nivelación de tercer grado. En este trabajo se analiza el efecto de la nivelación de tierras en la infiltración de los suelos, y el diseño y evaluación de un sistema de riego por melgas bajo estas condiciones.

## 2. OBJETIVOS

Se realizó una nivelación de tercer grado en un terreno - del campo experimental de la Facultad de Agronomía de la UANL., ubicado en Marín, N.L., en el cual se diseñó un sistema - de riego por melgas. Siendo los objetivos:

1. Analizar el efecto de la nivelación de tierras en la infiltración de los suelos.
2. Estudiar el efecto de la nivelación de tierras con relación al diseño y evaluación del método de riego por melgas.

### 3. REVISION DE LITERATURA

#### 3.1. Movimiento superficial y subsuperficial del agua durante el riego por melgas

En el riego por superficie, el agua escurre a través de pequeños cauces: surcos; o en delgada lámina que cubre íntegramente el terreno: melgas o bordos.

En riguroso análisis, en riego por superficie el movimiento no es permanente; además la velocidad de infiltración varía en función del tiempo. El problema es por lo tanto complicado dado el gran número de variables que intervienen, Grassi (7), son: (a) caudal de agua aplicado; (b) velocidad de avance del agua sobre el terreno; (c) longitud de la parcela; (d) tirante de agua; (e) velocidad de infiltración; (f) pendiente del terreno; (g) aspereza del terreno; (h) peligro de erosión; (i) forma del surco o de la melga y (j) lámina de agua a aplicar.

En el riego por superficie, realizado en terrenos con pendiente, la operación total de riego, debe ser dividida en tres períodos: (a) período de avance del frente de agua ó período de mojado; (b) un período durante el cual la longitud total de la parcela está cubierta con agua y sujeta a infiltración; (c) un período de receso durante el cual una decreciente longitud de la parcela está llena con agua (7).

### 3.1.1. Función de avance.

Varios autores (7,8,9,10) están de acuerdo en que el avance del frente de agua es una función exponencial de la variable tiempo  $x = pt^r$ .....(1)

donde:

$x$  = la distancia de avance a un tiempo  $t$

$p$  = coeficiente empírico de la función de avance

$t$  = tiempo de avance

$r$  = exponente empírico de la función de avance  $0 < r < 1$

Al analizar el significado físico de  $p$  y  $r$  en la ecuación (1) Nugteren, citado por Grassi (7), encontró que  $p$  es una constante empírica que depende de la pendiente ( $S_0$ ), el caudal ( $Q$ ), las características hidráulicas del flujo y de la aspereza de la superficie; y que  $r$  está relacionada con las características físicas del suelo expresadas en la función de infiltración.

### 3.1.2. Función de infiltración.

En la agricultura bajo riego el conocimiento de la infiltración es muy importante debido a que se desean aplicaciones de agua en forma uniforme en todo el campo, para obtener un máximo uso eficiente del agua. La proporción a la cual el agua se infiltra en los suelos sugiere en cierta forma el diseño del tipo de sistema de riego (15).

La infiltración es el movimiento descendiente del agua de la superficie de un suelo al interior de este (8,9,10). La infiltración puede ser medida en dos formas: (a) velocidad de infiltración, que se puede definir como la velocidad de pene-

tración del agua en el perfil del suelo cuando la superficie del terreno se cubre con una delgada lámina de agua; (b) infiltración acumulada que es la que se infiltra en el suelo en un tiempo  $t$ . A la infiltración acumulada también se le llama lámina infiltrada.

Kostiakov, mencionado por Gurovich (8), fué el primero en proponer el uso de una ecuación empírica que aún hoy es de amplio uso para analizar los resultados experimentales que se obtienen en las pruebas de infiltración en el campo. Como la velocidad de infiltración comienza generalmente con un valor relativamente alto y decrece con el tiempo, puede ser expresada, según Kostiakov, de la forma siguiente:

$$I = Kt^n \dots\dots\dots(2)$$

donde:

$I$  = velocidad de infiltración instantánea;  $LT^{-1}$

$t$  = tiempo; min.

$K$  = constante que representa la velocidad de infiltración para  $T = 1$

$n$  = pendiente de la curva de velocidad de infiltración con respecto al tiempo  $-1 < n < 0$

La función de infiltración acumulada se obtiene integrando la ecuación que representa la velocidad de infiltración, como sigue:

$$Z = \int_0^t I dt = \int_0^t Kt^n dt \dots\dots\dots(3)$$

Resolviendo la integral y en caso que la velocidad de infiltración este expresada en cm/hr, dividir entre 60 para con--

vertir el tiempo de horas a minutos de la I, quedando así:

$$z = \frac{Kt^{n+1}}{(n+1)60} \dots \dots \dots (4)$$

donde:

$z$  = infiltración acumulada; cm

$t$  = tiempo de infiltración; min.

### 3.1.2.1. Factores que afectan la infiltración.

1. El tiempo desde que comienza la infiltración.- La tasa de infiltración normalmente es grande al principio, pero esta disminuye con el tiempo llegando a ser constante; las disminuciones en la tasa de infiltración se deben a:

- a) El gradiente de potencial se reduce.
- b) Los poros del suelo se llenan con agua.
- c) La superficie del suelo puede ser compactada por gotas de lluvia.
- d) Los coloides se dilatan reduciendo el tamaño de los poros del suelo.
- e) El material más fino del suelo se filtra hacia abajo.
- f) Capas continuas de agua hace difícil para el aire escapar a la superficie del suelo.

2. Contenido inicial de agua.- Entre más húmedo esté el suelo, más baja será la tasa de infiltración y más rápido se obtendrá la tasa de infiltración final.

3. Conductividad hidráulica.- Entre más alta sea la conductividad saturada del suelo más alta será su tasa de infiltración.

4. Condiciones de la superficie del suelo.- Cuando la superficie del suelo es compactada y es cubierta por una costra de baja conductividad, la tasa de infiltración es más baja que la de los suelos sin costras.

5. La presencia de capas de estructura diferente dentro del perfil del suelo.- Capas que difieren en textura o estructura con respecto al perfil del suelo de las partes superiores pueden retardar el movimiento del agua durante la infiltración.

### 3.2. Evaluación de mediciones de infiltración en melgas

El riego de superficie es un fenómeno extremadamente complejo. El flujo de agua en una melga con riego puede ser descrito como no uniforme y gradualmente variado. La resistencia al flujo varía espacialmente sobre el campo y puede cambiar a medida que pasa el flujo de agua. Las variaciones en la pendiente del campo ( y a veces pendientes laterales) agregan complicaciones. Las fórmulas teóricas de la infiltración son poco usadas porque describen inadecuadamente las condiciones de la superficie del suelo que tienden a dominar la infiltración durante el riego de superficie. Esas condiciones de superficie a menudo cambian drásticamente de riego a riego. Por lo tanto los métodos empíricos son usados más a menudo en el campo.

Linderman y Stegman, citados por Clemmens (2) , discutieron los efectos de la magnitud de la infiltración acumulada en la eficiencia de aplicación. Ellos sugieren que las ---

eficiencias máximas alcanzables no son muy diferentes para diferentes magnitudes de infiltración, pero esas máximas eficiencias ocurren considerablemente en diferentes tasas de flujo.

En el diseño y manejo de sistemas de riego de superficie, es importante saber cuanto tiempo tarda en infiltrarse el agua necesaria para llenar la zona de raíces (lámina deseada o lámina neta de aplicación).

Los métodos del cilindro infiltrómetro son usados frecuentemente en situaciones para estimar la infiltración en el campo, principalmente porque son fáciles de usar. Las aproximaciones teóricas no son factibles. El método del cilindro infiltrómetro es muy criticado por muchas razones, pero si es propiamente utilizado puede proveer información útil. Clemmens ( 2 ) cita a Erie quien explica los medios y métodos para operar propiamente un cilindro infiltrómetro (tal como la colocación apropiada de los cilindros), así como alguna desventaja del método Bouwer, citado por Clemmens ( 2 ), describió los efectos de niveles desiguales de agua sobre el medio de infiltración en cilindros infiltrómetros y presentó un error de análisis. Tricker, también citado por Clemmens ( 2 ), explicó el uso del cilindros infiltrómetros sin un cilindro amortiguador. El concluyó que los porcentajes de medidas de infiltración son siempre más altos que lo que él llamó la verdadera capacidad de infiltración.

Al vertir el agua dentro del cilindro, finas partículas son desalojadas de la superficie y suspendidas en el agua. Cuan

do estas partículas se asientan producen una capa de material fino que tiende a reducir la infiltración y "sellar" el cilindro. No ocurre tal sellado de la superficie en la melga donde el agua fluye. El flujo de agua ayuda a mantener más alta la tasa de infiltración.

Merriam, citado por Clemmens ( 2 ), presentó un método para el ajuste de los datos del cilindro con tiempo de oportunidad para obtener un balance de volumen cuando los datos se ajustan a una función exponencial.

La lámina promedio infiltrada,  $\bar{z}$  es definida como:

$$\bar{z} = \frac{\int_0^L Z(x) dx}{\int_0^L dx} \dots\dots\dots (5)$$

donde:

L = longitud del campo

Z(x) = la lámina infiltrada a una distancia x desde aguas arriba o el final del bordo.

Si el campo esta dividido en N tramos de longitud  $\Delta x_i$ , la ecuación (5) se convierte en:

$$\bar{z} = \frac{\sum_{i=1}^N Z(\Delta x_i) \Delta x_i}{L} = \dots\dots\dots (6)$$

Si Z(x) es una función exponencial de  $Z = Kt^a$ , la ecuación (6) se convierte:

$$\bar{z} = \frac{K}{L} \sum_{i=1}^N t_i^a \Delta x_i \dots\dots\dots (7)$$

donde  $t_i = t(\Delta x_i)$  es el tiempo de oportunidad promedio para ca

da incremento de distancia o tramo. Para incrementos iguales de  $\Delta x$ , la ecuación (7) se convierte:

$$\bar{z} = \frac{K}{N} \sum_{i=1}^N t_i^a \dots\dots\dots (8)$$

Las ecuaciones (7) u (8) pueden ser usadas para estimar la función de infiltración conociendo el tiempo de oportunidad promedio en cada intervalo de distancia y un valor para la forma de función de infiltración,  $a$ . La constante " $a$ " puede ser tomada de la recta más convenientemente ajustada para los datos de infiltración marcados sobre el papel logarítmico.

### 3.2.1. Infiltración final.

La infiltración del agua parece seguir una función exponencial primero, pero después comienza a desviarse y a aproximarse a una valor constante de tasa de infiltración. Esto puede hacer una diferencia considerable en el calculo de la distribución del subsuelo hecha por una función exponencial verdadera, la tasa de infiltración se aproxima a cero a medida que se incrementa el tiempo y la diferencia de la lámina infiltrada sobre el campo llega a ser cada vez menor. Sin embargo, si la tasa de infiltración constante es alcanzada, un incremento uniforme en el tiempo de oportunidad no cambiará las diferencias en la lámina infiltrada. La tasa de infiltración constante tiene una interpretación teórica. Representa la conductividad hidráulica saturada del suelo.

Varias formas de la función de infiltración para una tasa-

de infiltración final constante pueden ser usadas. Matemáticamente la más fácil es probablemente  $i = i_f + aKt^{a-1}$  y  $Z = i_f t + Kt^a$ . Sin embargo, los valores para las tres constantes  $i_f$  (tasa de infiltración final),  $a$  y  $k$  son difíciles de obtener de los datos trazados. Es más fácil usar dos funciones derivadas de la forma:

$$\begin{aligned} Z &= Kt^a & t &\leq t_f, \\ Z &= Kt_f^a + i_f(t - t_f) & t &\geq t_f \quad \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

e

$$\begin{aligned} i &= aKt^{a-1} & t &\leq t_f \\ i &= i_f & t &\geq t_f \quad \dots\dots\dots (10) \end{aligned}$$

con:

$$i_f = aKt_f^{a-1} \quad \text{ó} \quad t_f = (i_f/aK)^{1/(a-1)} \dots\dots (11)$$

La lámina promedio aplicada es

$$\bar{Z} = Kt_f^a + i_f(\bar{t} - t_f) \dots\dots\dots (12)$$

$$\bar{Z} = K(i_f/aK)^{a/(a-1)} + i_f \left[ \bar{t} - (i_f/aK)^{a/(a-1)} \right] \dots\dots (13)$$

Si hacemos  $\phi = \bar{Z} - i_f\bar{t}$  y resolvemos la ecuación (13) para  $K$  se tendrá:

$$K = \phi^{1-a} i_f^a \left( a^{a/(a-1)} - a^{1/(a-1)} \right) \dots\dots\dots (14)$$

La variable  $\phi$  representa la diferencia entre el total de agua que fue aplicada en el tiempo promedio  $\bar{t}$ , y el total de agua que podría haber sido aplicada si la tasa de infiltración hubiera sido constante en  $i_f$  para el tiempo  $\bar{t}$ .

Si el balance de volumen esta considerablemente equivocado, obteniendo un valor para la tasa de infiltración final de los datos del cilindro pueden no ser razonables desde que ha ocurrido probablemente el sellado de la superficie. Si asumimos que la pendiente de la curva de infiltración antes que la tasa de infiltración final ha ocurrido,  $a$ ; y el tiempo en el cual la tasa de infiltración final empezó,  $t_f$ , pueden ser obtenidos de los datos trazados del cilindro, un balance de volumen puede ser usado para encontrar  $i_f$  de

$$i_f = \frac{a \bar{z}}{(1-a)t_f + a\bar{t}} \dots\dots\dots (15)$$

que puede ser desarrollada de las ecuaciones (11) y (12). Entonces  $K$  puede ser encontrada de la ecuación (11).

### 3.3. Evaluación de la infiltración en modelos de riego para melgas

Existen varios métodos disponibles para estimar las tasas de infiltración para una melga simple cuando los datos esten disponibles sobre avance, resección, gasto de entrada y volúmenes y lámina de agua contra tiempo (1). Gilley, citado por Clemmens (1) , desarrolló un método para estimar la función de infiltración durante el avance. Asumió una función exponencial de avance, una lámina de agua promedio onstante en la superficie y una función e ponencial para la infiltración, de la forma:

$$Z(t) = Kt^a \dots\dots\dots (16)$$

donde:

$Z(t)$  = la lámina infiltrada en el tiempo,  $t$

$t$  = es el tiempo de oportunidad de la infiltración

$K$  y  $a$  = constantes

El método es solo aplicable durante el avance anterior - al corte y generalmente resultan exponentes de infiltración - muy pequeños (1).

### 3.3.1. Balance de volumen.

Clemmens ( 2 ) presentó un método para obtener una función de infiltración con un balance de volumen basado en una función exponencial de la infiltración. El método utiliza los tiempos de oportunidad de infiltración promedio sobre un arreglo de intervalos de distancia. El exponente "a" es estimado de los datos del cilindro infiltrómetro. El valor de  $K$  es encontrado de la siguiente ecuación:

$$K = \frac{\bar{Z}L}{\sum_{i=1}^N \Delta X_i t_i^a} \dots \dots \dots (17)$$

donde:

$\bar{Z}$  = la lámina promedio infiltrada

$L$  = longitud del campo

$\Delta X_i$  = incrementos de distancia

$t_i$  = tiempos de oportunidad promedio sobre los incrementos de distancia

$N$  = número de intervalos de distancia

### 3.3.2. Avance estacional lineal.

Esta técnica asume que el avance (y la recesión) entre dos estaciones cualesquiera es lineal, que el volumen en el subsuelo en tiempos dados durante el riego es conocido y que la función de infiltración está cercana a la función exponencial. La última asunción será algo flexible (1).

Strelkoff, citado por Clemmens ( 1 ), desarrolló una ecuación para el volumen del subsuelo durante el avance lineal a saber:

$$V(t) = \frac{Z(t)x(t)}{1+a} \dots\dots\dots (18)$$

donde:

$V(t)$  = el volumen del subsuelo por unidad de ancho en un tiempo "t"

$x(t)$  = la distancia de avance en un tiempo "t"

$Z(t)$  = lámina infiltrada en el tiempo "t"

$a$  = constante

La ecuación (18) puede ser aplicada a cada incremento de distancia. Para el primer incremento de distancia; esta es:

$$V_1(t_1) = \frac{Z(t_1)\Delta X_1}{1+a} \dots\dots\dots (19)$$

Lo cual es mostrado en la Figura 1. Por conveniencia notacional  $x_1 = x(t_1)$ . El volumen del subsuelo para la segunda distancia,  $\Delta X_2$ , para avanzar a la segunda estación durante el segundo período de tiempo es:

$$V_2(t_2) = \frac{Z(t_2-t_1)\Delta X_2}{1+a} \dots\dots\dots (20)$$

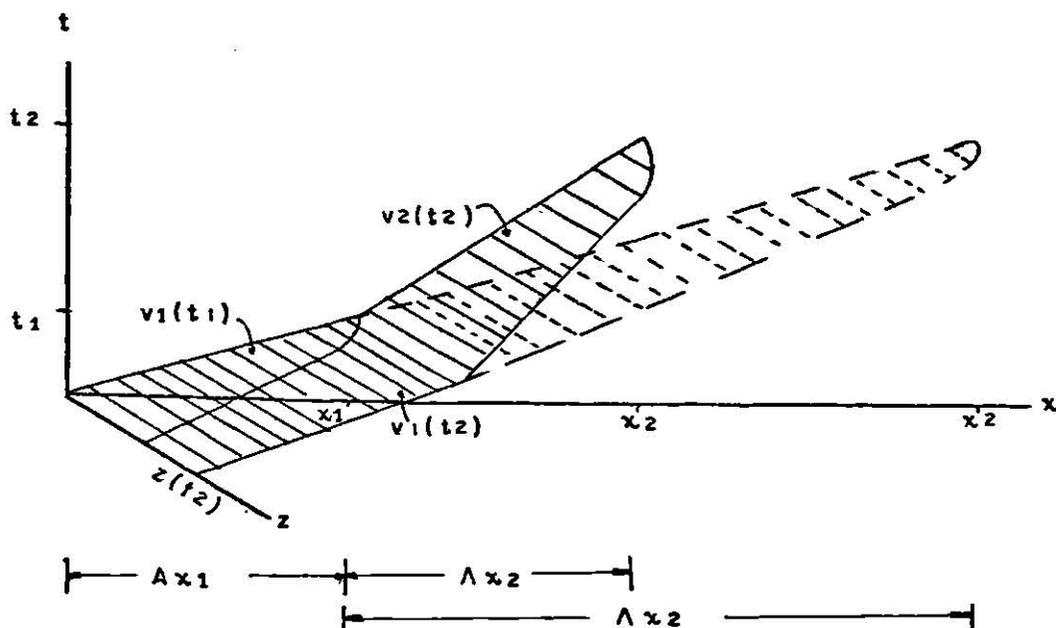


Figura 1. Representación conceptual de el método para calcular el volumen de infiltración del agua para los primeros dos periodos de tiempo.

El volumen subsuperficial para el primer incremento de distancia lo podemos encontrar asumiendo que el avance continúa en la misma tasa como en el primer período hasta el final del segundo período. La distancia de avance será:

$$x'_2 = \frac{\Delta x_1 t_2}{t_1} \dots\dots\dots (21)$$

El incremento de distancia entonces es:

$$\Delta x'_2 = x'_2 - x_1 = \Delta x_1 \left( \frac{t_2}{t_1} - 1 \right) \dots\dots\dots (22)$$

El volumen total que se habrá infiltrado si el avance ha sido para  $x'_2$  en el tiempo  $t_2$  es:

$$V'_1(t_2) = \frac{z(t_2) x'_2}{1+a} = \frac{t_2}{t_1} \frac{z(t_2) \Delta x_1}{1+a} \dots\dots\dots (23)$$

El volumen infiltrado sobre  $\Delta x'_2$  es:

$$V'_2(t_2) = \frac{z(t_2 - t_1) \Delta x'_2}{1+a} = \left( \frac{t_2}{t_1} - 1 \right) \frac{z(t_2 - t_1) \Delta x_1}{1+a} \dots\dots (24)$$

El volumen infiltrado sobre  $\Delta x_1$  es la diferencia entre -- esos dos volúmenes  $V_1(t_2) = V'(t_2) - V_2'(t_2)$  ó

$$V_1(t_2) = \frac{t_2}{t_1} \frac{z(t_2)\Delta x_1}{1+a} - \left( \frac{t_2}{t_1} - 1 \right) \frac{z(t_2-t_1)\Delta x_1}{1+a} \dots (25)$$

El volumen total infiltrado en el tiempo  $t_2$  es la suma de los volúmenes sobre los dos incrementos de distancia  $V(t_2) = V_1(t_2) + V_2(t_2)$ . La ecuación general para el volumen del subsuelo desarrollada de la ecuación (25) para una melga con  $N$  incrementos de distancia en un tiempo  $t_I$  es:

$$V(t_I) = \frac{1}{1+a} \sum_{i=1}^N (x_1 - x_{i-1}) \left( \frac{t_I - t_{i-1}}{t_I - t_{i-1}} z(t_I - t_{i-1}) \frac{t_I - t_i}{t_i - t_{i-1}} z(t_I - t_i) \right) \dots (26)$$

Esta ecuación es aplicable durante todas las fases del -- riego y no requiere distancias constantes ni intervalos de tiempo.

### 3.4. Contabilidad de la variable espacial de infiltración en modelos de riego para melgas

Se describirá una combinación simple de técnicas de varianza para incorporar la variabilidad espacial de tasas de infiltración dentro de las predicciones de uniformidad del riego en modelos de riego para melgas.

La ecuación más usada para describir la infiltración es -- la ecuación de Kostiaikov, ecuación (2), o la ecuación modificada de Kostiaikov:

$$I = Kt^{n+at} = Kx+at \dots (27)$$

donde:

$I$  = la lámina infiltrada

$t$  = tiempo de oportunidad de infiltración

$x = t^n$

$K, a$  y  $n$  = son coeficientes empíricos

Se permitirá que  $n$  varíe en la ecuación (2), pero consideramos a  $n$  constante en la ecuación (27), Jaynes y Clemmens (12).

### 3.4.1. Estimación de la lámina media infiltrada y la varianza.

Usando la ecuación (2) para representar la infiltración- podemos transformar a forma logarítmica y desarrollar el lado - derecho de la ecuación en términos de los valores medios del pa- rámetro para obtener:

$$\ln I = \ln K + n \ln t = \mu_{\ln K} + \delta_{\ln K} + (\mu_n + \delta_n) (\mu_{\ln t} + \delta_{\ln t}) \dots \dots \dots (28)$$

donde:

$\mu_{\ln K}$  y  $\mu_{\ln t}$  = medias de población

$$\delta_{\ln K} = \ln K - \mu_{\ln K}$$

$$\delta_n = n - \mu_n$$

$$\delta_{\ln t} = \ln t - \mu_{\ln t}$$

multiplicando tenemos:

$$\ln I = \mu_{\ln K} + \delta_{\ln K} + \mu_n \mu_{\ln t} + \mu_{\ln t} \delta_n + \mu_n \delta_{\ln t} + \delta_n \delta_{\ln t} \dots \dots \dots (29)$$

Tomando la esperanza de cada término en el lado derecho - de la ecuación para encontrar lo esperado ó valor medio de  $I$  se obtiene:

$$\mu_{\ln I} = E(\ln I) = \mu_{\ln K} + \mu_n \mu_{\ln t} + \sigma_n \ln t^2 \dots \dots \dots (30)$$

donde:

$\sigma_{nLnt}^2$  = covarianza de n y Lnt

$E(\delta_{LnK}) = E(\mu_{Lnt} \delta_n) = E(\mu_n \delta_{Lnt}) = 0$  (de la definición de la media)

La varianza de I en la ecuación (2) puede ser encontrada de  $\sigma_{LnI}^2 = \text{Var}(\text{LnI}) = E(\text{LnI})^2 - E^2(\text{LnI})$ ; Jaynes y Clemmens (12).

Así:

$$\begin{aligned} \sigma_{LnI}^2 = & \mu_n^2 \sigma_{Lnt}^2 + \mu_{Lnt}^2 \sigma_n^2 + \sigma_{LnK}^2 + \mu_n \mu_{Lnt} \sigma_n \text{Lnt} + 2 \mu_{Lnt} \sigma_n \text{LnK}^2 \\ & + 2 \mu_n \sigma_{LnK} \text{Lnt}^2 + 2 \mu_{Lnt} \sigma_{nn} \text{Ln nt}^3 + 2 \mu_n \sigma_n \text{Lnt} \text{Lnt}^3 + 2 \sigma_n \text{LnK} \text{Lnt} + \sigma_n \\ & \text{Lnt n Lnt}^4 - \sigma_n \text{Lnt}^2 \sigma_n \text{Lnt}^2 \dots \dots \dots (31) \end{aligned}$$

donde  $\sigma^3$  y  $\sigma^4$  son analogas a la covarianza. Normalmente, las ecuaciones (30) y (31) no son de mucha utilidad para calcular  $\mu_I$  y  $\sigma_I^2$ , desde que no sabemos a priori como, o si LnK y Lnt, son correlacionados y así la magnitud de los términos de la covarianza son desconocidos. Para riego en melgas, sin embargo, donde el agua está libre a moverse a través de la superficie, se puede asumir que habrá una pequeña correlación entre LnK y Lnt y por lo tanto  $\sigma_{LnK} \text{Lnt}^2 = \sigma_n \text{Lnt}^2 = \sigma_{nn} \text{Lnt}^3 = \sigma_n \text{Lnt} \text{Lnt}^3 = 0$  y  $\sigma_n \text{Lnt n Lnt}^4 = \sigma_n^2 \sigma_{Lnt}^2$ ; Jaynes y Clemmens (12).

Con esta simplificación se tiene:

$$\mu_{LnI} = \mu_{LnK} + \mu_n \mu_{Lnt} \dots \dots \dots (32)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{LnI}^2 = & \mu_n^2 \sigma_{Lnt}^2 + \mu_{Lnt}^2 \sigma_n^2 + \sigma_{LnK}^2 \\ & + 2 \mu_{Lnt} \sigma_n \text{LnK}^2 + 2 \sigma_n \text{LnK} \text{Lnt}^3 \\ & + \sigma_n^2 \sigma_{Lnt}^2 \dots \dots \dots (33) \end{aligned}$$

Para el caso donde la ecuación (27) describe la infiltración, los últimos dos términos en la ecuación (33) no contribuirán significativamente al total y pueden ser ignorados. Por lo tanto la varianza se puede encontrar de:

$$\sigma_{LnI}^2 = \mu_n^2 \sigma_{Lnt}^2 + \mu_{Lnt}^2 \sigma_n^2 + \sigma_{LnK}^2 + 2\mu_{Lnt}^2 \sigma_n \sigma_{LnK}^2 \dots\dots (34)$$

que se puede calcular de las distribuciones de LnK, Lnt y n.

La media y la varianza de la lámina actual infiltrada de la melga puede ser calculada por las ecuaciones (32) y (34) usando las relaciones; Jaynes y Clemmens (12).

$$\mu_I = \exp (\mu_{LnI} + 1/2\sigma_{LnI}^2) \dots\dots\dots (35)$$

$$\sigma_I^2 = \exp (2\mu_{LnI} + \sigma_{LnI}^2) (\exp (\sigma_{LnI}^2) - 1) \dots\dots\dots (36)$$

Sin embargo, estas ecuaciones son validas sólo para I logarítmicamente distribuida que limita la aplicabilidad de las ecuaciones (32) y (34) para describir la distribución de I, --- cuando la ecuación (2) es usada para la infiltración.

Si la ecuación (27) es usada para describir la infiltración, ecuaciones similares para la media y la varianza de I -- pueden ser derivadas. De la ecuación (27) la lámina media infiltrada es:

$$\mu_I = \mu_K \mu_x + \sigma_{Kx}^2 + \mu_a \mu_t + \sigma_{at}^2 \dots\dots\dots (37)$$

Para encontrar la varianza de I:

$$\begin{aligned}
\sigma_I^2 = & \mu_K^2 \sigma_x^2 + \mu_x^2 \sigma_K^2 + 2\mu_K \mu_x \sigma_{Kx}^2 + 2\mu_x \sigma_{KKx}^3 + 2\mu_K \sigma_{Kxx}^3 + \sigma_{KKxx}^4 - \\
& \sigma_{Kx}^2 \sigma_{Kx}^2 + \mu_a^2 \sigma_t^2 + \mu_t^2 \sigma_a^2 + 2\mu_a \mu_t \sigma_{at}^2 + 2\mu_t \sigma_{aat}^3 + 2\mu_a \sigma_{att}^3 + \sigma_{aa} \\
& t t^4 - \sigma_{at}^2 \sigma_{at}^2 + 2\mu_a \mu_K \sigma_{tx}^2 + 2\mu_a \mu_K \sigma_{tK}^2 + 2\mu_t \mu_K \sigma_{ax}^2 + 2\mu_t \mu_x \sigma_{ak}^2 + 2\mu_a \\
& \sigma_{tKx}^3 + 2\mu_t \sigma_{aKx}^3 + 2\mu_K \sigma_{atx}^3 + 2 \\
& \mu_x \sigma_{atK}^3 + 2\sigma_{atKx}^4 - 2\sigma_{at}^2 \sigma_{Kx}^2 \dots \dots \dots (38)
\end{aligned}$$

Si asumimos de nuevo que no hay correlación entre los --- tiempos de oportunidad y los coeficientes de infiltración, esas ecuaciones se reducen a:

$$\mu_I = \mu_K \mu_x + \mu_a \mu_t \dots \dots \dots (39)$$

$$\begin{aligned}
\sigma_I^2 = & \mu_K^2 \sigma_x^2 + \mu_x^2 \sigma_K^2 + \sigma_K^2 \sigma_x^2 + \mu_a^2 \sigma_t^2 + \mu_t^2 \sigma_a^2 + \sigma_a^2 \sigma_t^2 + 2\mu_a \mu_K \\
& \sigma_{tx}^2 + 2\mu_t \mu_x \sigma_{ak}^2 + 2\mu_a \sigma_{tKx}^3 + 2\mu_t \sigma_{aKx}^3 + 2\mu_K \sigma_{atx}^3 + 2\mu_x \sigma_{atK}^3 + 2\sigma_{atKx}^4 \\
& \dots \dots \dots (40)
\end{aligned}$$

### 3.4.2. Incorporando la variabilidad de la infiltración en modelos de riego para melgas.

Si una melga es dividida en bloques y los parámetros de infiltración son constantes para cada bloque. Para a distribuida normalmente e independiente de K, los valores para cada bloque se encuentran de:

$$a = \mu_a + \beta_1 \sigma_a \dots \dots \dots (41)$$

donde  $\beta_1$  es una variación standard normal ( $\mu\beta_1=0$  y  $\sigma\beta_1=1$ ). Para a independiente, distribuido log-normalmente, los valores de ca da bloque son generados de:

$$a = \exp(\mu_{\text{Lna}} + \beta_1 \sigma_{\text{Lna}}) \dots \dots \dots (42)$$

Los valores para K se generan de la misma manera.

En simulaciones donde se asume que K es una función lineal de a, se usan las ecuaciones (41) ó (42) para generar el valor de a para cada bloque, y el correspondiente valor de K se calcula de:

$$K = C_1 a + C_2 + \beta_2 \sigma_{ka} \dots \dots \dots (43)$$

para parámetros distribuidos normalmente y

$$K = \exp(C_3 \text{Lna} + C_4 + \beta_2 \sigma_{\text{LnK Lna}}) \dots \dots \dots (44)$$

para distribuciones log-normales donde  $\beta_2$  es dibujada al azar de una variación estándar normal ( $\beta_2 \neq \beta_1$ ), y los valores de C y  $\sigma$  son los coeficientes de regresión y desviaciones estándar de la regresión, encontrados respectivamente de la regresión lineal usando los datos obtenidos ó los logaritmos de los datos obtenidos.

Cuando las covarianzas entre los parámetros de infiltración y los tiempos de oportunidad no contribuyen más del 1% hechas para simplificar las ecuaciones (31) y (38) son válidas. En sumando los momentos no contribuyen más del 0.5% para  $\sigma_I^2$  pueden ser ignorados. Eliminando esos términos de (40), queda:

$$\sigma_I^2 = \mu_k^2 \sigma_x^2 + \mu_x^2 \sigma_x^2 + \mu_a^2 \sigma_t^2 + \mu_t^2 \sigma_a^2 + 2\mu_a \mu_k \sigma_{tx}^2 + 2\mu_t \mu_x \sigma_{ak}^2 \dots \dots \dots (45)$$

La ecuación (45) sugiere que la varianza de I, donde se asume una infiltración variable a través de la melga, se puede calcular de una simulación simple usando una ecuación de infil-

tración uniforme y conociendo la varianza de  $K$  y  $a$  para la melga. Esto es posible debido a que la interacción entre el tiempo de oportunidad de infiltración y la tasa de infiltración no es afectada grandemente por una tasa de variabilidad espacial, Jaynes y Clemmens (12).

### 3.5. Uniformidad de riego en melgas:

#### Efectos combinados de infiltración

La uniformidad a la cual el agua puede ser distribuida en un campo puede tener un impacto directo en la eficiencia potencial del riego cuando los riegos son inducidos a satisfacer el uso consuntivo o sobre los rendimientos cuando es practicado - un riego deficiente. En sistemas de riego de superficie existen una variedad de factores que influyen en la uniformidad del riego. Esos factores incluyen variaciones en el tiempo de oportunidad de la infiltración, variaciones en las características de infiltración del suelo, variaciones en la retención de la superficie después de la recesión causada por una superficie de campo no plana, variaciones en el perímetro mojado de surcos causadas por variaciones del tirante de flujo, variaciones en la tasa de infiltración y los tiempos de corte entre los arreglos de riego, etc. Las primeras dos causas son las dominantes de la no uniformidad en muchos casos.

#### 3.5.1. Relaciones de uniformidad de distribución.

Uno de los términos más usados para describir la uniformidad del riego es la uniformidad de distribución del cuarto más

bajo ( $DUI_q$ ).

$$DUI_q = \frac{L.P.A.C.M.B.}{L.P.A.T.} \dots\dots\dots (46)$$

donde:

L.P.A.C.M.B. = Lámina promedio del área del cuarto más bajo

L.P.A.T. = Lámina promedio del área total

La  $DUI_q$  puede ser relacionada a las pérdidas por percolación profunda (y de este modo a la eficiencia de riego) cuando el numerador es la lámina de aplicación deseada.

Para una distribución normal de láminas infiltradas, la  $DUI_q$  puede ser determinada del coeficiente de variación, CV, por (Hart y Reynolds, 1965) (3).

$$DUI_q = 1 - 1.27 C.V. \dots\dots\dots (47)$$

donde CV es la desviación estándar de láminas infiltradas dividido por el promedio de láminas infiltradas.

### 3.5.2. Variaciones de la infiltración.

Las variaciones espaciales en los parámetros de infiltración se muestran distribuidas típicamente log-normalmente, aunque una distribución normal también es usualmente un buen arreglo para obtener datos -Sharma et.al., citado por Clemmens (3) - Sin embargo, para suelos que se encuentran a distancias mayores de 10 a 30 m, las propiedades de la infiltración de esos suelos son consideradas independientes estructuralmente.

Se asumirá que la infiltración es de la forma:

$$D = Kt^a \dots\dots\dots (48)$$

donde  $D$  es la lámina infiltrada acumulada en el tiempo de oportunidad de infiltración,  $t$ ,  $K$  y  $a$  son constantes empíricas.

Isardi, citado por Clemmens (3), también como otros trabajos no publicados, ha mostrado altas correlaciones entre los valores para parámetros  $K$  y  $a$  de la ecuación (48) para arreglos de datos tomados de la variabilidad en la infiltración en los estudios de campo.

### 3.5.3. Tiempo de oportunidad y variaciones.

En general los tiempos de oportunidad en una melga son influenciados por las curvas de avance y recesión. El avance y la recesión usualmente no son uniformes a través de la anchura de una melga, implicando algo de variación al azar en el avance.

Cuando la infiltración es descrita por una función exponencial (con un exponente constante conocido,  $a$ ), la distribución del tiempo de oportunidad efectivo (i.e., como afecta el tiempo de oportunidad la distribución de láminas infiltradas) es una distribución en  $t^a$ , como se muestra en la Figura 2.

Jaynes y Clemmens (12) indicaron que para tiempos de oportunidad relativamente uniformes (bajos coeficientes de variación, e.g.  $< 0.15$ ) y relativamente grandes variaciones en la infiltración (altos coeficientes de variación, e.g.  $> 0.15$ ) que las variaciones en el tiempo de oportunidad y las variaciones en las condiciones de infiltración del suelo fueron independientes cuando la variabilidad del suelo fue asumida aleatoria y distribuida normalmente.

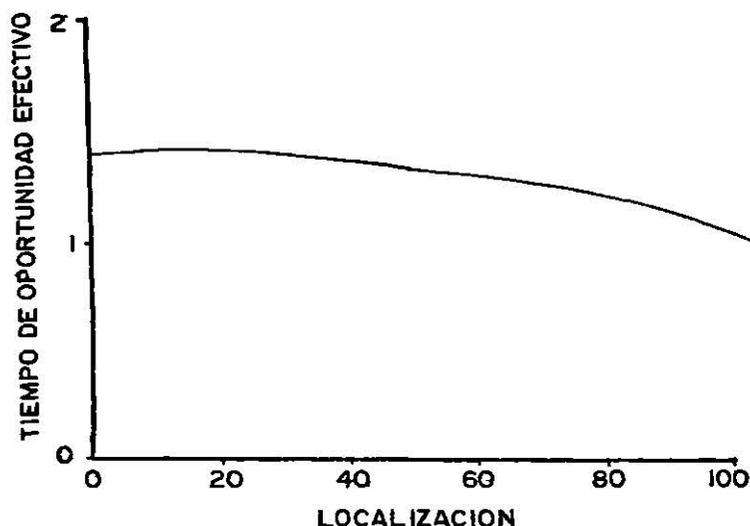


Figura 2. Ejemplo de una distribución del tiempo de oportunidad efectivo,  $t^a$ , con localización para un coeficiente de variación  $CV_h$ , de 0.10.

#### 3.5.4. Varianza de láminas infiltradas.

El coeficiente de variación para el producto de dos variables aleatorias independientes (como fue postulado en la ecuación (48) puede ser encontrado por combinación simple de técnicas de varianza (Mood, Graybil y Boes, citados por Clemmens (3), indiferentes a la combinación de los tipos de distribuciones. Para este análisis donde son usadas pruebas discretas para estas dos distribuciones, el valor esperado de el total de variación en términos de coeficiente de variación,  $CV_D$ , puede ser descrito por; Jaynes y Clemmens (12).

$$E [CV_D] = \sqrt{CV_n^2 + CV_k^2 + CV_n^2 CV_k^2 \dots \dots \dots} \quad (49)$$

donde:

$E[ ]$  = el valor esperado

$CV_n$  = coeficiente de variación de la distribución resultante - del tiempo de distribución en términos de  $t^a$

$CV_k$  = coeficiente de variación causado por la variación del -- suelo en términos de  $K$ .

Esta ecuación es válida para cualquiera de los dos tipos - de distribuciones, para  $t^a$  y  $K$ , estipula que las distribuciones son independientes.  $E [CV_D]$  es el valor esperado de los coeficientes de variación combinados. Un ejemplo típico de una distribución combinada en láminas infiltradas es dado en la Figura 3.

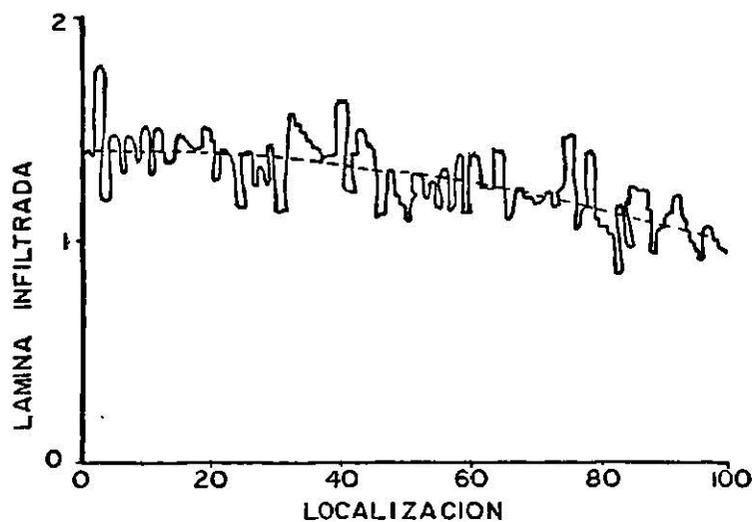


Figura 3. Ejemplo de la distribución en la lámina infiltrada de distribuciones combinadas de la constante de infiltración del suelo y los tiempos de oportunidad efectivos con  $CV_k=0.10$  y  $CV_n=0.10$ . La línea punteada es de las distribuciones del tiempo de oportunidad efectivo para referencia. .

Teóricamente la ecuación (49) requiere dos distribuciones aleatorias, para propósitos prácticos, una de esas distribuciones puede ser una tendencia determinada como fue demostrado -- por Jaynes y Clemmens (12). Sin embargo, la ecuación (49) no sería válida si una tercera variable con un componente determinístico fuera agregada, o un componente determinístico agregado a  $K$ . (e.g., tendencias en parámetros de infiltración).

### 3.5.5. Cálculo de la uniformidad de distribución.

Excepto en casos especiales, la forma de la distribución resultante en la lámina infiltrada,  $D$ , no es conocida. Si las dos distribuciones son normalmente distribuidas, la distribución resultante será normalmente distribuida. Entonces conociendo los coeficientes de variación  $CV_n$  y  $CV_k$ , se puede encontrar  $E [CV_D]$  de la ecuación (49) y  $DUL_q$  de la ecuación (47). Sin embargo,  $t^a$  generalmente no es distribuida normalmente. Clemmens (3) desarrolló un método para estimar  $DUL_q$  con las -- ecuaciones (47) y (49) cuando una de las distribuciones no es normal. El método se basa en encontrar un CV equivalente para la distribución no normal que dará la correcta  $DUL_q$  para esa -- distribución. Para una distribución no normal de  $t^a$  el procedimiento será el siguiente:

1. Calcular la distribución de  $t^a$
2. Calcular  $DUL_q$  para  $t^a$  de la ecuación (46) (más precisamente con  $D$  de la ecuación (48) con  $k=1$ )
3. Calcular un equivalente ó recalcular  $CV_n$  del  $DUL_q$  de arriba

y la ecuación (47).

4. Determinar  $CV_k$  para el suelo dado.
5. Calcular  $E [CV_D]$  de la ecuación (49).
6. Calcular  $DUI_q$  de la ecuación (47) con  $CV = E [CV_D]$

### 3.6. Eficiencia de aplicación

El concepto de rendimiento de la aplicación del agua surgió de la necesidad de fijar la atención y de medir el rendimiento con que el agua aplicada era almacenada en la zona radicular del terreno, de manera que pueda ser utilizada por las plantas. Israelsen, (10). Israelsen define la eficiencia de aplicación en por ciento como el agua almacenada en la zona radicular de el agua aplicada al terreno.

$$E_a = 100 \frac{W_s}{W_f} \dots\dots\dots (50)$$

donde:

$E_a$  = eficiencia aplicada

$w_s$  = agua almacenada en la zona radicular durante el riego

$w_f$  = agua de riego aportada al terreno

Despreciando las pérdidas por evaporación durante el período de aplicación e inmediatamente después de él, tenemos que:

$$W_f = W_s + R_f + D_f \dots\dots\dots (51)$$

donde:

$R_f$  = pérdidas superficiales por escorrentía

$D_f$  = percolación profunda por debajo de la zona radicular

Entonces la eficiencia de aplicación resulta:

$$E_a = 100 \frac{W_f - (R_f + D_f)}{W_f} \dots\dots\dots (52)$$

Bishop, mencionado por Pissani ( 17 ), utilizando la ecuación - de Kostiaikov para la velocidad de infiltración y una relación- de tiempo, R, estimó las pérdidas por percolación profunda del- siguiente modo:

$$P_d = 100 \frac{(R+1)^{n+1} - R^{n+1}}{(R+1)^{n+1} + R^{n+1}} = 100 \frac{D_f}{W_s + D_f} \dots\dots\dots (53)$$

donde:

$P_d$  = tanto por ciento del agua absorbida

$(W_s + D_f)$  = que se pierde por percolación profunda

$R$  = número que expresa la rapidez del avance =  $t_r / t_1$

$t_r$  = tiempo necesario para que la zona ocupada por las rai- ces se sature completamente, sin pérdidas por percola- ción profunda.

$t_1$  = tiempo necesario para que el agua llegue al extremo -- del tramo de riego.

$n$  = exponente del tiempo en la ecuación de la velocidad de la infiltración, en la que  $I$  es la velocidad de infil- tración y  $K$  es una constante.

Si se supone, por ejemplo, que el gasto escurrido es un -- tanto por ciento constante del gasto aportado, durante el perío- do de escurrimiento, y que el tiempo de riego ( $t_r = t_1$ ) en que el agua está sobre el campo es suficiente para saturar completamen- te la zona ocupada por las raíces en el extremo inferior del -- tramo de riego, se puede usar el siguiente análisis para esti-

mar la eficiencia de la aplicación del agua en suelos que tengan diferentes características de infiltración (es decir diferentes valores de  $n$ ).

Para calcular el tanto por ciento del escurrimiento superficial:

$$Pr = 100 \left( \frac{Tr}{Tr+T_1} \right) \left( \frac{qr}{qf} \right) \dots\dots\dots (54)$$

donde:

$Pr = 100 Rf/Wf =$  tanto por ciento del agua proporcionada al campo ( $Wf$ ) que se pierde por escurrimiento superficial.

$Tr+T_1=T=$  tiempo total de riego

$Tr =$  tiempo durante el cual hay escurrimiento.

$Tr/(Tr+T_1)=$  fracción del tiempo total de riego durante el que hay escurrimiento.

$qr =$  gasto escurrido

$qf =$  gasto de la aportación al campo (gasto de entrada)

$100(qr/qf)=$  magnitud del gasto escurrido, en tanto por ciento de gasto proporcionado al campo.

Escribiendo de otro modo la ecuación (52)

$$Ea = 100 \left( 1 - \frac{Rf}{Wf} - \frac{Df}{Wf} \right) = 100 - Pr - Pdp \dots\dots\dots (55a)$$

en la que:

$$Pdp = 100 \left( \frac{Df}{Ws+Df+Rf} \right) \dots\dots\dots (55b)$$

No se dispone directamente del valor de  $Pdp$ , pero se puede considerar aproximadamente igual al  $Pd$  de la ecuación (53). Las suposiciones hechas para el desarrollo de la ecuación (53), -- tienden a compensar la omisión del valor de  $Rf$  en el denominador de la ecuación (53). Sustituyendo en la ecuación (55a) --

Pdp por el valor Pd de la ecuación (53) se obtiene:

$$Ea = 100 \left[ 1 - \left( \frac{Tr}{Tr+Tl} \right) \left( \frac{qr}{qf} \right) - \left( \frac{(R+1)^{n+1} - R^{n+1}}{(R+1)^{n+1} + R^{n+1}} \right) \right] \dots (56)$$

Se puede usar la ecuación (56) para calcular la eficiencia de la aplicación del agua cuando se conocen R, n y la relación del gasto escurrido al gasto de aportación al campo, qr/qf.

### 3.6.1. Eficiencia de la distribución del agua.

En la mayoría de los casos la respuesta del cultivo se mueve en la misma dirección que la uniformidad de distribución del agua, Israelsen (10). La fórmula que expresa el grado de uniformidad de la distribución es la siguiente:

$$Ed = 100 \left[ 1 - (y/d) \right] \dots (57)$$

donde:

Ed = eficiencia de la distribución del agua.

y = desviación media de la cantidad que mide el espesor de la capa de agua almacenada, del valor del espesor medio de la capa almacenada durante el riego.

d = espesor de la capa de agua almacenada durante el riego.

Otra forma de medir la eficiencia de distribución es mediante la fórmula del coeficiente de uniformidad, CU, de Christiansen, Israelsen (10).

$$CU = 100 \left[ 1 - \left( \frac{\sum x}{mn} \right) \right] \dots (58)$$

donde:

CU = coeficiente de uniformidad

x = desviación de cada una de las observaciones del valor de la media m.

n = número de observaciones.

## 4. MATERIALES Y METODOS

### 4.1. Localización

El área donde se realizó el estudio se encuentra entre -- las coordenadas geográficas de 25°53' latitud norte y 100°03' longitud oeste, con respecto al meridiano de Greenwich y con una altura sobre el nivel del mar de 367.0 m.

Las pruebas se realizaron en un terreno de 5.8 has dentro del campo experimental de la Facultad de Agronomía de la U.A.-N.L. en el municipio de Marín, N.L. (Plano #1 del apéndice).

### 4.2. Clima

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen modificado para la República Mexicana por García E., (citado por Araujo y Garza (6)) el municipio de Marín, Nuevo León, se encuentra bajo la influencia de dos subtipos climáticos  $BS_0$  y  $BS_1$ , los cuales corresponden al grupo de climas secos ó esteparios ( $BS_0$ ).

El régimen de precipitación es de verano, la precipitación media anual es de 503 mm y el período de lluvias se presenta en los meses de mayo, agosto y septiembre (Ver cuadro - I ).

### 4.3. Suelos

Los suelos del campo donde se realizó el experimento son jóvenes, de origen aluvial, con perfil no genético ó bien dife

Cuadro I. Precipitación total en el mes reportada por el Depto. de Meteorología y Climatología de la Facultad de Agronomía de la U.A.N.L. Marín, N.L.

Datos de precipitación total en el mes (mm.) Est.: Marín, N.L.

Lat.: 25°53' N Long.: 100°03' W Altitud.: 367.3 m.

Años	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1979	4.7	1.1	36.0	30.5	94.0	19.75	43.1	77.2	213.0	60.0	30.8	44.65
1980	12.3	8.05	0.0	0.0	107.0	0.0	5.6	153.1	117.0	35.2	18.0	14.9
1981	71.2	23.2	32.6	113.7	55.7	101.5	47.4	98.8	98.7	29.2	1.3	0.0
1982	0.0	10.9	17.4	11.8	6.6	15.8	9.6	1.0	5.0	44.4	22.6	41.8
1983	29.8	40.1	16.6	0.0	141.8	20.4	51.8	111.4	69.8	25.60	0.0	9.20
1984	89.9	5.8	0.0	0.0	110.60	28.9	30.1	2.6	70.1	21.5	0.0	38.2
1985	45.9	3.6	17.6	122.0	22.8	30.2	35.7	28.1	118.0	113.6	5.3	6.4
1986	0.0	2.5	9.8	23.9	-	151.7	35.7	12.1	189.7	-	24.6	0.77
Suma	253.8	95.25	130	301.9	538.5	368.25	259	484.3	881.3	329.5	102.6	155.92
Media	31.725	11.91	16.25	37.74	76.93	46.03	32.38	60.54	110.16	47.1	12.83	19.49

renciado en sus horizontes. Estos suelos provienen principalmente de la intemperización de Lutitas y Calizas. La textura es migajón-limoso (Ver cuadros del IX al XIII del perfil característico del suelo después del movimiento de tierras). (Cuadros del apéndice).

#### 4.4. Materiales

- Tractor con rastra
- Tractor con niveladora
- Tránsito completo
- Cinta metálica
- Balizas
- Estacas
- Nivel topográfico
- Estadales
- Tractor con bordeadora de discos
- 9 juegos de cilindros infiltrómetros
- Cronómetro
- Tractor con cultivadora
- Frascos de vidrio y aluminio
- Gradilla
- Barrena Veihmeyer
- Balanza granataria
- Sifones de 1", 1 3/4"
- Reglas de plástico de 30 cm
- Manguera de nivel
- Estufa
- Manta negra de polietileno

- Formas para la recopilación de los datos de avance y recepción (Ver cuadros VI, VII y VIII en el apéndice).
- Formas para la recopilación de los datos de las pruebas de infiltración (Ver forma 1).

#### 4.5. Desarrollo del experimento

El método que se utilizó en el presente trabajo es el descrito por Merriam y Keller (16) . Con esta técnica se obtiene la información necesaria para conocer la eficiencia con que se está utilizando el riego por melgas. La metodología antes mencionada nos permitirá conocer:

1. Uniformidad de distribución  $DU^*$
2. Eficiencia de aplicación potencial, PELA, (Mínimo absoluto)  $PELQ^*$
3. Eficiencia de aplicación, AELA, (Mínimo absoluto)  $PELQ^*$
4. Duración correcta del riego  $(T_i)^*$
5. Gasto correcto
6. Observación de las características de infiltración.

En este terreno se realizó un movimiento de tierras para su nivelación en abril de 1986 (Ver planos 1, 2 y 3 de antes y después del movimiento de tierras y de cortes y rellenos en el anexo).

Posteriormente se estableció, como medida de rehabilitación, un cultivo de sorgo forrajero el cual se reincorporó cuando tenía aproximadamente 0.6 m de altura.

\* Ver apartado 4.7. pag. 42 para la definición de los términos.

El presente trabajo se inició con un paso de rastra para romper terrones y eliminar algunas malas hierbas; posteriormente se procedió a hacer un paso con niveladora con el fin de emparejar la superficie y eliminar el efecto de la microtopografía del terreno en el riego, la cual se manifiesta a la hora de regar con pequeños manchones secos y encharcamientos. El paso de niveladora se hizo siguiendo las recomendaciones del USDA (22), el cual sugiere comenzar la labor siguiendo las esquinas del terreno con menor diferencia de altura y posteriormente dar otro paso en sentido perpendicular al anterior. Una vez terminado el paso de niveladora se procedió a cuadricular el terreno a cada 20 m utilizando para ello, tránsito, cinta y estacas para marcar las intersecciones de la cuadrícula. Una vez cuadrulado el terreno se procedió a tomar lecturas de nivel y posteriormente al cálculo de cotas y obtención del plano de curvas a nivel (plano N° 3). Las curvas a nivel se hicieron a cada 10 cm de altura como se recomienda para terrenos con menos de 1% de pendiente (14).

El trazo de riego se proyectó con el plano de curvas a nivel y se planearon las melgas con una pendiente longitudinal de 0.17% quedando una pendiente transversal mayor en las melgas (0.45%) por lo que se hizo un paso de cultivadora a lo largo de las melgas para formar corrugaciones y evitar que el agua hiciera canalizaciones. Las corrugaciones se hicieron de 15 cm y el ancho de melga fué de 6 m. Para levantar los bordos de las melgas y acequias se utilizó una bordeadora de discos. La longitud de las melgas fué de 140 m y fueron cerradas

al final mediante otro bordo perpendicular al sentido de la -- melga. Las melgas en las cuales se realizaron las pruebas estaban separadas 14 m una de otra para trabajar en terreno seco durante la prueba. En un bordo adyacente a cada melga se marcaron las estaciones a cada 10 m con estacas de madera; éstas servirán al momento del riego para tomar los tiempos de avance y recesión.

A continuación; en cada melga se corrió una prueba de infiltración, para ello se colocó un juego de cilindros infiltrómetros en el centro de cada tercio de la longitud de la melga- (Ver plano N° 3 en apéndice).

Con el fin de conocer en detalle el perfil longitudinal - de cada melga, se hizo un levantamiento altimétrico; con una - equidistancia de 10 m; estos datos posteriormente se grafica-- rón y correlacionaron con las curvas de avance y recesión (16).

Antes y después del riego se realizó un muestreo de hume-- dad con dos barrenas veihmeyer a cada 20 cm y hasta 1 m de pro-- fundidad en 7 puntos a lo largo de cada melga. Esto con el -- fin de conocer el contenido de humedad antes y después del rie-- go y tomarse como referencia. El contenido de humedad se obtu-- vo por el método gravimétrico, con estos datos se conocerá la-- lámina real aplicada y su uniformidad de distribución.

A la entrada de cada melga se colocó un dispositivo de -- aforo con el objeto de conocer el gasto de entrada; el cual pa-- ra este tipo de pruebas debe ser constante, Merriam Y Keller -- ( 16 ); para ello se calibraron sifones de 1", 1 3/4" de-

diámetro. (Ver gráfica #14 en el apéndice).

Para llevar a cabo el riego, se hicieron a la entrada de cada melga 3 cajetes de aproximadamente 2 m de ancho x 1 m de largo, se nivelaron, emparejaron y luego se cubrieron con hule para disminuir el efecto erosivo de la descarga de los sifones y como dispositivo para uniformizar la entrada de agua a la melga.

En la regadera se colocó una manguera de nivel la cual -- sirvió para conocer la carga en los sifones para calcular el gasto de entrada a cada melga y checar que no haya fluctuaciones en el gasto.

Las tres pruebas se realizaron en la misma forma y solo se varió el gasto a correr en cada melga.

Melga 1	Q = 24 lps
Melga 2	Q = 10 lps
Melga 3	Q = 17 lps

La evaluación se llevó a cabo como se describe a continuación:

1. Se inició el riego y se anotó la hora (Cuadros VI, VII y VIII).
2. Se midió la carga de los sifones con la manguera de nivel; - esto se repitió varias veces a lo largo de la prueba para - detectar cualquier cambio en el gasto.
3. Se anotó la hora en que el agua llegaba a cada estación se - tomó como criterio para anotar la hora cuando el agua cubría el 80% de la superficie de cada estación.

4. Se cortó el agua cuando ésta llegaba al 90% de la longitud de la melga.
5. Después del corte del agua, se anotaron los tiempos de recesión; para esto se toma como criterio el que el agua desaparezca en un 80% de la superficie de cada estación.

#### 4.6. Análisis de los datos

##### a) Utilización de los datos de infiltración.

1. Se grafican los datos de infiltración acumulada de los cilindros de cada melga en papel logarítmicos.
2. Se obtiene la función de infiltración en cada cilindro ajustando los datos de infiltración acumulada a la ecuación de Kostiaikov-Lewis.
3. Se obtiene una curva promedio ó típica a partir de las curvas de cada melga. Esto se puede hacer analíticamente ó gráficamente.
4. Se calcula el tiempo de oportunidad necesaria para infiltrar las láminas esto se hace en la curva promedio ó típica obtenida analíticamente.

##### b. Utilización de los datos de avance y recesión.

1. Se grafican los datos de avance y recesión y se obtienen las curvas de avance y recesión.
2. Se obtienen los tiempos de oportunidad de infiltración ( $t_o$ ) para cada estación, ya sea gráficamente mediante las curvas de avance y recesión ó a partir de los datos de avance y recesión.

3. Con los tiempos de oportunidad y la curva de infiltración promedio se obtienen las láminas infiltradas de los datos típicos de infiltración para cada estación.
4. Se obtiene la lámina promedio a partir de los datos típicos de infiltración.
5. Se obtiene la lámina promedio para toda la melga mediante la relación:

$$\bar{D} = \frac{Q \text{ tr}60}{A}$$

donde:

$\bar{D}$  = lámina infiltrada promedio en metros

Q = gasto en m<sup>3</sup>/seg.

tr = tiempo de riego (tiempo en el cual entra agua a la melga) (minutos)

A = área de la melga (m<sup>2</sup>)

60 = factor de conversión de minutos a segundos

6. Con la lámina promedio infiltrada de los datos típicos de infiltración y la lámina promedio " $\bar{D}$ " obtenida en el paso anterior se obtiene la curva de infiltración ajustada. Esto se hace aumentando ó disminuyendo a la curva de infiltración típica hasta ajustarla a " $\bar{D}$ "; para esto se determina la diferencia entre la lámina promedio de los datos típicos de infiltración y " $\bar{D}$ " obtenida en el paso anterior. La curva de infiltración ajustada se dibuja paralela a la curva de infiltración típica y se le aumenta ó disminuye la diferencia entre " $\bar{D}$ " y la lámina promedio de los datos típicos de infiltración.

7. Una vez obtenida la curva de infiltración ajustada se procede a calcular las láminas ajustadas en cada estación.
8. Se grafican en papel cuadrulado la curva de las láminas infiltradas. En el eje de las abscisas se colocan las estaciones y en el de las ordenadas las láminas infiltradas.
9. Se dibujan la línea del SMD (Deficiencia de humedad del suelo) y  $\bar{D}$  en la gráfica de las láminas infiltradas.
10. Con los datos obtenidos del muestreo de humedad después del riego se construye la gráfica de las láminas reales. En el eje de las abscisas se colocan las estaciones y en el de las ordenadas las láminas infiltradas.

#### 4.7. Parámetros a definir

DU: Uniformidad de distribución.- Indica la uniformidad de la infiltración a través del campo y es expresada como un porcentaje dividiendo la lámina promedio infiltrada en la cuarta parte más baja de el área entre la lámina promedio de agua infiltrada.

AELQ: Eficiencia de aplicación del punto más bajo.- Indica la eficiencia actual que está siendo alcanzada con un sistema dado y es expresada como porcentaje dividiendo el promedio de las láminas de agua almacenada en la zona de raíces del cuarto bajo entre el promedio de la lámina de agua aplicada.

AELA: Eficiencia de aplicación del bajo absoluto.- Indica la eficiencia que está siendo alcanzada actualmente con un sistema dado y es expresado como porcentaje; dividiendo la mínima

## 5. RESULTADOS Y DISCUSION

De las melgas trazadas se escogieron tres en las que se determinaron las eficiencias de la operación de riego, estas melgas se escogieron de tal modo que quedaron alternadas una de otra para trabajar en un suelo seco.

Los cortes realizados durante el movimiento de tierras -- fueron mayores en el área de la melga 1, teniendo un corte promedio de 38.00 cm y un volumen promedio cortado de  $319.20 \text{ m}^3$ , -- que en las áreas de las melgas 2 y 3; siendo el corte promedio de la melga 2 de 27.81 cm y el volumen promedio cortado fué --  $233.60 \text{ m}^3$ , mientras que para la melga 3 el corte fué de 18.91 cm y el volumen cortado de  $158.80 \text{ m}^3$  (Plano #2 del apéndice).

Se efectuaron tres pruebas de infiltración en cada melga y a partir de los datos obtenidos se graficaron las curvas de lámina infiltrada acumulada, las cuales se observan en las gráficas 1, 2 y 3 de cada melga; los parámetros K y n de la ecuación de Kastiakov-Lewis son los siguientes:

	K	n
Melga 1 (Q=24 Lps)	0.9793622	0.1485020
Melga 2 (Q=10 Lps)	1.6266216	0.3326472
Melga 3 (Q=17 Lps)	1.7060843	0.4970028

Araujo y Garza (6), antes del movimiento de tierras realizaron pruebas de infiltración en el mismo terreno obteniendo los resultados que se enseñan en la gráfica 15 del apéndice.

A continuación aparecen los coeficientes de infiltración-básica (CIB) para cada melga y el de antes del movimiento de --

lámina de agua almacenada en la zona de raíces entre la lámina de agua promedio aplicada.

PELQ: Eficiencia de aplicación potencial del cuarto bajo. Es la medida de que tan bien puede establecerse un sistema bajo un manejo razonablemente bueno, cuando el riego deseado esta siendo aplicado y es expresado como porcentaje dividiendo la lámina promedio infiltrada del cuarto bajo, cuando es igual al MAD, entre el promedio de las láminas infiltradas.

PELA: Eficiencia de aplicación potencial del bajo absoluto.- Es la medida de que tan bien puede establecerse un sistema bajo un buen manejo cuando se aplica el riego deseado. Es expresado como porcentaje dividiendo la lámina mínima infiltrada cuando es igual al MAD entre la lámina promedio aplicada.

Dua: Uniformidad de distribución absoluta. Indica la uniformidad de infiltración a través del campo y es expresada como porcentaje dividiendo la lámina mínima infiltrada entre la lámina promedio infiltrada.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSION

De las melgas trazadas se escogieron tres en las que se determinaron las eficiencias de la operación de riego, estas melgas se escogieron de tal modo que quedaron alternadas una de otra para trabajar en un suelo seco.

Los cortes realizados durante el movimiento de tierras -- fueron mayores en el área de la melga 1, teniendo un corte promedio de 38.00 cm y un volumen promedio cortado de 319.20 m<sup>3</sup>, -- que en las áreas de las melgas 2 y 3; siendo el corte promedio de la melga 2 de 27.81 cm y el volumen promedio cortado fué -- 233.60 m<sup>3</sup>, mientras que para la melga 3 el corte fué de 18.91 cm y el volumen cortado de 158.80 m<sup>3</sup> (Plano #2 del apéndice).

Se efectuaron tres pruebas de infiltración en cada melga y a partir de los datos obtenidos se graficaron las curvas de lámina infiltrada acumulada, las cuales se observan en las gráficas 1, 2 y 3 de cada melga; los parámetros K y n de la ecuación de Kastiakov-Lewis son los siguientes:

	K	n
Melga 1 (Q=24 Lps)	0.9793622	0.1485020
Melga 2 (Q=10 Lps)	1.6266216	0.3326472
Melga 3 (Q=17 Lps)	1.7060843	0.4970028

Araujo y Garza (6), antes del movimiento de tierras realizaron pruebas de infiltración en el mismo terreno obteniendo los resultados que se enseñan en la gráfica 15 del apéndice.

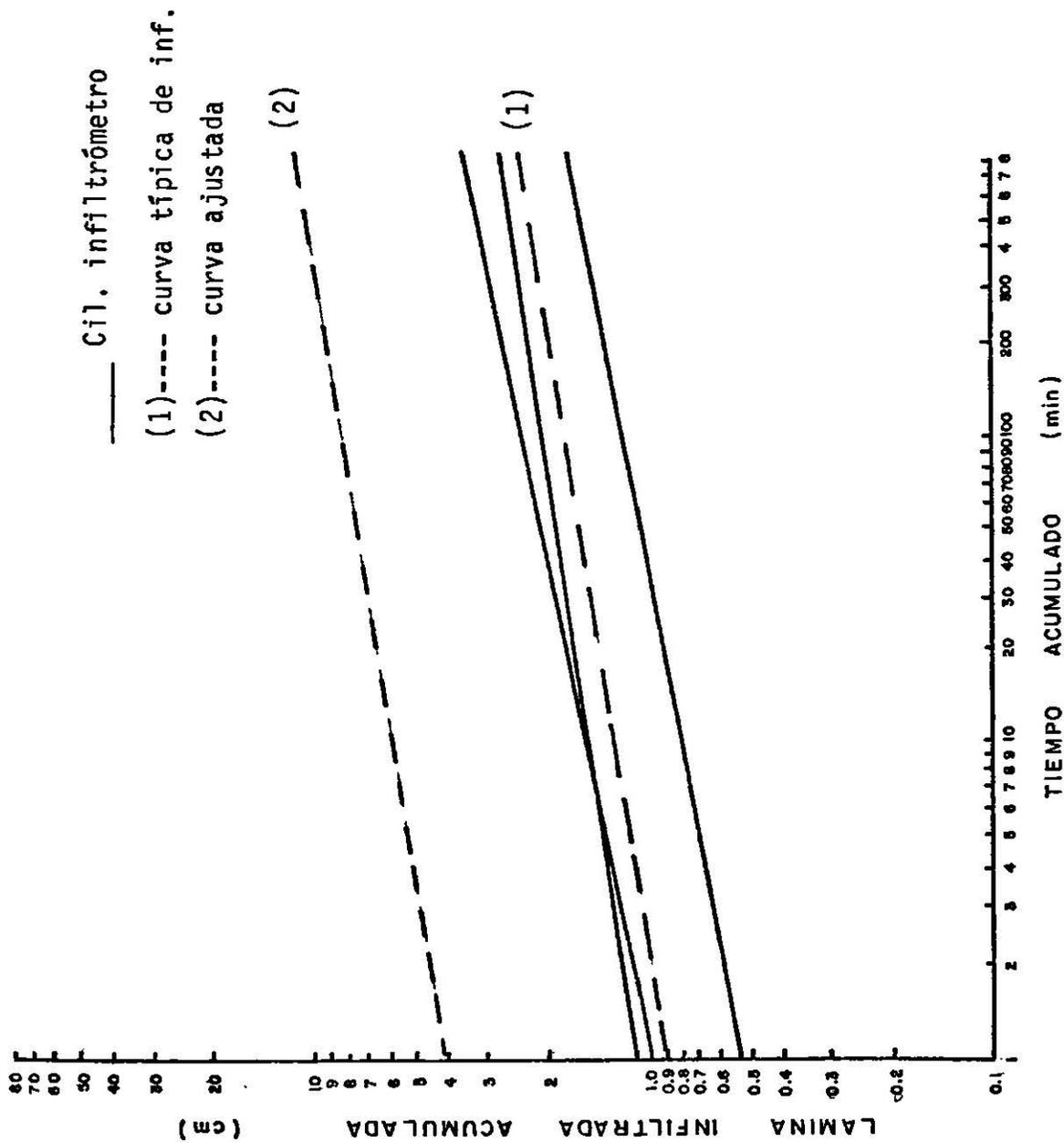
A continuación aparecen los coeficientes de infiltración-básica (CIB) para cada melga y el de antes del movimiento de

tierras en 200 minutos de tiempo acumulado.

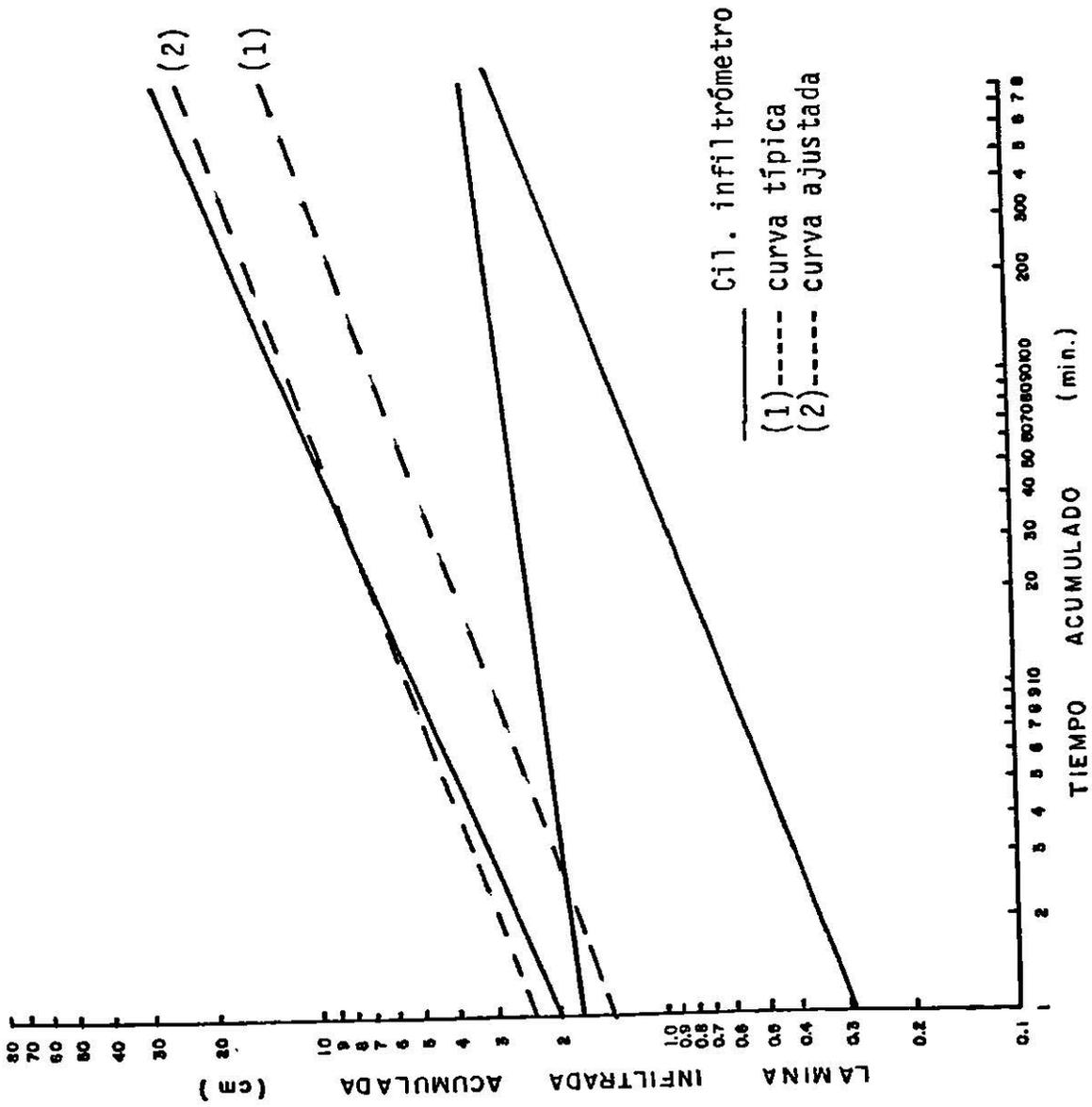
Melga 1	CIB = 0.09 cm/h
Melga 2	CIB = 0.9 cm/h
Melga 3	CIB = 3.54 cm/h
Antes del movimiento de tierras	CIB = 5 cm/h

Como se puede apreciar, la variación es grande entre el CIB de antes del movimiento de tierras y los CIB de después del movimiento de suelo. Esto debido a la exposición de capas compactas del perfil de suelo causado por cortes que fluctúan entre 27.8 cm y 38.0 cm. Este parámetro también varía entre cada melga siendo de 0.09 cm/h y 0.9 cm/h para las melgas 1 y 2 respectivamente, los cuales son muy bajos y de 3.54 cm/h para la melga 3. Esta variación también se puede apreciar en las gráficas de infiltración acumulada típica (Figuras 1,2 y 3) de cada melga y en las curvas de los cilindros infiltrómetros (Figs. 1,2, y 3). En las melgas 1 y 2 las pendientes de las curvas de infiltración inicial alta que rápidamente baja. Entre los cilindros de cada melga también se aprecia variación, y, en general todos mostraron una tasa de infiltración baja (Figs. 1, 2 y 3).

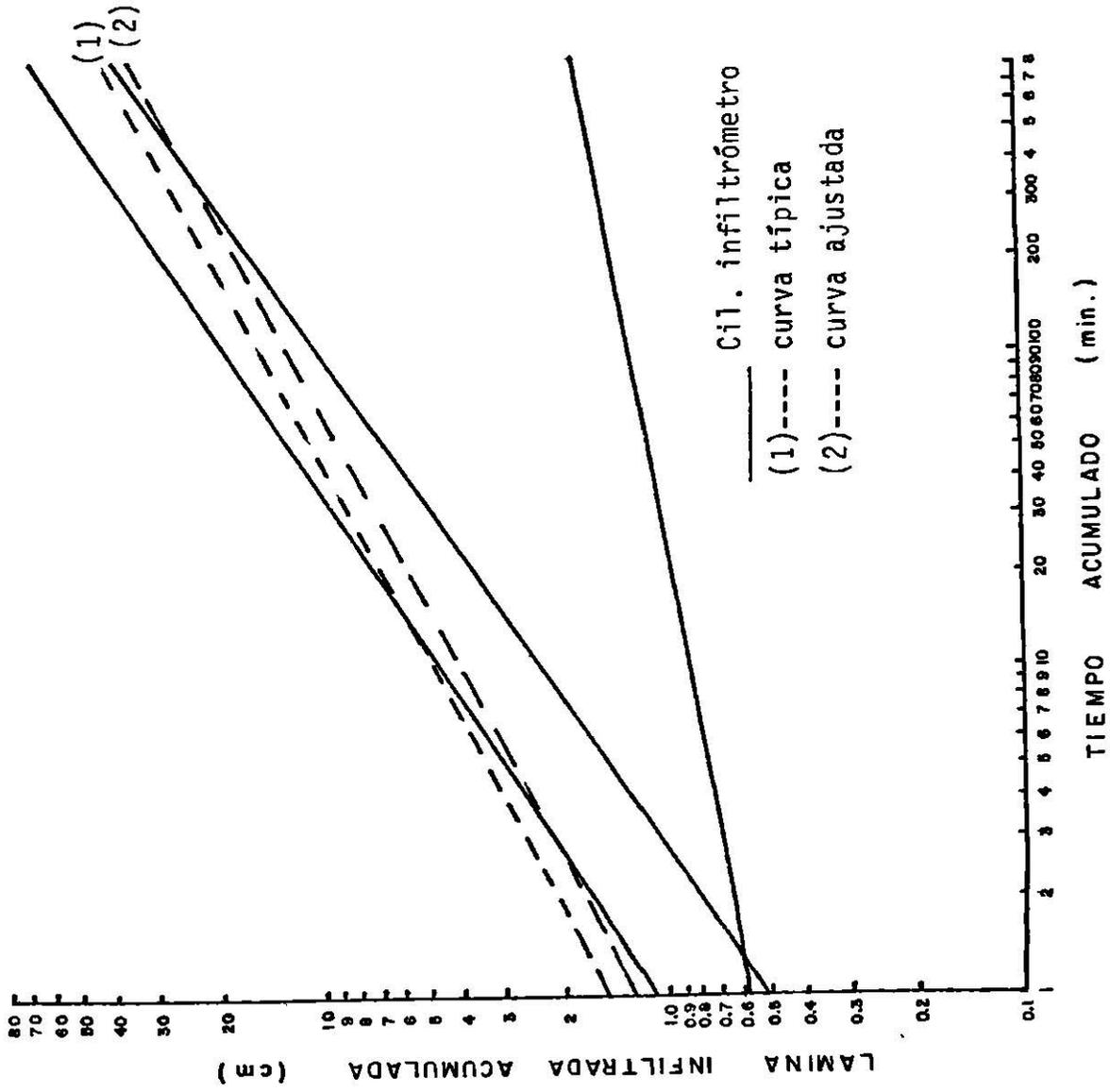
Las curvas de cada cilindro, gráficas en papel log-log, son líneas rectas; estas curvas generalmente son angulosas en los primeros minutos indicando el efecto de la infiltración inicial, esto se debe a la liberación repentina de aire atrapado por el agua o porque los cilindros infiltrómetros no fueron



Gráfica 1. Curvas de infiltración acumulada de los cilindros de la melga 1. Q= 24 Lps.



Gráfica 2. Curvas de infiltración acumulada de los cilindros de 1a melga 2. Q= 10 Lps.



Gráfica 3. Curvas de infiltración acumulada de los cilindros de la melga 3.  $Q=17$  Lps.

Cuadro II . Lámina infiltrada obtenida de la curva de los datos típicos de infiltración.

Melga 1 Q= 24 Lps

EM 1 *	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I (cm.)	2.0	1.8	1.8	1.8	1.86	1.9	1.82	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.92
I prom. (cm.)	1.9		1.8	1.8	1.83	1.88	1.86	1.81	1.75	1.7	1.7	1.7	1.75	1.86

Lámina promedio = 1.8 cm.

Melga 2 Q= 10 Lps

EM 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I (cm.)	10.4	10.3	10.1	10.0	10.3	10.0	10.0	9.80	10.6	10.6	7.5	6.7	6.6	5.7
I prom. (cm)	10.35		10.2	10.05	10.15	10.15	10.0	9.90	10.20	10.6	9.05	7.10	6.65	6.15

Lámina promedio = 9.3 cm.

Melga 3 Q= 17 Lps

EM 3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I (cm.)	18.5	18.7	19.8	19.3	19.1	18.7	18.5	17.7	21.3	16	12.1	9.6	7.5	3.6
I prom. (cm)	18.6		19.2	19.6	19.2	18.9	18.6	18.1	19.5	18.6	14.0	10.8	8.6	5.5

Lámina promedio = 16.1 cm.

\*EM= Estación (mts x 10)

Cuadro III. Lámina infiltrada ajustada obtenida de la curva de infiltración ajustada.

Melga 1 Q= 24 Lps														
EM 1 *	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I(cm.)	9.5	8.9	8.8	8.8	9.0	8.9	8.8	8.5	8.4	8.6	8.2	8.1	8.8	9.1
	9.2	8.8	8.8	8.9	9.0	8.8	8.6	8.4	8.5	8.4	8.1	8.4	9.0	
Iprom. 8.7 $\approx$ 8.6														
Melga 2 Q= 80 Lps														
EM 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I(cm.)	8.1	18.0	17.5	16.0	18.0	17.3	17.2	12.0	18.1	16.8	12.8	11.4	10.8	9.7
	18.0	17.8	16.8	17.0	17.7	17.3	17.1	17.6	17.5	14.8	12.1	11.1	10.3	
Iprom. 15.8 $\approx$ 16.1														
Melga 3 Q= 17 Lps														
EM 3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I(cm.)	16.0	16.1	17.0	16.6	16.3	16.0	15.8	15.3	18.0	13.6	10.4	8.6	6.5	3.2
	16.1	16.6	16.8	16.4	16.2	15.9	15.6	16.7	15.8	12	9.5	7.6	4.8	
Iprom. 13.9 = 13.9														
*EM= Estación (mts x 10)														

enterrados lo suficiente, también en los suelos que tienen --- grietas dentro de los cuales el agua desaparece rápidamente -- producen curvas angulosas los primeros minutos, después la curva toma una pendiente más representativa de la verdadera capacidad de infiltración del suelo; en estas pruebas no se presentó ningún caso de los mencionados anteriormente, por lo tanto todas las curvas son líneas rectas. Usando las pendientes de las líneas se agregó una curva más que presume ser típica para todas. Después se dibujó una línea ajustada; para trazar esta línea se calcula la lámina aplicada para el tiempo de riego. Así en un tiempo de aplicación de 50 min., con un gasto  $Q_1 = 24$  Lps se infiltró una lámina de 8.6 cm; con un gasto  $Q_2 = 10$  Lps con un tiempo de riego de 249 min se aplicó una lámina de 16 cm y en la melga en la que se aplicó un gasto  $Q_3 = 17$  Lps con 117 min de riego se infiltró una lámina de 14 cm.

Las diferencias en las láminas aplicadas se deben al tiempo de aplicación del gasto, al gasto aplicado y a las características de infiltración del suelo, ya que las dimensiones de las melgas son las mismas. Así para el gasto  $Q_1$  con un tiempo de aplicación de 50 minutos (3000 seg) se tiene:

$$\text{Volumen} = V = Qt = (0.024 \text{ m}^3/\text{seg})(3000 \text{ seg}) = 72 \text{ m}^3$$

$$\text{Area de la melga} = A = (140\text{m})(6\text{m}) = 840 \text{ m}^2$$

y la lámina media infiltrada ( $\bar{D}$ ) es

$$\bar{D} = \frac{V}{A} = \frac{72 \text{ m}^3}{840 \text{ m}^2} = 0.0857 \text{ m} = 8,6 \text{ cm.}$$

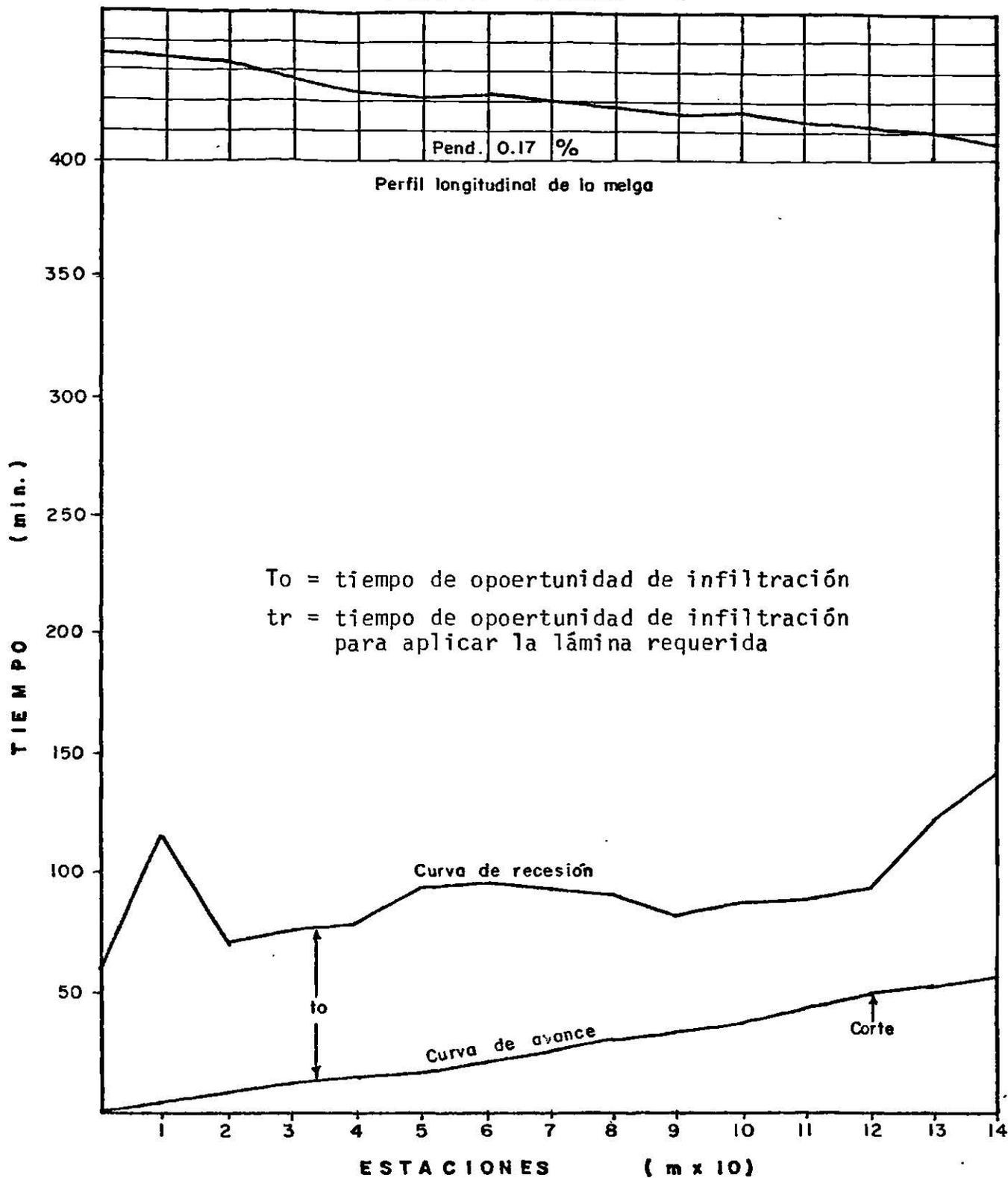
Las láminas medias infiltradas para los gastos  $Q_2$  y  $Q_3$  se

calcularon de una forma similar.

La línea ajustada se traza paralela a la típica a través de la lámina aplicada, donde la lámina promedio aplicada - cruza la línea típica; por ejemplo en la melga del  $Q_1$  se encontró una lámina promedio de 1.8 cm en 60 min (Gráfica #1), entonces sobre los 60 minutos se localiza la lámina de 8.6 cm, ya - localizado este punto sobre él se gráfica la línea ajustada pa - ralela a la típica; del mismo modo se trazaron las líneas ajus - tadas de los gastos  $Q_2$  y  $Q_3$ , Gráfica 2 y 3.

Las láminas infiltradas ajustadas se encuentran grafica-- das en las Gráficas 7, 8 y 9, en la gráfica 7 se observa -- que hay un promedio de 8.6 cm de agua almacenada en la zona de raíces, lo cual indica que faltó una lámina promedio de 7.4 cm para satisfacer el SMD requerido de 16 cm. En la melga con el  $Q_2$  el SMD se satisfizo en más de 2/3 de la longitud de la mel - ga, como se puede ser en la Gráfica 8, también se observan pér didas por percolación profunda, puntos de la gráfica que se en cuentran sobre el SMD marcado con línea entrecortada, en poco - más de 2/3 de la longitud de la melga y deficiencia de riego, - puntos de la gráfica que se encuentran bajo el SMD marcado, en la longitud restante, en la parte más baja de la melga. En la melga con el  $Q_3$  el SMD se satisfizo en casi 2/3 de la longitud de la melga, hubo poca pérdida por percolación profunda y en - el tercio inferior no se cubrió el SMD (Gráfica #9). Los por - centajes de percolación profunda y deficiencia de riego se en - cuentran en el Cuadro V.

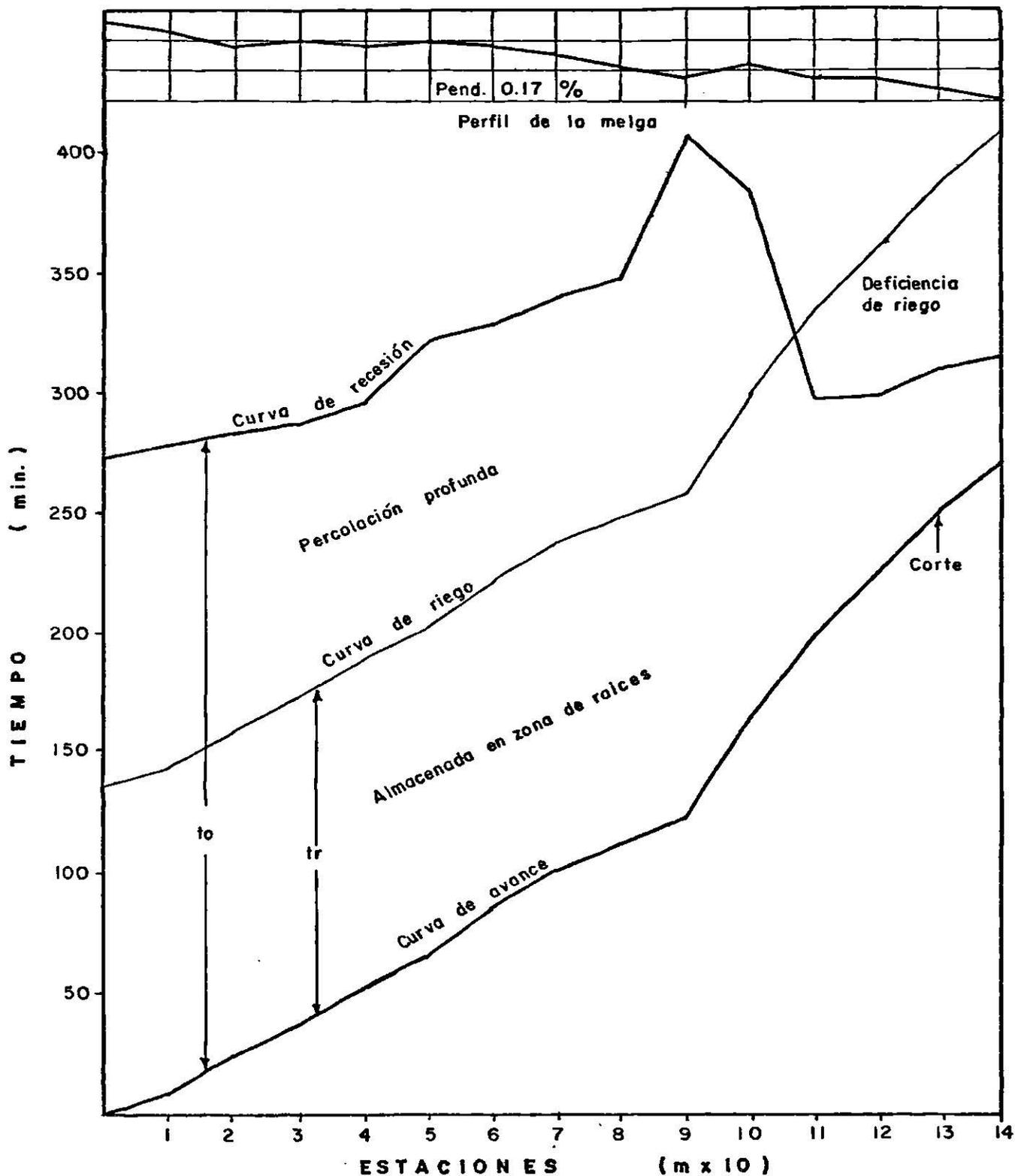
## PERFIL MELGA I



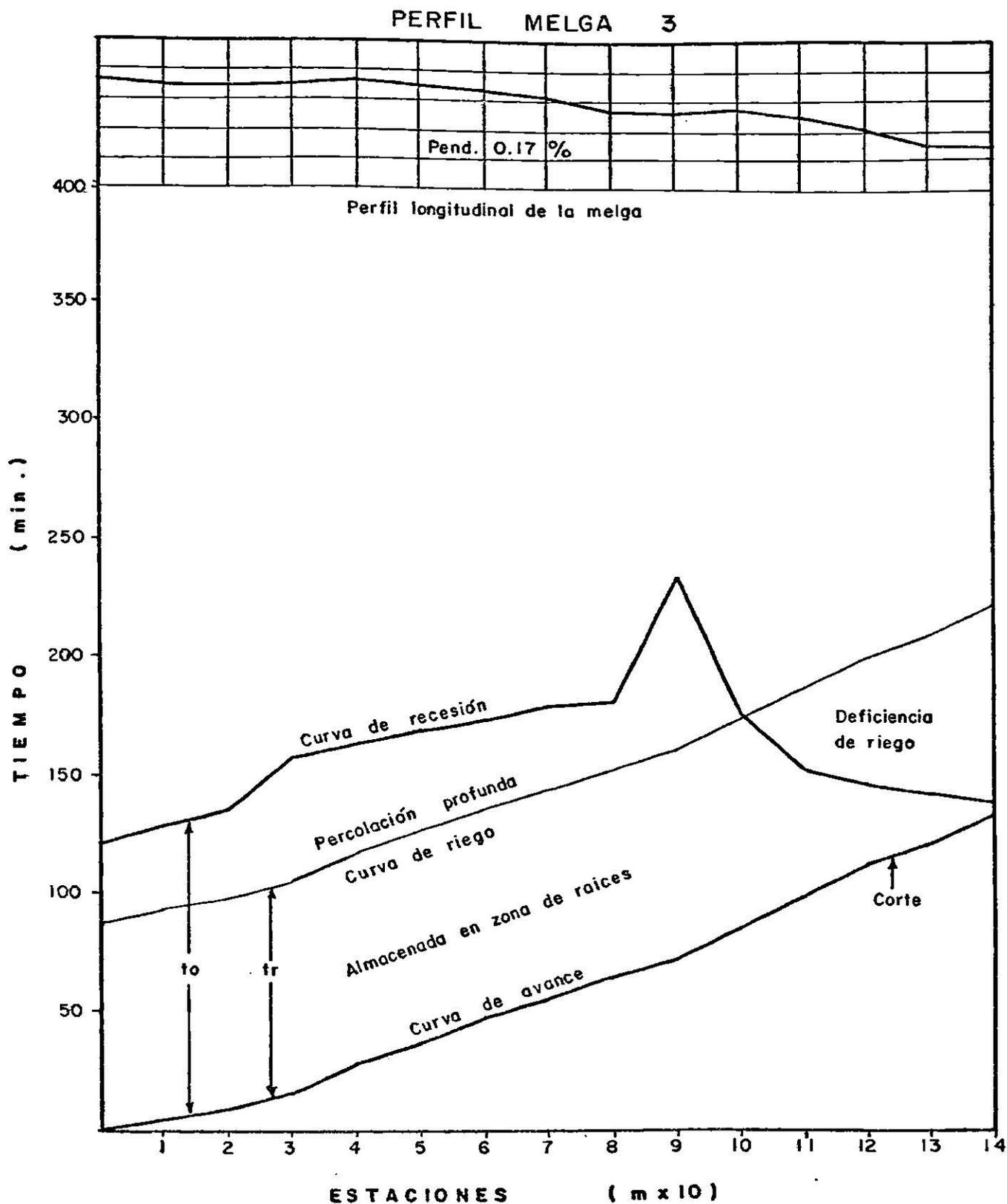
Gráfica 4. Perfil de la superficie del suelo más curvas de avance y recesión para la melga 1.  $Q = 24$  Lps.

## PERFIL MELGA 2

1:250



Gráfica 5. Perfil de la superficie del suelo más curvas de avance, recesión y riego para la melga 2.  $Q = 10$  Lps.



Gráfica 6. Perfil de la superficie del suelo más curvas de avance, recesión y riego para la melga 3.  $Q = 17$  Lps.

Cuadro IV. Tiempos de oportunidad, para cada una de las estaciones de las melgas, a partir de las curvas de avance y recesión.

Melga # 1 Q= 24 Lps

E*	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
to* (min)	60	111	63	65	65	77	73	68	61	48	50	46	45	70	85

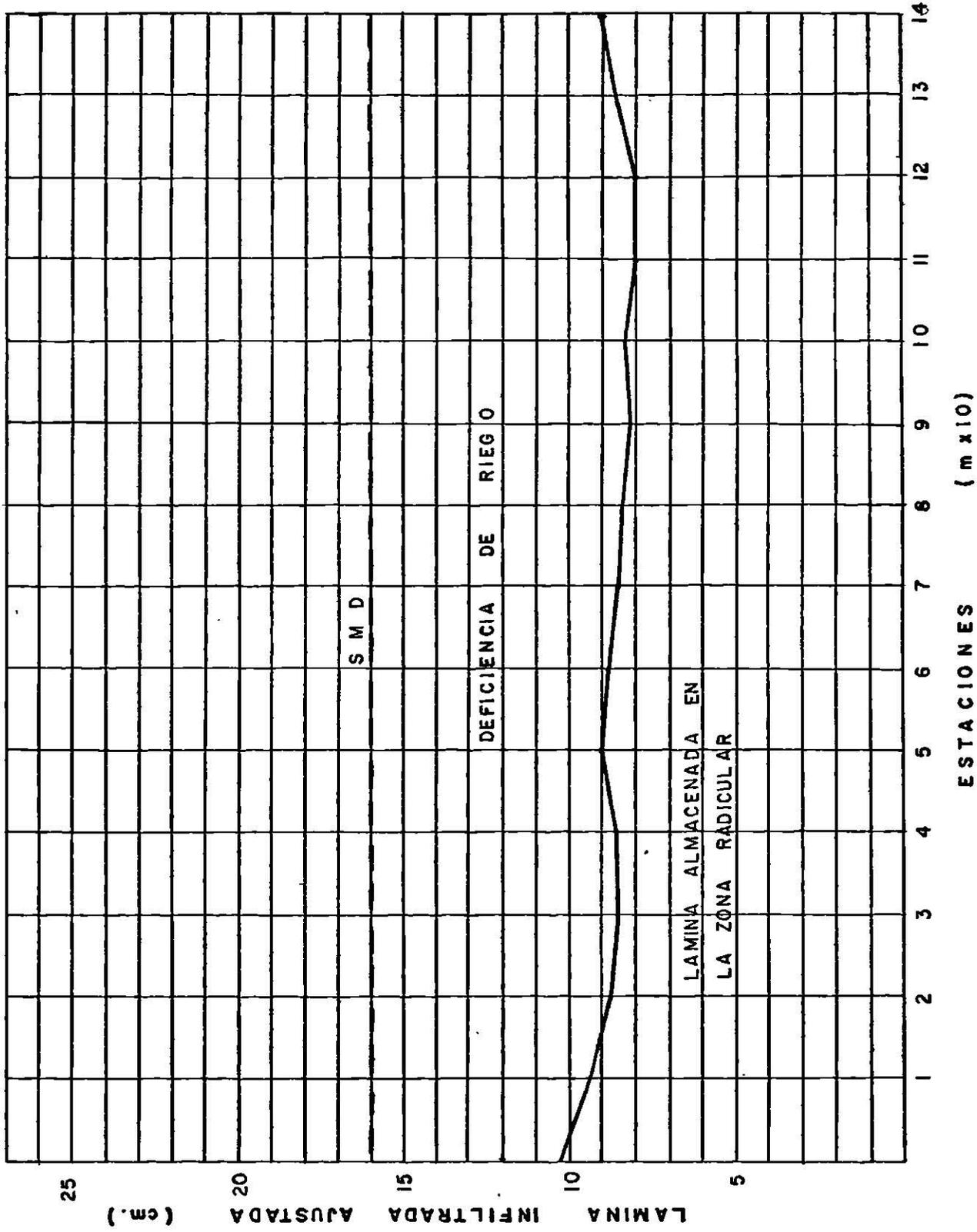
Melga # 2 Q= 10 Lps

E	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
to (min)	272	270	260	250	242	253	242	239	233	282	220	100	73	59	42

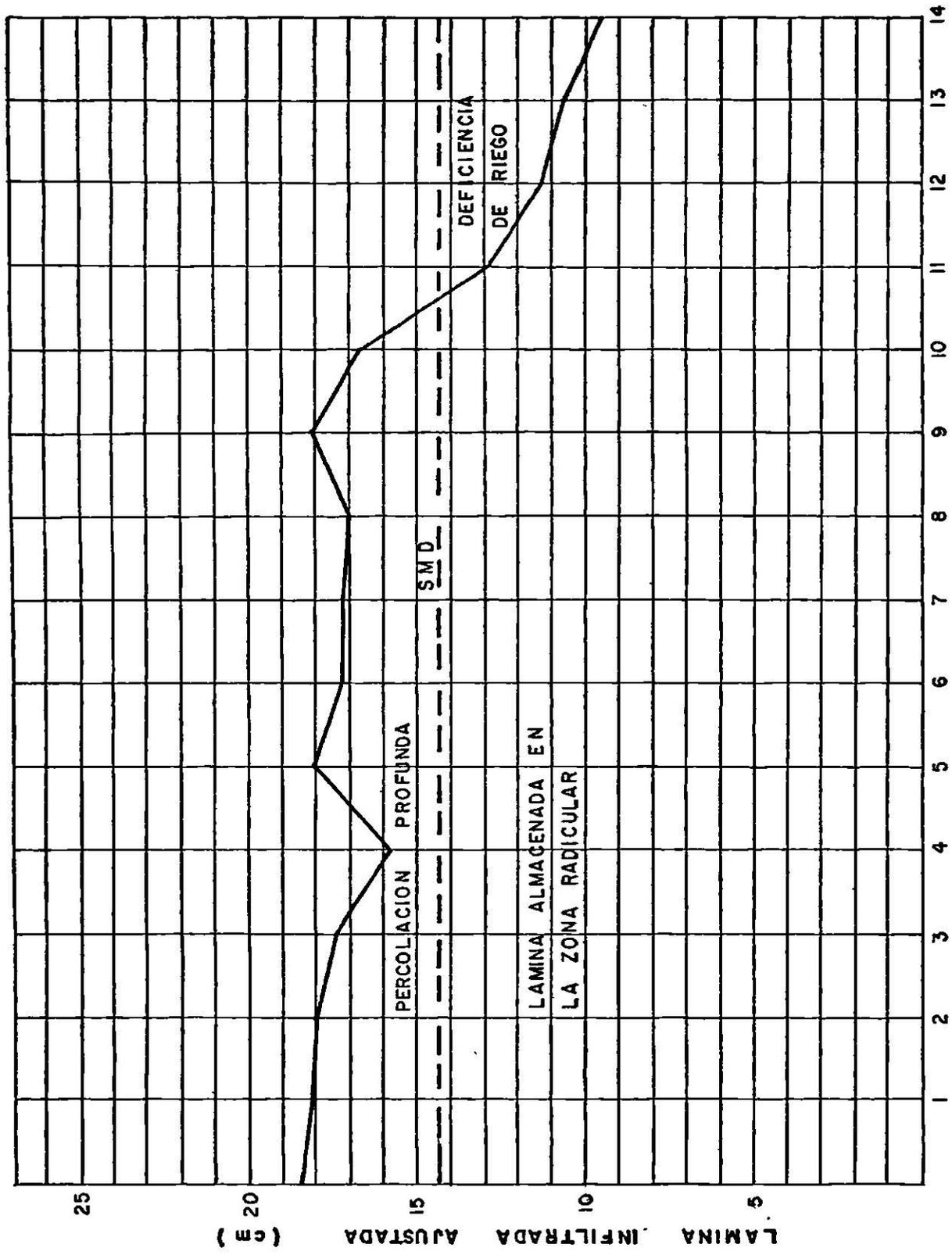
Melga # 3 Q= 17 Lps

E	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
to (min)	121	122	123	141	133	131	123	122	113	160	91	53	32	21	4

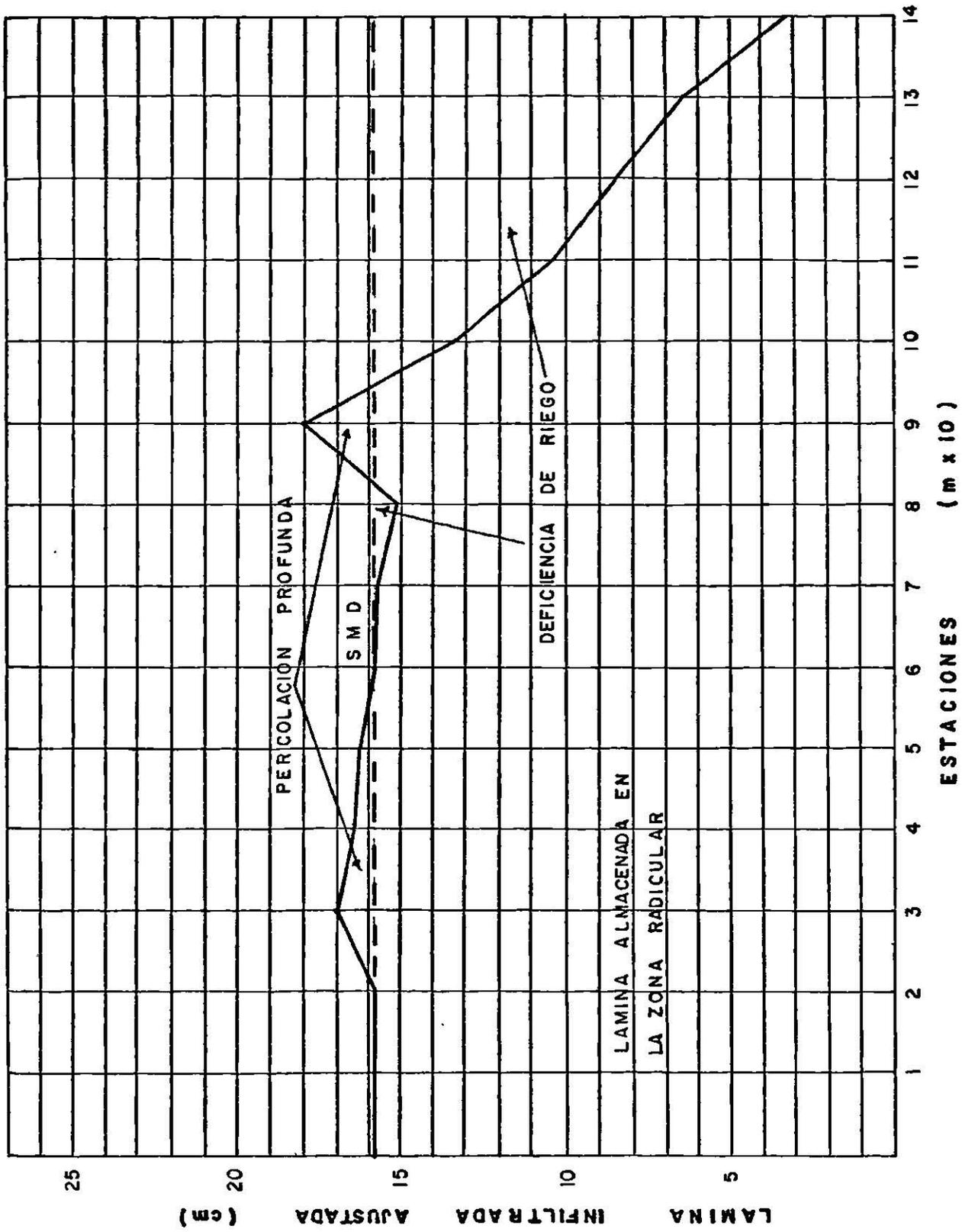
E = Estación (mts x 10)  
to = tiempo de oportunidad de infiltración



Gráfica 7. Lámina infiltrada ajustada a lo largo de la melga I. Q= 24 Lps



Gráfica 8. Lámina infiltrada ajustada a 10 largo de la melga  $2.0 = 10$  Lps



Gráfica 9. Lámina infiltrada ajustada a 10 largo de la melga 3.  $Q = 17$  Lps

Los resultados de avance y recesión se encuentran en los Cuadros 6, 7 y 8, donde se observan los tiempos de avance y recesión en cada estación por melga, y en las gráficas 4, 5 y 6 se observan las curvas de avance, recesión y riego; también se observan los tiempos de oportunidad en cualquier punto de la longitud de cada melga, así como las zonas de percolación profunda y deficiencia de riego.

Al comparar las Gráficas 5 y 8, se puede observar un comportamiento similar en las zonas de percolación profunda, agua almacenada en la zona radicular y deficiencia de riego; en las dos gráficas se observa la zona de percolación profunda hasta antes de la estación once y deficiencia de riego en el último tercio de la longitud de la melga, así como se observan picos en las estaciones cinco y nueve.

Al comparar las Gráficas 6 y 9, también se observan comportamientos similares en las curvas, en las gráficas se observan aproximadamente las mismas zonas de percolación profunda, de agua almacenada en la zona de raíces y de deficiencia de riego, en las dos gráficas se observan picos a la altura de la estación tres y nueve. Al comparar las Gráficas 4 y 7 se puede decir que en las dos hubo deficiencia de riego, en la Gráfica 7 se observa a simple vista, y en la Gráfica 4 se deduce debido a que la curva de riego no pudo ser graficada, por razones especificadas posteriormente.

Las curvas de avance y recesión de cada melga de prueba se trazaron graficando la distancia de cada estación, con res-

pecto a la cabecera de la melga, contra el tiempo en que el -- frente de agua llegó al final de la melga y el tiempo en que - el agua desapareció de la superficie del suelo.

Al comparar las curvas de avance, Gráfica 13, se puede notar que en el  $Q_2$  la pendiente de la curva es mayor que los gastos  $Q_1$  y  $Q_3$ , y a su vez que la pendiente de la curva del  $Q_3$  es menor que la del  $Q_2$  pero mayor que la pendiente del  $Q_1$ ; y que la pendiente del  $Q_1$  es la menor de todas. Esto se debe a que el  $Q_1$  tardó un tiempo menor en recorrer la longitud de la melga, que el tiempo que tardaron el  $Q_2$  y  $Q_3$  en recorrer la misma distancia.

El tiempo de oportunidad ( $t_o$ ) del agua para infiltrarse - en cualquier punto de la longitud de la melga se determina midiendo la distancia del tiempo entre las curvas de avance y recesión.

Las gráficas de avance muestran una tendencia general más o menos definida, pero se parecían cambios en las pendientes - de las curvas, esto nos indica:

- a) Que hubo variaciones apreciables en los gastos, entre mayor sea el gasto la pendiente de la curva es menor, como se puede ver en la Gráfica 13.
- b) Que hubo variaciones en las características de infiltración del suelo, esto se puede observar en las gráficas 1, 2 y 3, y en los parámetros de infiltración  $K$  y  $n$ , de cada melga.

Las curvas de recesión muestran las condiciones de la nivelación en la superficie del suelo; en la curva de recesión -

de la Gráfica 4 se muestra un pico a la altura de la estación uno, esto nos indica que probablemente hubo una depresión en esta parte de la melga, la cual no fue detectada al trazar el perfil del suelo por error o inexperiencia del estadalero; a la altura de la estación cinco se aprecia una ligera depresión en el perfil y se nota un aumento en el tiempo de oportunidad con respecto a las estaciones dos, tres y cuatro, esto es causado por el encharcamiento de agua en la depresión, de tal modo que al encharcarse el agua ésta se acumula y por lo tanto el tiempo de oportunidad es mayor. En la Gráfica 5 se observa una gran depresión en el perfil de la melga a la altura de la estación nueve, en este punto la curva de recesión muestra un pico, indicando que hubo un encharcamiento. En la Gráfica 6 se observa un pico en la curva de recesión, también a la altura de la novena estación, y en el perfil de la melga se observa una depresión a esa altura, por lo tanto el pico de la curva nos indica una mala nivelación en ese punto.

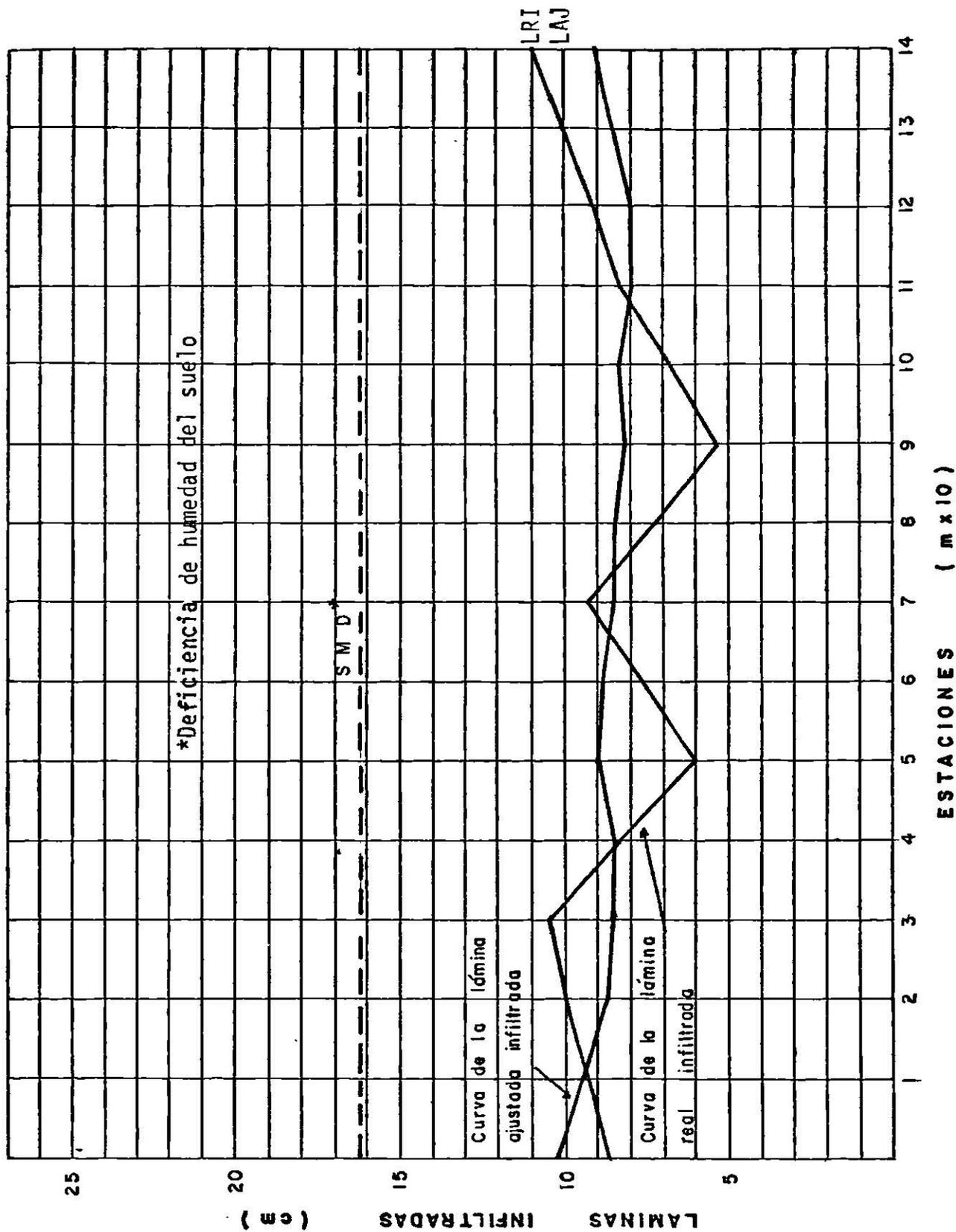
En la melga que se utilizó el  $Q_1$  se encontró un SMD de 16 cm, en la melga del  $Q_2$  el SMD fue de 14.4 cm y en la melga del  $Q_3$  el SMD encontrado fue de 15.9 cm. El SMD afecta las curvas de infiltración; entre más grande es la deficiencia de humedad del suelo, la velocidad de infiltración del suelo es mayor, Merriam y Keller (16). El SMD al cual se riega debe ser la deficiencia de humedad permitida para el cultivo, Merriam y Keller (16). En estas pruebas se consideró un SMD de 16 cm.

Las curvas de riego, localizadas en las Gráficas 5 y 6 in-

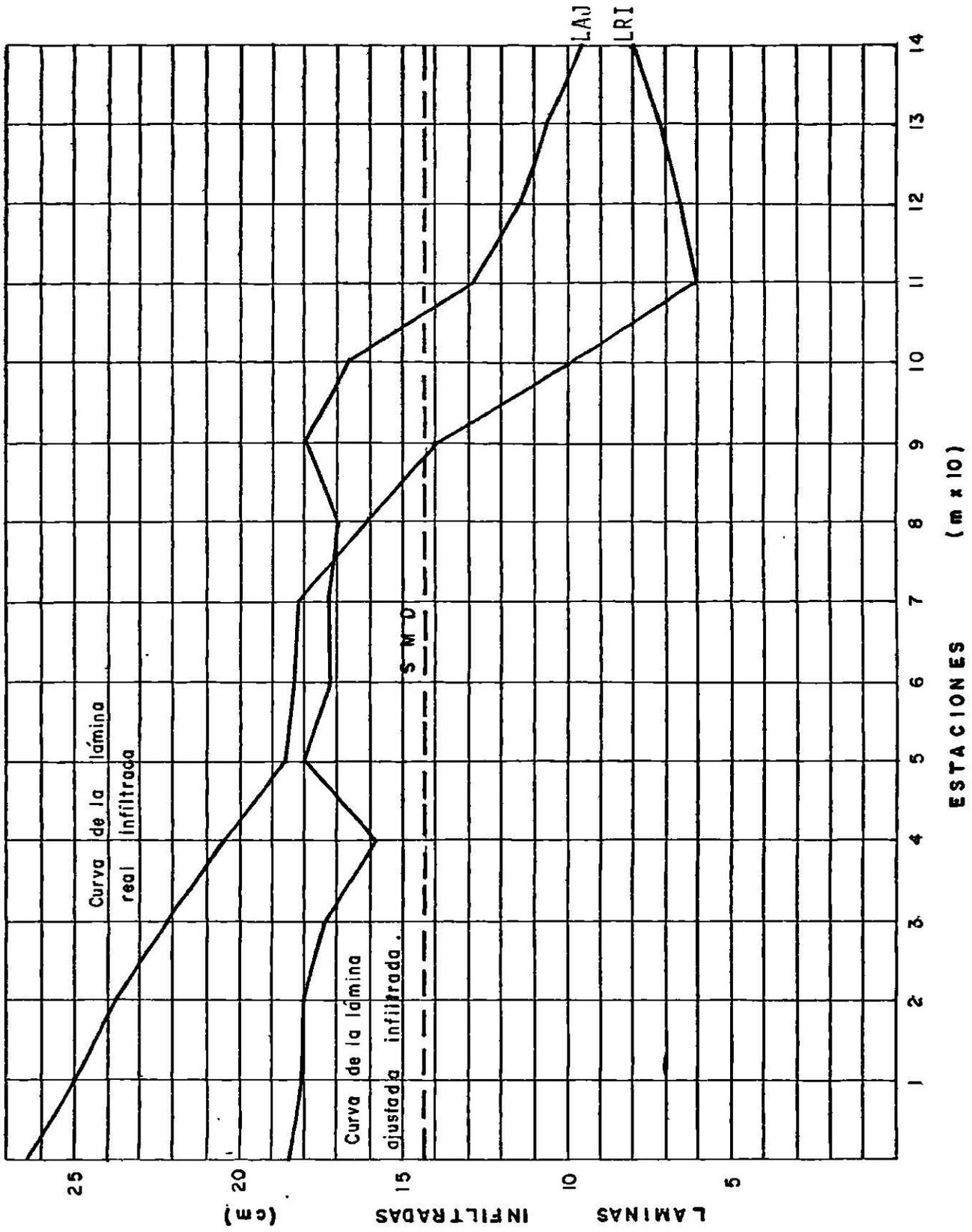
dican que las características de infiltración del suelo son -- distintas. Debido a las diferencias en las funciones de infil- tración de las melgas, las curvas de riego se encuentran a -- tiempos diferentes de la curva de avance; en la Gráfica 5 se en- cuentra a 139 minutos y en la Gráfica 6 se encuentra a 90 minu- tos. En el caso de la Gráfica 4 la curva de riego no se locali- za en la gráfica, ya que las pendientes de las curvas típica y ajustada fueron muy bajas, por lo que para infiltrar una lám- ina de 16 cm se encontró un tiempo de oportunidad de mas de --- 1000 minutos, el cual esta fuera de la escala; esto nos indica que hubo deficiencia en el riego.

Al compararse las láminas infiltradas ajustadas y las lá- minas encontradas a partir del muestreo de humedad, llamada - lámina real, Gráficas 10, 11 y 12, se puede observar que las lá- minas infiltradas ajustadas y las láminas a partir del mues- --- treo de humedad del suelo no son iguales; estas diferencias -- pueden ser debido a errores al determinar la densidad aparente del suelo o a errores en el muestreo.

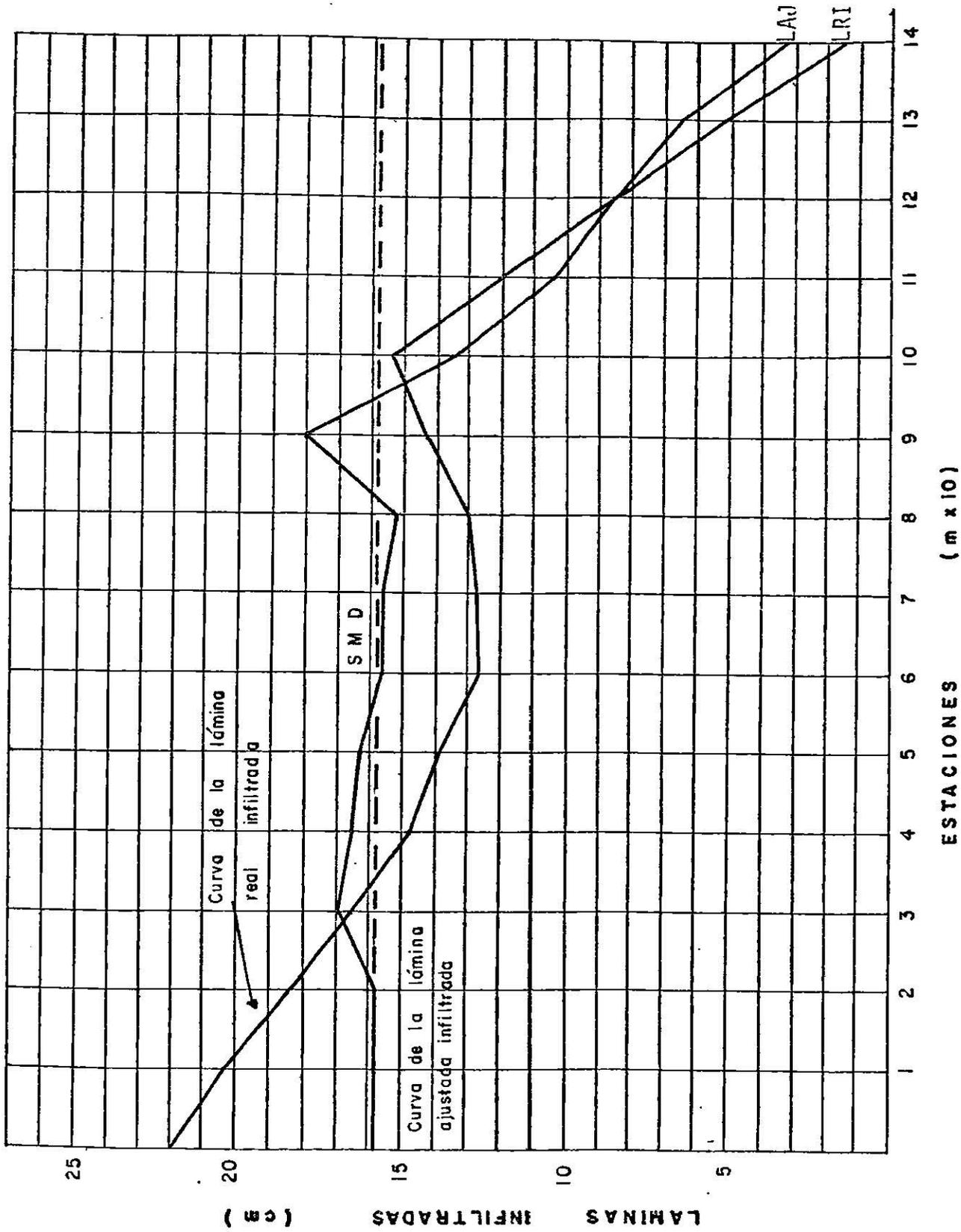
La uniformidad de distribución (DU) en la melga donde se- utilizó el  $Q_1$  fue muy alta, 100%, este alto porcentaje se debe a que no hubo pérdidas por percolación profunda, ni pérdidas - por escurrimiento. En la melga donde se utilizó el  $Q_2$  la uni- formidad de distribución fue de 60.39%, este porcentaje se ob- tuvo debido a que en esta melga las pérdidas por percolación - profunda fueron de 14.51%, sin haber pérdidas por escurrimien- to. En el caso de la tercera melga, con gasto  $Q_3$ , la uniformi- dad de distribución fue de 24%, este porcentaje se debe a que-



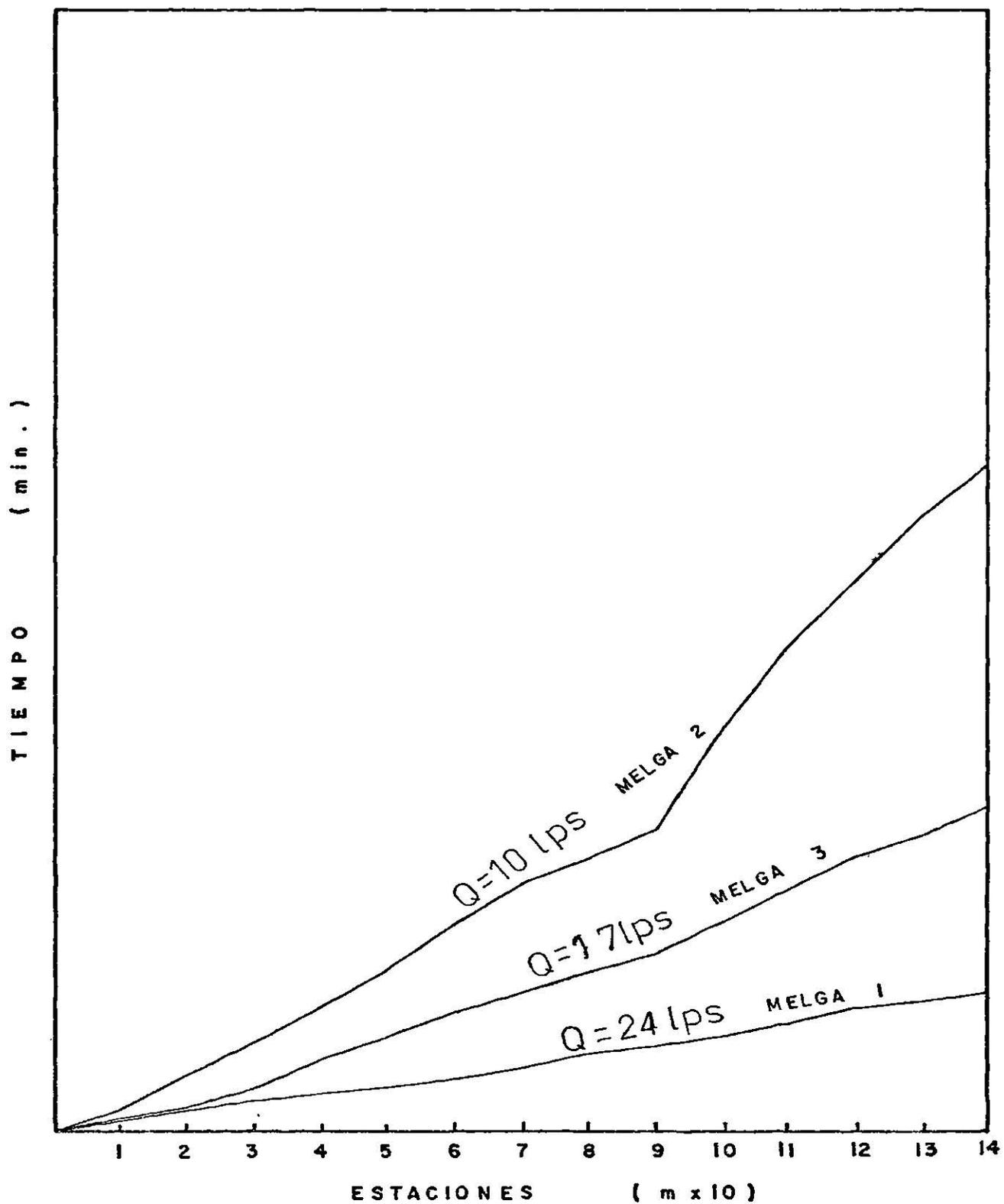
Gráfica 10. Láminas infiltradas, ajustada y real de la melga 1.  $Q = 24$  Lps



Gráfica 11. Láminas infiltradas, ajustada y real de la melga 2. 10 Lps



Gráfica 12. Láminas infiltradas, ajustada y real de la melga 3.  $Q = 17$  Lps



Gráfica 13. Curvas de avance para cada gasto.

la lámina mínima infiltrada (3.2 cm) está muy por debajo de la lámina promedio infiltrada (14 cm). Se debe aclarar que la uniformidad de distribución no dice si el riego es adecuado, Merriam y Keller (16).

La eficiencia de aplicación potencial del bajo absoluto (PELA) fué del 100% en la melga del  $Q_1$  porque la lámina mínima infiltrada fue aproximadamente igual a la lámina promedio infiltrada. En la melga que se utilizó el  $Q_2$  se encontró un PELA de 60.39%, este porcentaje se debe a que la lámina mínima infiltrada (9.8 cm) fue menor que la lámina promedio infiltrada (16 cm). En la melga que se regó con el  $Q_3$  la PELA fué de 24%, porque la lámina infiltrada mínima, 3.2 cm estuvo muy por debajo de la lámina promedio infiltrada, 14 cm.

La eficiencia de aplicación potencial del cuarto más bajo (PELQ) fué de 95.34%, donde fue utilizado el  $Q_1$ , esta eficiencia se debe a que la lámina promedio de la cuarta parte más baja de la longitud de la melga es de 8.2 cm y la lámina promedio aplicada fué de 8.6 cm. En la melga que se usó el  $Q_2$  tiene una PELQ de 70.51% porque la lámina promedio del cuarto mas bajo es de 11.3 cm, mientras que la lámina promedio de la longitud total de la melga es de 16 cm. La PELQ en la melga que se utilizó el  $Q_3$  es de 61.94%, esta eficiencia es debida a que la lámina infiltrada promedio de la melga es de 14 cm y la lámina promedio del cuarto más bajo es de 8 cm.

Los porcentajes obtenidos, en forma general, de PELA y PELQ nos indican que el sistema puede ser operado satisfacto--

riamente bajo las condiciones probadas.

En la melga donde se utilizó el  $Q_1$  y la AELA fué de 100%, este alto porcentaje se debe a que no hubo pérdidas por percolación profunda ni por escurrimiento; aún con esta eficiencia el riego no fué bueno porque si no se perdió agua por escurrimiento o percolación profunda, tampoco se alcanzó a satisfacer la deficiencia de agua, como se puede ver en la Gráfica 7. La eficiencia de aplicación actual en el  $Q_2$ , es de 85.09%, debido a que hubo pérdidas por percolación profunda, estas pérdidas fueron de 14.51%. En la melga que se usó el  $Q_3$ , la eficiencia de aplicación actual es de 96.19%, esta alta eficiencia se debe a que hubo pocas pérdidas por percolación profunda, 3.54%, la deficiencia de humedad fue satisfecha en casi  $2/3$  de la longitud total de la melga.

La determinación de las eficiencias, la uniformidad de -- distribución actual y pociento de percolación se encuentran en el Cuadro V.

Guadro V. Determinación, gráfica y evaluación de los parámetros DUa, PELA, AELA, LQ, LA, PELQ y % de percolación profunda a partir de las gráficas 7, 8 y 9.

\*U<sup>2</sup>= Cuadros utilizados en la determinación gráfica de los parámetros (figs. 7,8 y 9)

AREA	Me1ga #1	Me1ga # 2	Me1ga # 3
Bajo la curva	40.30 u <sup>2</sup> *	74.175 u <sup>2</sup>	64.15 u <sup>2</sup>
Escurrimiento	0.00 u <sup>2</sup>	0.00 u <sup>2</sup>	0.00 u <sup>2</sup>
Percolación profunda	0.00 u <sup>2</sup>	10.765 u <sup>2</sup>	2.275u <sup>2</sup>
Almacenada en 100 cm.	40.30 u <sup>2</sup>	63.12 u <sup>2</sup>	61.71 u <sup>2</sup>
Entre LA y estación 14	40.30 u <sup>2</sup>	44.80 u <sup>2</sup>	15.40 u <sup>2</sup>
LQ	8.20 cm	11.00 cm	8.30 cm
LA	8.00 cm	9.50 cm	3.40 cm
DUa	100 %	60.39 %	24 %
PELA	100 %	60.39 %	24 %
AELA	100 %	85.09 %	96.19 %
PELQ	95.34 %	70.51 %	61.94 %
% Percolación	0.00 %	14.51 %	3.54 %

Cuadro VI. Datos de avance y recesión para el gasto de 24 LPS.

AVANCE

Hora	Tiempo-minutos		Estación metros
	Dif	Acum	
16:04		0	0 * 10
09	5	5	1
13	4	9	2
16	3	12	3
19	3	15	4
22	3	18	5
26	4	22	6
30	4	26	7
35	5	31	8
39	4	35	9
43	4	39	10
48	5	44	11
54	6	50	12
58	4	54	13
17:02	4	58	14

Melga 1

RECESION

corte

Hora	Tiempo-minutos		Estación metros
	Dif	Acum	
16:04		0	0 * 10
16:54	50	50	0
17:04	10	60	0 * 10
18:00	56	116	1
17:16	-44	72	2
21	5	77	3
24	3	80	4
39	15	95	5
41	2	97	6
38	-3	94	7
36	-2	92	8
45	-9	83	9
51	6	89	10
52	1	90	11
57	5	95	12
18:26	29	124	13
18:45	19	143	14

Cuadro VII. Datos de avance y recesión para el gasto de 10 LPS.

AVANCE				RECESION			
Tiempo-minutos		Tiempo-minutos		Tiempo-minutos		Estación metros	
Hora	Dif	Acum	Hora	Dif	Acum	Hora	Estación metros
9:06		0	9:06		0		0
16	10	10	13:15	249	249		0
29	13	26	40	25	274		0 * 10
42	13	39	46	06	280		1
57	15	54	51	05	285		2
10:10	13	67	55	04	289		3
30	20	87	14:04	09	298		4
45	15	102	30	26	324		5
55	10	112	36	06	330		6
11:06	11	123	48	12	342		7
49	43	166	54	06	348		8
12:23	34	200	15:54	60	408		9
50	27	227	31	-23	385		10
13:15	25	252	14:05	-87	298		11
36	21	273	07	02	300		12
			18	11	311		13
			23	05	316		14

Melga 2

Corte

Cuadro VIII. Datos de avance y recesión para el gasto de 17 LPS.

## AVANCE

Tiempo-minutos			Estación metros
Hora	Dif	Acum	
10:50		0	0 * 10
55	5	5	1
59	4	9	2
11:06	7	16	3
.19	13	29	4
27	8	37	5
38	11	48	6
46	8	56	7
55	9	65	8
12:02	7	72	9
16	14	86	10
29	13	99	11
42	13	112	12
51	9	121	13
13:04	13	134	14

## Me1ga 3

## RECESION

Tiempo-minutos			Estación metros
Hora	Dif	Acum	
10:50		0	0 * 10
12:47	110	110	0
12:58	11	121	0 * 10
13:06	8	129	1
12	6	135	2
34	22	157	3
40	6	163	4
46	6	169	5
50	4	173	6
56	6	179	7
59	3	182	8
14:50	51	233	9
13:54	-56	177	10
30	-25	152	11
24	-6	146	12
20	-4	142	13
17	-3	139	14

Corte

## 6. CONCLUSIONES

1. La tasa de infiltración varió espacialmente tanto dentro de cada melga como entre las melgas y fué muy distinta a la tasa de infiltración de antes del movimiento de tierras.
2. Al realizar el movimiento de tierras se alteró el perfil -- original del suelo, quedando expuestos horizontalmente compactos en las zonas de corte y material inestable en la zona de relleno, por lo que la variación de la tasa de infiltración es explicable.
3. El método de evaluación del riego por melgas no se ajusta -- correctamente a la situación anterior, pero proporcionó información muy útil para observar y analizar las características de infiltración de ese suelo.
4. Entre más profundo se encuentra un horizonte del suelo es -- de esperarse mayor compacidad debido a la columna de suelo -- que soporta sobre él; además el material lixiviado por el -- agua contribuye a este fenómeno por lo que entre mayor sea -- el corte menor será la tasa de infiltración.
5. Las láminas netas aplicadas y las láminas ajustadas son dis -- tintas; las primeras tienen mayor desviación que las ajusta -- das, indicando que las láminas aplicadas fueron menos uni -- formes; siendo las desviaciones estandar de 1.69, 6.64 y -- 4.93 para las láminas netas aplicadas y de 0.39, 3.05 y --- 4.43 para las láminas ajustadas, en las melgas 1,2 y 3 res -- pectivamente.

6. Las zonas de percolación profunda, agua almacenada en la zona de raíces y de deficiencia de riego son aproximadamente las mismas en las curvas de avance y recesión y en las curvas de infiltración ajustadas.

## 7. RECOMENDACIONES

1. Antes de incorporar a la explotación intensiva un suelo en el cual se practicó una nivelación; se debe reacondicionar mediante la incorporación de materia orgánica y/o siembra de leguminosas; para mejorar sus características físicas y químicas.
2. Se recomienda usar gastos pequeños al regar en áreas de corte debido a que al exponerse capas compactas del perfil del suelo la velocidad de infiltración baja significativamente; por lo que es necesario dar un mayor tiempo de oportunidad de infiltración, bajando el gasto para una misma longitud y ancho de melga.
3. Al evaluar un riego hacerlo en campos cultivados para observar el efecto del cultivo en las características hidráulicas de las melgas.

## 8. RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la U.A.N.L.; los objetivos trazados fueron analizar el efecto de la nivelación de tierras en la infiltración de los suelos y estudiar el efecto de la nivelación de tierras con relación al diseño y evaluación del método de riego por melgas.

El trabajo se inició con un paso de rastra para romper terrones y eliminar algunas malas hierbas; posteriormente se procedió a hacer un paso con niveladora, después se cuadrículó el terreno a cada 20 m y se tomaron lecturas de nivel para el cálculo de cotas y la obtención del plano de curvas a nivel.

A las melgas se les dió una pendiente longitudinal de -- 0.17%, quedando de 0.45% la pendiente transversal por lo que se hizo un paso de cultivadora a lo largo de las melgas para formar corrugaciones y evitar que el agua hiciera canalizaciones. En un bordo adyacente a cada melga se marcaron las estaciones a cada 10 m con estacas de madera.

Se hicieron pruebas de infiltración en cada melga, colocándose un juego de cilindros infiltrómetros al centro de cada tercio de la longitud de la melga; se trazaron perfiles longitudinales de cada melga, para observar en detalle el perfil.

Antes y después del riego se realizaron muestreos de humedad del suelo hasta 1 m de profundidad.

A la entrada de cada melga se colocaron dispositivos de aforo (sifones), con el fin de conocer los gastos aplicados.

En la parte superior de cada melga se hicieron tres cajetes de aproximadamente 2 m de ancho por 1 m de largo, estos cajetes se nivelaron para uniformizar la entrada de agua a la melga y se cubrieron con hule para disminuir el efecto erosivo de la descarga de los sifones.

Al momento de regar se anotó la hora en que se inició el riego y se tomó el tiempo en que el frente de agua avanzaba aproximadamente un 80% de una estación a otra, para medir la recesión se tomó el tiempo cuando aproximadamente un 80% del agua que cubría la superficie de cada estación desaparecía.

Se concluyó que la tasa de infiltración varió tanto dentro de cada melga como entre las melgas y que al realizarse el movimiento de tierras se alteró el perfil original del suelo.

Se recomendó rehabilitar el suelo antes de utilizarlo en explotación intensiva así como utilizar gastos pequeños para regar en las áreas de corte y hacer las evaluaciones en campos cultivados preferentemente.

## 9. BIBLIOGRAFIA

1. Clemmens, A.J., 1982. Evaluating infiltration for border -- irrigation models. Agricultural water management. 5:159-170.
2. Clemmens, A.J. 1981. Evaluation of infiltration measurements for border irrigation. Agricultural water management, 3:251-267.
3. Clemmens, A.J. 1986. Border irrigation uniformity: Combined effects of infiltration. Transactions of the ASAE, 29(5): 1314-1319.
4. Custodio, E. y M.R. Llamas, 1976. Hidrología subterránea. 1a. edición. Ediciones Omega, S.A.Barcelon. p. 342.
5. De la Peña, I. 1978. Planeación y diseño de riego. Memorandum Técnico #381. S.A.R.H., 106 p.
6. Garza Ruiz, J.E. y J.M. Araujo, 1984. Estudio agrológico de tallado del campo experimental de la F.A.U.A.N.L. Marín, - N.L. Facultad de Agronomía U.A.N.L. Tesis no publicada.
7. Grassi, C. 1973. Métodos de riego. CIDIAT. Venezuela. pp. 51, 53, 56, 57.

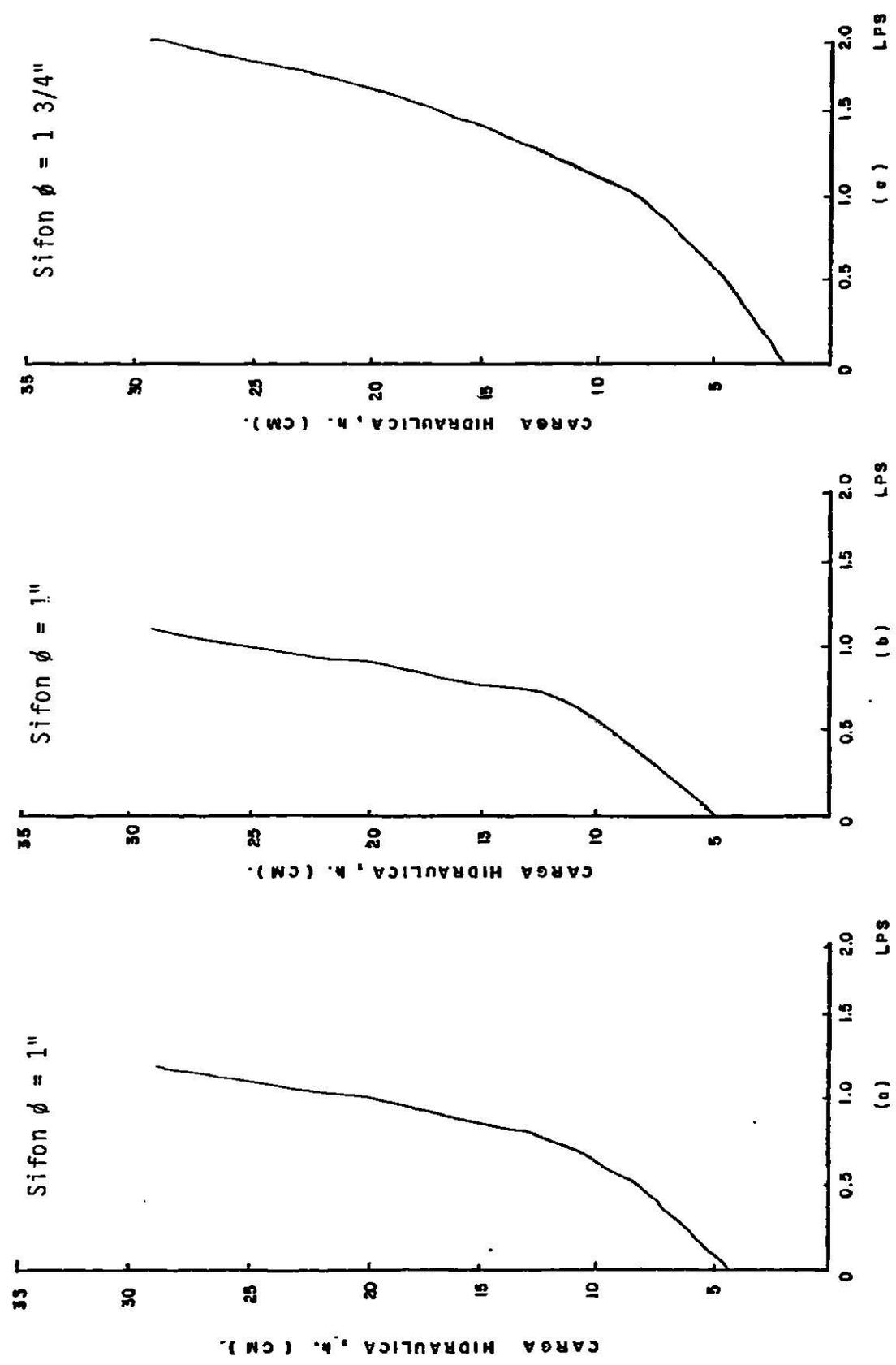
8. Gurovich, L.A. 1985. Fundamentos y diseño de sistemas de riego. 1a. edición. IICA, San José, Costa Rica. pp. 143-168.
9. Hidalgo Granados A. 1971. Métodos modernos de riego de superficie. 1a. edición. Aguilar, S.A. Madrid, España. pp.-210-228.
10. Israelsen, O.W. y V.E. Hansen, 1981. Principios y aplicaciones del riego. 2a. edición. Reverté. España 396 p.
11. Izuno, F.T., W. Clyma y T.H. Podmore, 1982. Border ditch irrigation in Colorado. Transactions of the ASAE. pp.1612-1616.
12. Jaynes, D.B. y A.J. Clemmens, 1986. Accounting for spatially variable infiltration in border irrigation models. Water resources research. 22(8):1257-1262.
13. Luque, J.A. y J. Dario, 1974. Manual de operación de riego. 2a. edición. Punta Alta, Argentina. pp. 241-252.
14. Marr, C.J. Preparación de tierras para el riego de superficie. Consejo de bienestar rural. Caracas, Venezuela. pp. 143-144.
15. Martínez, E.R. 1986. Metodología para diseño de riego en --

surcos con reducción de gasto. Colegio de Postgraduados. Chapingo. Tesis no publicada.

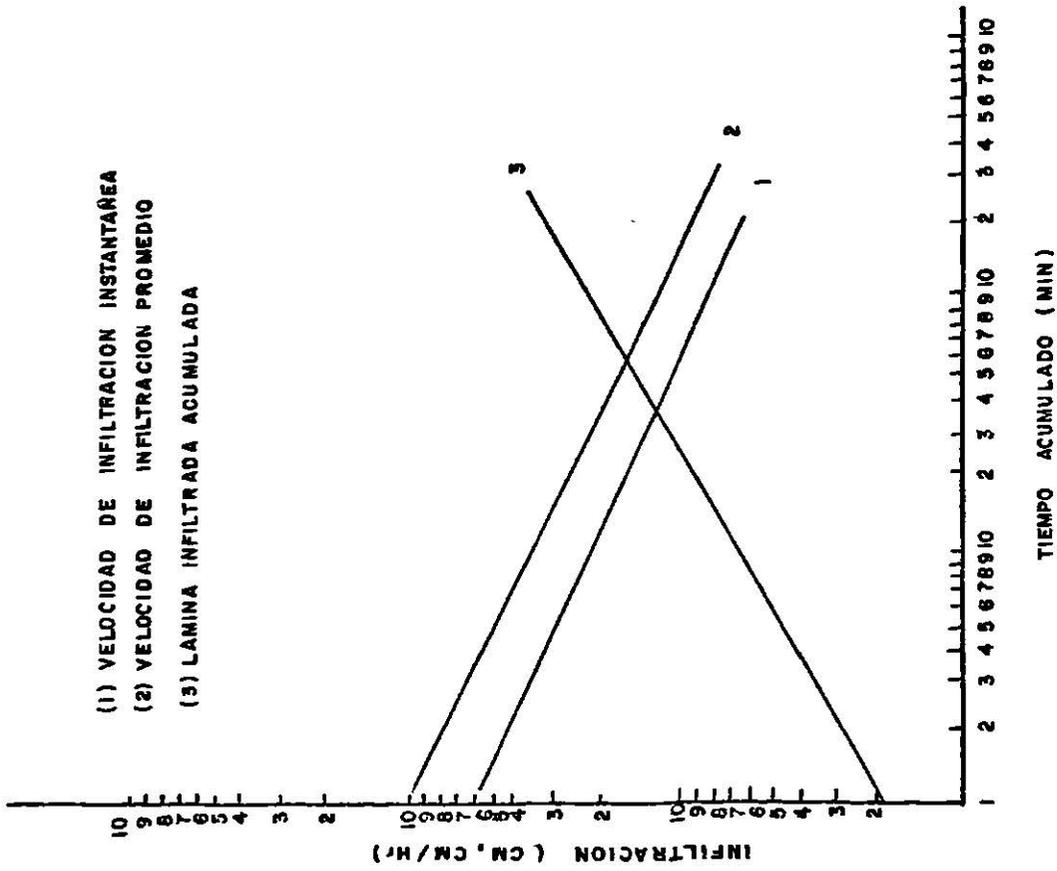
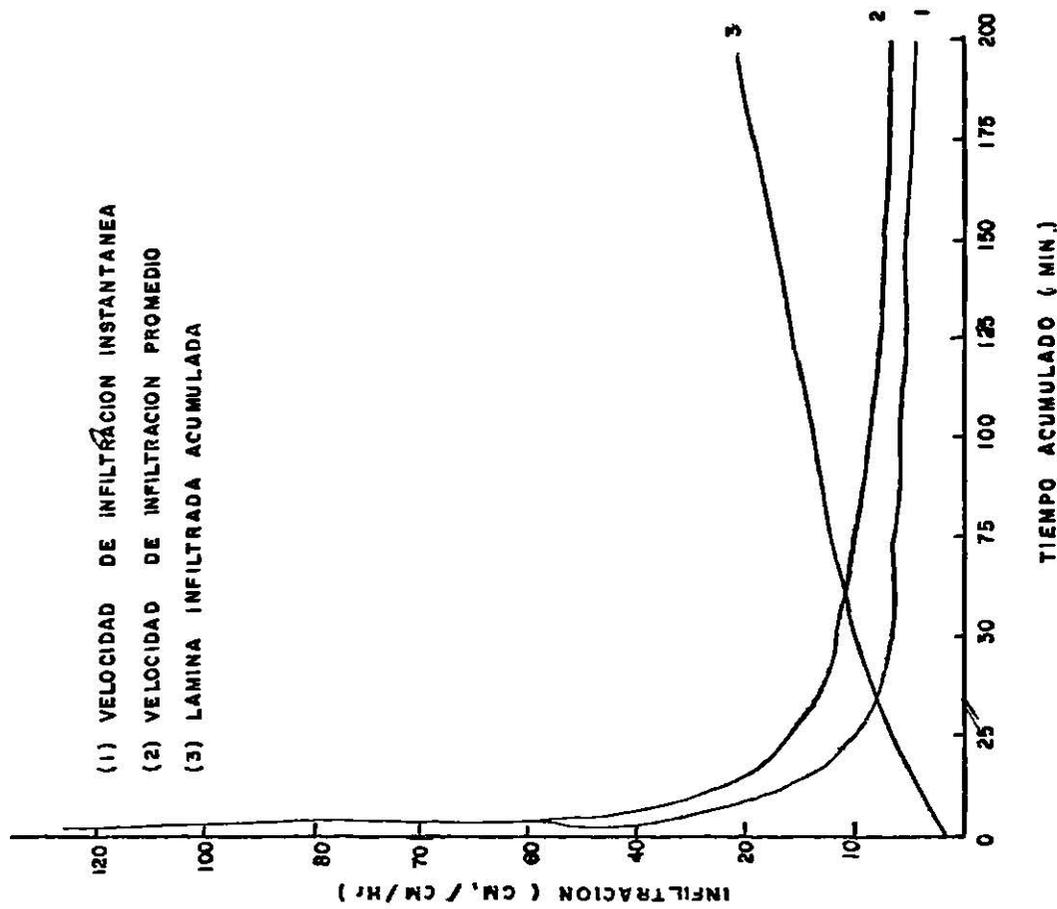
16. Merriam, J.L. y J. Keller, 1978. Farm irrigation system -- evaluation: a guide for management. Ingeniería de riego y agricultura de la Universidad de Utah. Utah. pp. 189-216.
17. Pissani, J.F. 1976. Ingeniería de sistemas de riego, riego de superficie. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Colegio de graduados. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México 226 p.
18. S.A.R.H. 1981. Operación de distritos de riego. Nivel Técnico superior Tomo II Centro de capacitación Benito Juárez. El Carrizo, Sinaloa, México. 453 p.
19. U.S.D.A. 1981. Design and operation of farm irrigation systems. American Society of Agricultural Engineers. Jensen. pp. 501-566.
20. Vazquez, A.R. 1983. Apuntes de relación agua-suelo-planta-atmósfera. Graduados de la F.A.U.A.N.L. Marín, N.L. Méx. 65 p.
21. Withers B. y S. Vipond. 1978. El riego: diseño y práctica. 1a. edición. Editorial Diana, S.A. México 12, D.F. pp. -- 165-170.

22. Zimmerman, J.D. 1981. El riego. Compañía Editorial Continental, S.A. México 22, D.F. pp. 167-181.

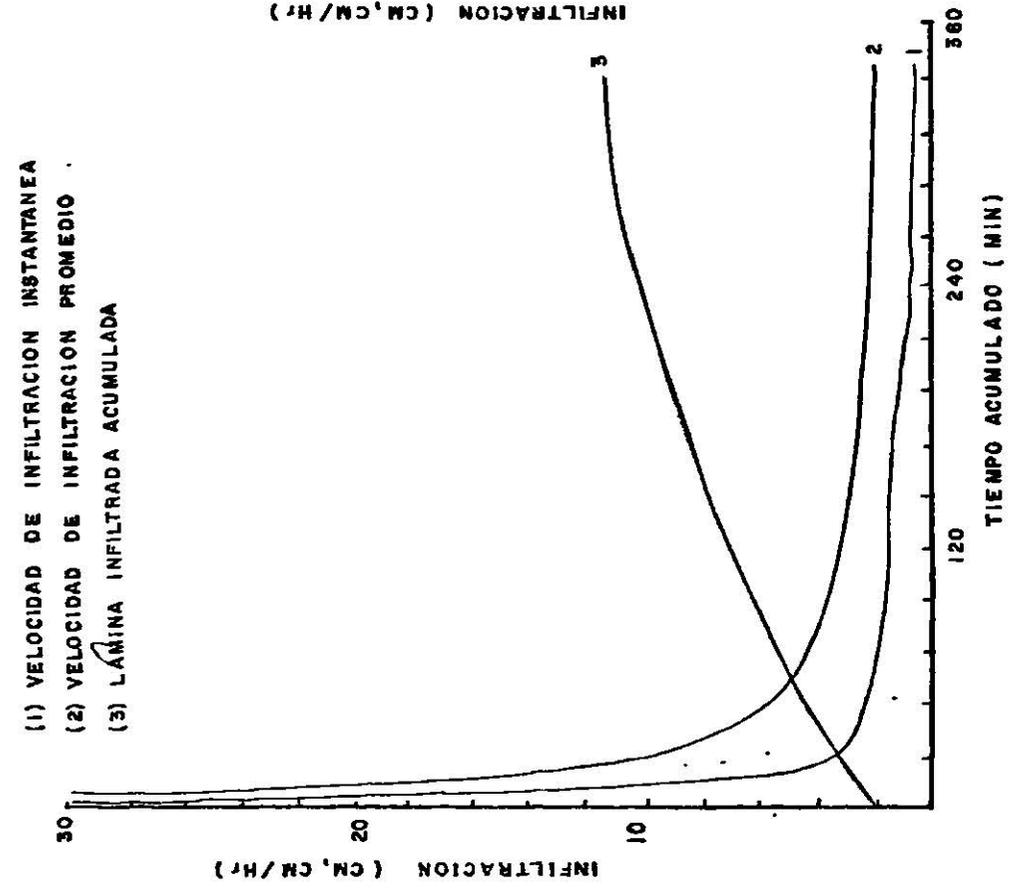
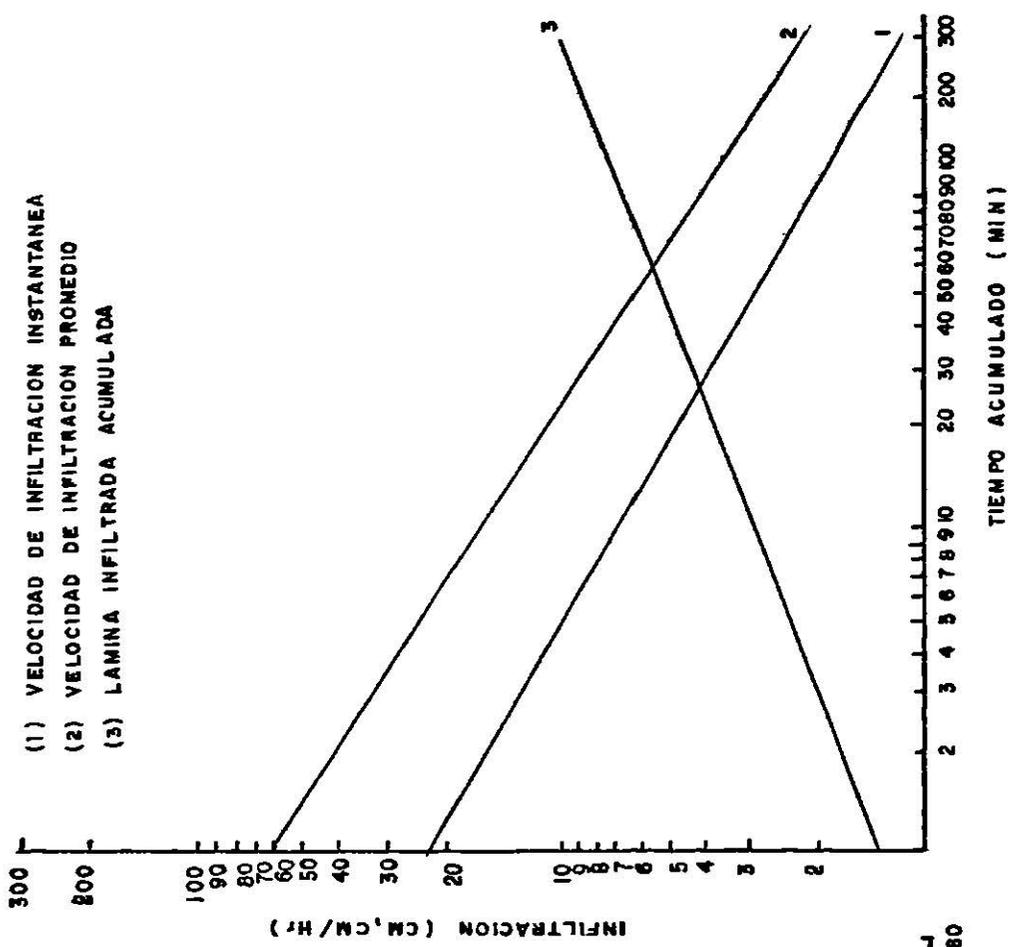
10. APENDICE



Gráfica I4. Curvas de calibración de los sifones utilizados.



Gráfica 15. Curvas de infiltración representativas anteriores al movimiento de tierras.



Gráfica 16. Curvas de infiltración representativas posteriores al movimiento de suelos.



Cuadro IX. Análisis físico-químico del suelo en el punto de muestreo No. 1 (Después de la nivelación de tierras).

Estrato (cm)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-150
Color seco	10YR 6/3	10YR 7/3				
Color húmedo	10YR 4/3	10YR 3/4	10YR 4/4	10YR 4/4	10YR 5/4	10YR 5/4
Reacción (pH)	7.63	7.67	7.65	7.60	7.55	7.48
Textura	M.A.L.	A.L.	A.L.	A	A	A
Materia orgánica (%)	2.62	2.07	1.44	0.89	0.75	0.20
Nitrógeno total (%)	0.13	0.10	0.07	0.04	0.04	0.01
Fósforo (PPM)	0.64	0.68	0.64	0.47	0.47	0.64
Potasio (kg/ha)	738.63	774.54	367.52	116.12	223.86	152.03
C.E. (mmhos/cm)	1.40	1.00	1.40	1.60	2.60	3.80

Cuadro X . Análisis físico-químico del suelo en el punto de muestreo No. 2 (Después de la nivelación de tierras).

Estrato (cm)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-150
Color seco	10YR 6/3	10YR 6/3	10YR 6/3	10YR 6/3	10YR 5/4	10YR 6/3
Color húmedo	10YR 4/3	10YR 3/3	10YR 3/3	10YR 3/3	10YR 4/3	10YR 4/3
Reacción (pH)	7.66	7.62	7.75	7.73	7.93	8.00
Textura	M.L.	M.A.L.	M.L.	M.A.L.	M.A.L.	A.L.
Materia orgánica (%)	1.38	1.65	1.86	1.38	1.03	0.69
Nitrogeno total (%)	0.07	0.08	0.09	0.07	0.05	0.03
Fósforo (PPM)	0.50	0.64	0.47	0.47	0.64	2.40
Potasio (kg/ha)	164.00	259.77	355.55	259.77	116.12	104.15
C.E. (mmhos/cm)	1.60	1.60	1.50	2.10	1.90	1.80

Cuadro XI .Análisis físico-químico del suelo en el punto de muestreo No. 3 (Después de la nivelación de tierras).

Estrato (cm)	0-20	20-40	40-60
Color seco	10YR 6/3	10YR 6/3	10YR 5/3
Color húmedo	10YR 3/3	10YR 3/3	10YR 3/3
Reaccion (pH)	7.65	7.60	7.52
Textura	M.A.L.	M.A.L.	M.L.
Materia orgánica (%)	1.38	1.58	1.51
Nitrógeno total (%)	0.07	0.08	0.07
Fósforo (PPM)	0.64	0.82	2.75
Potasio (kg/ha)	347.57	403.43	164.00
C.E. (mmhos/cm)	1.60	1.20	0.70

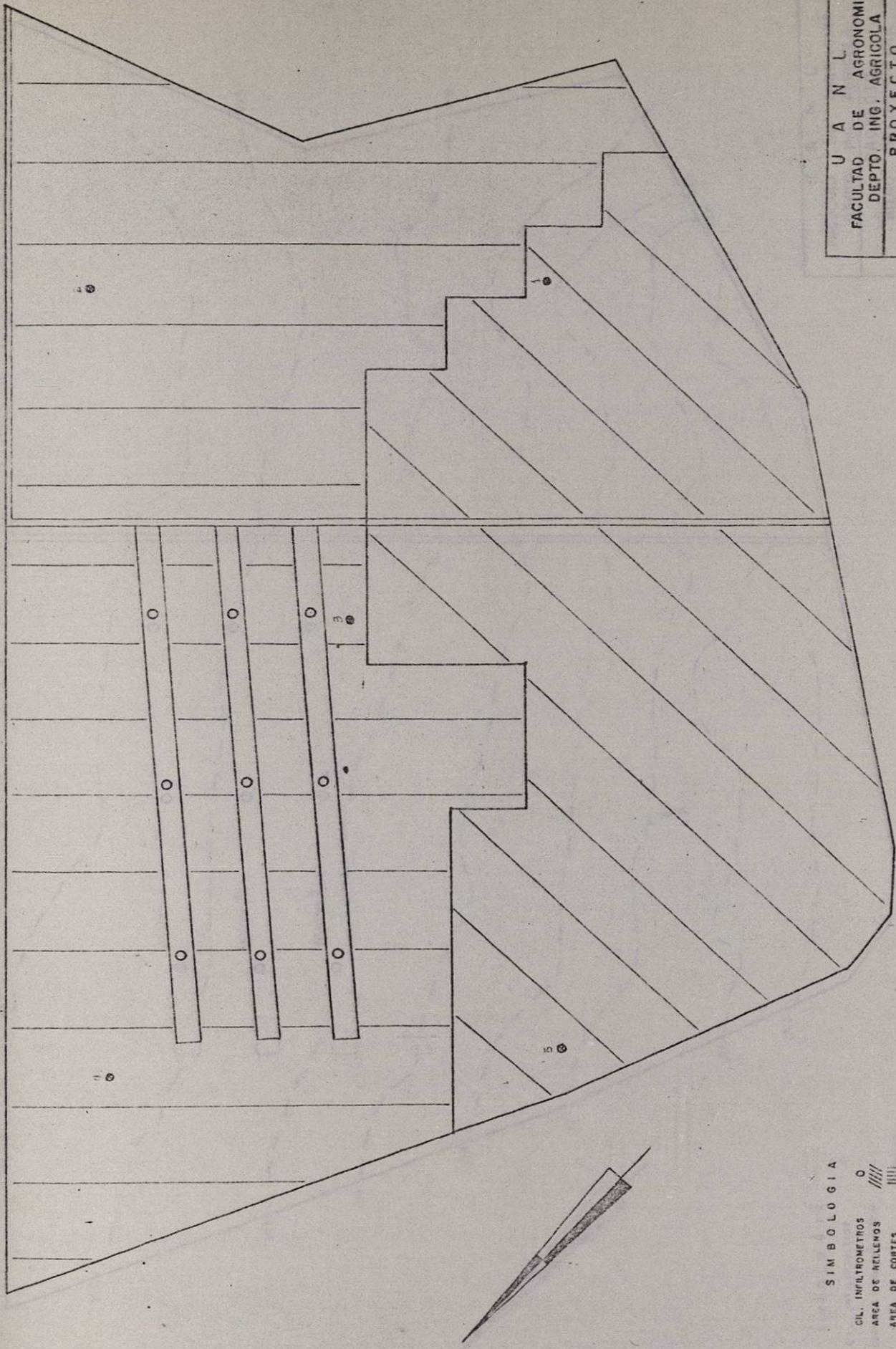
Cuadro XII .Análisis físico-químico del suelo en el punto de muestreo No. 4 (Después de la nivelación de tierras).

Estrato (cm)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-150
Color seco	10YR 6/4	10YR 5/4	10YR 7/3	10YR 7/3	10YR 7/3	10YR 7/3
Color húmedo	10YR 4/3	10YR 4/3	10YR 5/4	10YR 6/3	10YR 6/4	10YR 6/4
Reacción (pH)	7.53	7.52	7.48	7.40	7.30	7.30
Textura	M.A.L.	M.L.	M.L.	M.L.	M.L.	M.L.
Materia orgánica (%)	1.38	1.38	0.75	0.75	0.34	0.34
Nitrógeno total (%)	0.07	0.07	0.04	0.04	0.02	0.02
Fósforo (PPM)	0.82	0.82	3.80	0.47	0.64	3.83
Potasio	154.43	355.55	92.17	80.20	128.09	104.15
C.E. (mmhos/cm)	0.70	0.80	1.30	2.40	3.80	4.50

Cuadro XIII. Análisis físico-químico del suelo en el punto de muestreo No. 5 (Después de la nivelación de tierras).

Estrato (cm)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
Color seco	10YR 6/3	10YR 6/4	10YR 6/4	10YR 7/3	10YR 7/3
Color húmedo	10YR 5/4	10YR 5/4	10YR 5/4	10YR 6/4	10YR 6/4
Reacción (pH)	7.40	7.39	7.38	7.35	7.36
Textura	M.L.	M.L.	M.A.L.	M.A.L.	M.A.L.
Materia orgánica (%)	0.48	0.69	0.20	0.20	0.34
Nitrógeno total (%)	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02
Fósforo (PPM)	0.47	3.45	0.64	0.47	2.96
Potasio (kg/ha)	44.29	80.20	44.29	46.68	116.12
C.E. (mmhos/cm)	2.20	1.20	1.30	1.00	0.90



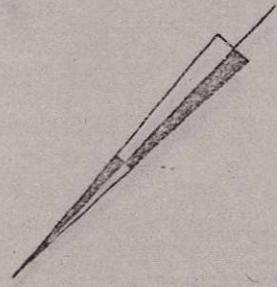


U A N L		FACULTAD DE AGRONOMIA		DEPTO. ING. AGRICOLA	
PROYECTO		RIEGO DE SUPERFICIE		PLANO: CORTES Y RELLENOS	
EJECUTO	ESCALA	AREA TOTAL			
MARCO A. ARENAS 9.	1:1000	'00 HAS.			
EDUARDO PEREZ B.	FECHA	No. ARCHIVO			
ASESOR					
DR. JUAN PEDRO ESCOBAR Z.					

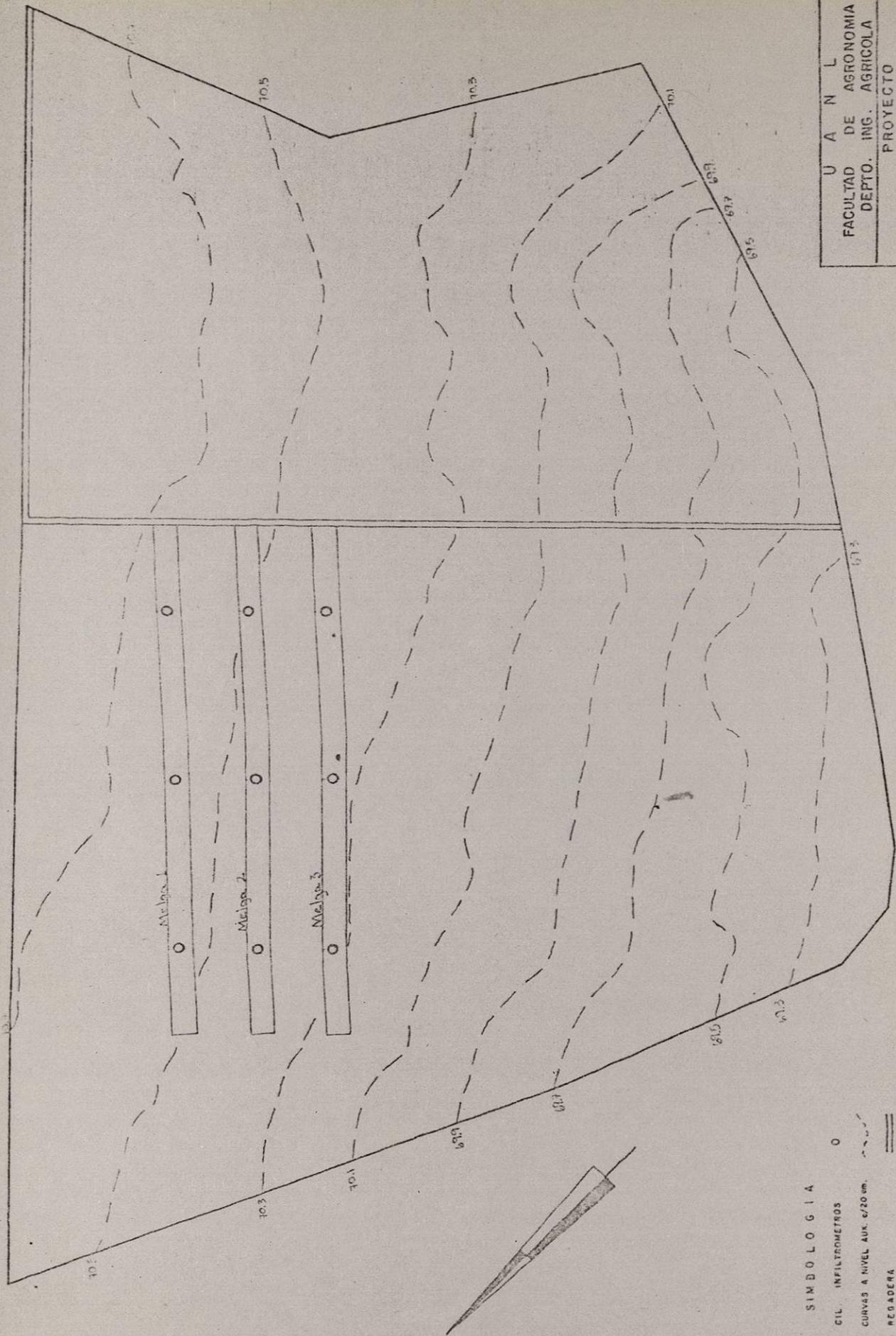
Plano 2. Cortes y rellenos

SIMBOLOGIA

CIL. INFILTROMETROS	○
AREA DE RELLENOS	▨
AREA DE CORTES	▧
REGADERA	▬
PUNTOS DE MUESTREO	•



07821



Plano 3. Curvas a nivel después de movimiento de tierras

SIMBOLOGIA

- CIL. INFILTROMETROS ○
- CURVAS A NIVEL AUX. 1/20 cm. - - - - -
- REGADERA = = = = =

U A N L	
FACULTAD DE AGRONOMIA DEPTO. ING. AGRICOLA	
PROYECTO RIEGO DE SUPERFICIE	
PLANO: CURVAS A NIVEL DESPUES DE MOVIMIENTO DE TIERRAS.	
EJECUTO MARIO TRABA B.	ESCALA 1:1000
ASESOR DR. JUAN FCO. PISANTI Z.	FECHA 98 HAS
	NO. ARCHIVO

07824

