

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA



**EVALUACION DEL METODO DE RIEGO POR SURCOS
APLICANDO LA TECNICA DE FLUJO INTERMITENTE**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRICOLA**

PRESENTA

MANUEL DE JESUS JIMENEZ MARQUEZ

MARIN, N. LEON

JUNIO DE 1991

T
S603
J5
c.1



1080061573

Este libro debe ser devuelto, a más tardar, en la última fecha sellada, su retención más allá de la fecha de vencimiento, lo hace acreedor a las multas que fija el reglamento.

11 SET. 1995

29 SET. 1995

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA



EVALUACION DEL METODO DE RIEGO POR SURCOS
APLICANDO LA TECNICA DE FLUJO INTERMITENTE

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRICOLA

PRESENTA

MANUEL DE JESUS JIMENEZ MARQUEZ

MARIN, N. LEON

JUNIO DE 1991

10671

T
5603
55

040 631
1-A3
1991
C-5



Biblioteca Central
Magna Solidaridad

F. TESIS



UANL
FONDO
TESIS LICENCIATURA

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

EVALUACION DEL METODO DE RIEGO POR SURCOS
APLICANDO LA TECNICA DE FLUJO INTERMITENTE

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRICOLA

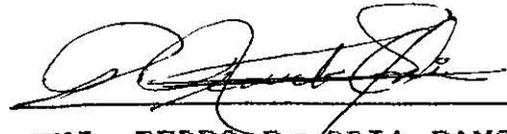
PRESENTA

MANUEL DE JESUS JIMENEZ MARQUEZ

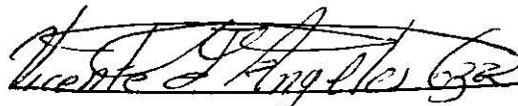
COMISION REVISORA



DR. JUAN FCO. PISSANI ZUÑIGA
Asesor principal



ING. PEDRO R. ORIA RAMOS
Asesor auxiliar



ING. VICENTE ANGELES GARZA
Asesor auxiliar

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

SR. JOSE JIMENEZ SAMANIEGO

SRA. AGUSTINA MARQUEZ DE JIMENEZ

Con amor, respeto y agradecimiento por el gran apoyo que me han brindado para la culminación de mi carrera y de este - trabajo.

A MIS HERMANOS:

ELIAS Y COCO

EVANGELINA Y JUAN

MA. ROSA Y LUIS

MARTIN Y LUCY

MA. LUISA Y CLAUDIO

YOLANDA Y MARTIN

NORMA ANGELICA

MARIA LORENA Y GERARDO

VICTOR HUGO

JOSE ALFREDO

Con cariño, por su apoyo y ejemplo de superación cons -- tante.

SRA. ALBEZA GONZALEZ G.

Por su gran ayuda tanto material como espiritual

A MIS COMPANEROS Y AMIGOS:

Rosa Ma. M. J.. Antonia Z. H.. Lucia O. M.. Cecilia M. R
Roberto M. M.. Joel R. L.. J. Antonio T. F.. Gabriel A.. ----
Felipe T. R.. Gilberto S. O.. Gregorio M. S.. Edgar V. C.. --
Francisco R. F.. Filomeno R. G.. J. Antonio G. S.. Federico -
P. G.. Martin T. B.. Emilio J. C.. Marcelo P. C.

Por su sincera amistad. por sus enseñanzas y momentos --
alegres que compartimos.

AGRADECIMIENTOS

AL DR. JUAN FRANCISCO PISSANI ZUÑIGA

Por su valiosa ayuda y asesoría para la realización de -
este trabajo

AL ING. PEDRO RICARDO ORIA RAMOS

AL ING. VICENTE ANGELES GARZA

Por su colaboración en la revisión del presente trabajo

C O N T E N I D O

	Página
I. INTRODUCCION.....	1
II. OBJETIVOS.....	4
III. REVISION DE LITERATURA.....	5
3.1. Factores analizados para el manejo y evaluación de un sistema de riego superficial por surcos.	5
3.1.1. Agua.....	5
3.1.1.1. Disponibilidad.....	5
3.1.1.2. Calidad.....	5
3.1.1.3. Gasto a aplicar.....	6
3.1.1.4. Volumen de riego.....	7
3.1.1.5. Tirante hidráulico.....	8
3.1.1.6. Curvas de avance.....	8
3.1.1.7. Función de avance.....	9
3.1.2. Suelo.....	11
3.1.2.1. Pendiente.....	11
3.1.2.2. Textura.....	11
3.1.2.3. Profundidad efectiva.....	12
3.1.2.4. Infiltración.....	12
3.1.2.5. Rugosidad.....	14
3.1.3. Dimensiones de los surcos.....	14
3.1.3.1. Longitud.....	14
3.1.3.2. Espaciamiento entre surcos....	15
3.1.4. Otros.....	16
3.2. Eficiencia del riego.....	16

3.3. Teoría del método de riego superficial por --- surcos aplicando la técnica de flujo intermi - tente.....	18
3.4. Investigaciones y experimentos referentes a -- riego intermitente.....	25
3.5. Equipo usado para el manejo de riego intermi - tente.....	31
3.5.1. Sistemas intermitentes automáticos.....	31
3.5.2. Tipos de válvulas para el manejo de --- riego intermitente.....	33
3.5.3. Otros tipos de válvulas.....	34
3.5.4. Equipo intermitente por cablegación....	36
3.5.5. Sistema de canales abiertos.....	37
3.5.6. Sistema de tuberías con compuertas de - arreglo ranurado.....	39
3.5.7. Sistema de tubería sencilla.....	40
IV. MATERIALES Y METODOS.....	41
4.1. Ubicación del área donde se realizó el experi- mento.....	41
4.2. Reconocimiento de campo.....	41
4.3. Descripción del área de estudio.....	42
4.3.1. Clima.....	42
4.3.2. Suelo.....	43
4.4. Material utilizado.....	44

	Página
4.5. Labores previas al experimento.....	44
4.5.1. Preparación del terreno.....	44
4.5.2. Levantamiento topográfico.....	44
4.5.3. Distribución de tratamientos y acondi - cionamiento del área.....	45
4.5.4. Instalación del equipo.....	45
4.6. Determinación del gasto a aplicar.....	49
4.7. Tratamientos y repeticiones.....	50
4.8. Operación del sistema.....	51
4.9. Aplicación del experimento.....	52
4.9.1. Determinación del contenido de humedad- del suelo antes del riego.....	52
4.9.2. Determinación del contenido de humedad- del suelo después del riego.....	53
4.9.3. Pruebas de riego para flujo continuo...	53
4.9.4. Pruebas de riego para flujo intermiten- te.....	54
4.9.5. Pruebas de infiltración.....	56
V. RESULTADOS Y DISCUSION.....	59
5.1. Resultados de las pruebas.....	59
5.2. Humedad del suelo.....	60
5.3. Pruebas de riego.....	61
5.4. Pruebas de infiltración.....	61
5.5. Perímetro mojado.....	67
5.6. Curvas de avance y recesión.....	68

5.7. Láminas de agua aplicada, almacenada en la zona de raíces y lámina requerida.....	73
5.8. Eficiencias y uniformidad de distribución generales.....	76
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	79
VII. RESUMEN.....	81
VIII. BIBLIOGRAFIA.....	84
IX. APENDICE.....	87

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Curvas de avance del frente húmedo para diferentes gastos.....	9
2	Ilustración esquemática de la relación entre las láminas de agua infiltrada durante el avance del frente de agua en un riego y el almacenamiento superficial.....	10
3	Perspectiva de una válvula intermitente automática	33
4	Válvulas mecánicas tipo mariposa de disco sencillo y disco doble.....	35
5	Esquema del sistema por cablegación que usa un tapón viajero en el interior de la tubería.....	36
6	Sistema de surcos de canal abierto con un sifón dosificador.....	37
7	Esquema de un sifón dosificador.....	38
8	Diagrama del sistema de tubería de compuertas con arreglo ranurado.....	39
9	Esquema del sistema intermitente con válvulas de un solo surco y líneas simples de abasto de agua..	40
10	Distribución general del equipo.....	47

	Página
11 Detalle de instalación del equipo.....	48
12 Dimensiones de los surcos.....	59
13 Perfil promedio de la plantilla de los surcos de - prueba.....	60
14 Curvas de velocidad de infiltración e infiltración acumulada para el tratamiento: flujo intermitente- con ciclos de tres minutos.....	63
15 Curvas de velocidad de infiltración e infiltración acumulada para el tratamiento: flujo intermitente- con ciclos de cinco minutos.....	64
16 Curvas de velocidad de infiltración e infiltración acumulada para el tratamiento: flujo intermitente- con ciclos de siete minutos.....	65
17 Curvas de velocidad de infiltración e infiltración acumulada para el tratamiento: flujo continuo.....	66
18 Perfiles mojados promedio de los surcos para cada- tratamiento.....	67
19 Curvas de avance promedio para los cuatro trata -- mientos.....	69
20 Curvas de avance y recesión para el tratamiento: - flujo intermitente con ciclos de tres minutos.....	71

21	Curvas de avance y recesión para el tratamiento: - flujo intermitente con ciclos de cinco minutos....	72
22	Curvas de avance y recesión para el tratamiento: - flujo intermitente con ciclos de siete minutos....	72
23	Curvas de avance y recesión para el tratamiento: - flujo continuo.....	73
24	Distribución de las láminas de agua: aplicada (La) almacenada en la zona de raíces (Lr) y requerida- (Lr) para los tratamientos: a) flujo intermitente- con ciclos de tres min. b) flujo intermitente con- ciclos de cinco minutos.....	74
25	Distribución de las láminas de agua: aplicada (La) almacenada en la zona de raíces (Lr) y requerida- (Lr) para los tratamientos: a) flujo intermitente- con ciclos de siete min. b) flujo continuo.....	75

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Tratamientos aplicados en el experimento.....	51
2	Ecuaciones de infiltración resultantes para cada -- tratamiento.....	64
3	Funciones de avance resultantes para cada trata --- miento.....	69
4	Comparación de los tiempos globales de riego para- los diferentes tratamientos.....	70
5	Eficiencias: aplicación. aplicación del cuarto in- ferior. almacenamiento y uniformidad de distribu-- ción para los diferentes tratamientos.....	77

INDICE DEL APENDICE

Figura	Página
1 Curvas de avance para el tratamiento: flujo intermitente con ciclos de tres minutos.....	88
2 Curvas de avance para el tratamiento: flujo intermitente con ciclos de cinco minutos.....	89
3 Curvas de avance para el tratamiento: flujo intermitente con ciclos de siete minutos.....	90
4 Curvas de avance para el tratamiento: flujo continuo.....	91

Cuadro	Página
1 Eficiencias: aplicación, aplicación del cuarto inferior, almacenamiento y uniformidad de distribución para el tratamiento: flujo intermitente con ciclos de tres minutos.....	92
2 Eficiencias: aplicación, aplicación del cuarto inferior, almacenamiento y uniformidad de distribución para el tratamiento: flujo intermitente con ciclos de cinco minutos.....	92

		Página
3	Eficiencias: aplicación. aplicación del cuarto inferior. almacenamiento y uniformidad de distribución para el tratamiento: flujo intermitente con ciclos de siete minutos.....	93
4	Eficiencias: aplicación. aplicación del cuarto inferior. almacenamiento y uniformidad de distribución para el tratamiento: flujo continuo.....	93

Tabla		Página
1	Datos promedio de la prueba de riego para el tratamiento: flujo intermitente con ciclos de tres minutos.....	94
2	Datos promedio de la prueba de riego para el tratamiento: flujo intermitente con ciclos de cinco minutos.....	95
3	Datos promedio de la prueba de riego para el tratamiento: flujo intermitente con ciclos de siete minutos.....	96
4	Datos promedio de la prueba de riego para el tratamiento: flujo continuo.....	97

5	Datos de la prueba de infiltración para el tratamiento: flujo intermitente con ciclos de tres minutos.....	98
6	Datos de la prueba de infiltración para el tratamiento: flujo intermitente con ciclos de cinco minutos.....	99
7	Datos de la prueba de infiltración para el tratamiento: flujo intermitente con ciclos de siete minutos.....	100
8	Datos de la prueba de infiltración para el tratamiento: flujo continuo.....	101
9	Datos promedio generales del muestreo de suelos -- después del riego para el tratamiento: flujo intermitente con ciclos de tres minutos.....	102
10	Datos promedio generales del muestreo de suelos -- después del riego para el tratamiento: flujo intermitente con ciclos de cinco minutos.....	103
11	Datos promedio generales del muestreo de suelos -- después del riego para el tratamiento: flujo intermitente con ciclos de siete minutos.....	104

12	Datos promedio generales del muestreo de suelos -- después del riego para el tratamiento: flujo con - tínuo.....	105
13	Datos promedio generales del muestreo de suelos -- antes del riego para los diferentes tratamientos..	106
14	Datos promedio del perimetro mojado determinado -- para el tratamiento: flujo intermitente con ciclos de tres minutos.....	107
15	Datos promedio del perimetro mojado determinado -- para el tratamiento: flujo intermitente con ciclos de cinco minutos.....	107
16	Datos promedio del perimetro mojado determinado -- para el tratamiento: flujo intermitente con ciclos de siete minutos.....	108
17	Datos promedio del perimetro mojado determinado -- para el tratamiento: flujo continuo.....	108

I. INTRODUCCION

El riego agrícola es una de las prácticas más antiguas utilizadas por el hombre para producir sus alimentos y nació como una solución de diversos factores que limitaron en un principio la agricultura. Dichos factores fueron un conjunto de labores culturales tales como aporques, deshierbes, cosecha, y en tiempos recientes, el trabajo de la maquinaria, aplicación de agroquímicos, etc., pero sobre todo por las ventajas en cuanto a facilidad de uso y poca inversión que presenta el riego por surcos en donde existen suficientes volúmenes de agua disponibles. (8)

México ocupa el sexto lugar mundial en materia de riego, con una superficie aproximada de cinco millones de hectáreas bajo riego, y al igual que en muchos otros países la agricultura de riego representa el sistema de producción más seguro y de mayor productividad ya que con solo el 25 % de la superficie cultivada alcanza el valor total de la producción.

No obstante, la eficiencia global del riego en el país solo alcanza el 45 %, lo que indica que más de la mitad del agua que se destina a la producción agrícola, se pierde sin ser aprovechada por los cultivos. Debido a lo anterior, el riego es indispensable en un 63 % del territorio nacional y necesario en un 31 %, lo que constituyen las zonas áridas y semiáridas, respectivamente. (12)

Por varias causas económicas y técnicas, los agriculto-

res no han mejorado sus sistemas ni prácticas en aquellas áreas incorporadas al riego. Una de las principales causas detectadas en este deficiente uso del agua o falta de tecnología de riego, es el desconocimiento de alternativas por parte de los agricultores de diferentes métodos de riego novedosos-- más adaptables a sus condiciones de riego específicas. (9)

El riego superficial o de gravedad usando surcos, mel -- gas, curvas a nivel, etc., a sido la forma más utilizada de -- aplicar el agua a los cultivos a nivel mundial. En México este método de riego predomina en un 92 % del área total regada aún cuando han surgido otras técnicas de riego presurizado -- como el goteo y la aspersion.

El método de riego superficial en surcos a pesar de producir bajos niveles de eficiencia, es el más común porque requiere poca inversión. Para el diseño de éste, los distintos -- procedimientos tienen como objetivo que la lámina de agua a -- aplicada se distribuya uniformemente y que se minimizen las -- pérdidas por percolación y escurrimiento. Para lograr tales -- objetivos se ha estudiado la relación entre el gasto, longi-- tud del surco, pendiente, suelo y su efecto en los procesos -- de riego como son: avance, almacenamiento, consumo y recesión

Todo lo anterior ha motivado la investigación en la in -- geniería de riego en criterios de diseño como son: gasto ---- constante y uniforme, reducción del gasto, gasto decreciente -- y flujo intermitente. (8)

Investigadores de Utah (Stringham y Keller), han pro ---

puesto una modalidad en cuanto a la aplicación del flujo en el riego por surcos, la cual permite un avance del agua más rápido que el obtenido con el flujo aplicado en forma constante y uniforme. (17)

Esta modalidad de aplicación del agua de riego se denomina riego intermitente y consiste en la aplicación discontinua del gasto de entrada, en base a una relación determinada de tiempos con y sin flujo, dentro de un círculo completo de intermitencias hasta completar el riego. Este principio de aplicación del agua de riego tiene su origen en la forma de aplicación del flujo en los sistemas de riego por aspersión y goteo.

El personal técnico del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, en el Oeste de Kansas, mediante experimentos concluyen, que el uso de este método permite un ahorro de agua y de energía eléctrica de un 20 %. (5)

Es imperiosa la necesidad de hacer un uso más racional del agua de uso agrícola, dados los problemas de construcción de obras de infraestructura para su captación y distribución y para hacer posible la incorporación de tierras áridas al riego.

II. OBJETIVOS

- 1.- Evaluar la eficiencia del método de riego en surcos aplicando la técnica de flujo intermitente con varias relaciones de tiempos con y sin flujo y en las condiciones edáficas específicas del área de prueba.
- 2.- Comparar las dos técnicas de aplicación del flujo: continuo e intermitente y su efecto sobre la velocidad de avance, escurrimiento, infiltración, eficiencia de aplicación, eficiencia de almacenamiento y uniformidad de distribución.

III. REVISION DE LITERATURA

3.1. Factores analizados para el manejo y evaluación de un sistema de riego superficial por surcos

Dentro de los métodos de riego superficial se encuentra el de riego por surcos, para la evaluación de éste, los distintos procedimientos tienen como objetivo que la lámina de agua aplicada se distribuya uniformemente y que se minimizen las pérdidas por percolación y escurrimiento. Para lograr tales objetivos, se ha estudiado la relación entre el gasto, la longitud del surco, la pendiente, suelo y su efecto en los procesos de riego.

3.1.1 Agua

3.1.1.1. Disponibilidad

El volumen de agua disponible influirá sobre el método de riego que pueda usarse, sobre el tipo de plantas que puedan cultivarse y determinar la superficie que pueda regarse. Donde el suministro es limitado, el método de riego debe ser eficiente y proyectado para conseguir el máximo aprovechamiento posible del agua. (4)

3.1.1.2. Calidad

La calidad química del agua depende fundamentalmente de las sales contenidas en disolución. Algunos iones son útiles aún en dosis relativamente elevadas, tal es el caso del cal-

cio que compensa así las pérdidas de cal, otros son útiles en dosis bajas, puesto que se hacen rápidamente nocivos en cuanto su concentración aumenta, tal es el caso del magnesio. La sal nociva más común es el cloruro de sodio aunque frecuentemente se valoren solo los cloruros para estimar la calidad de un agua. (14)

3.1.1.3. Gasto a aplicar

El gasto que puede conducir un surco depende de la sección de escurrimiento y de sus condiciones hidráulicas. Sin embargo, el gasto a aplicar está limitado por:

- a).- La sección de escurrimiento que ofrece el surco, en los suelos con o sin pendiente reducida.
- b).- La fuerza erosiva del agua en los suelos con pendiente.

Cridle et al., (1956), ha dado una ecuación para calcular el gasto máximo no erosivo, $Q_{\text{máx}}$, en función de la pendiente, S .

Para Q en lts/seg resulta:

$$Q_{\text{máx}} = 0.63/S \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

S = Pendiente media del surco de prueba

0.63 = Constante

Definitivamente, lo más correcto es hacer pruebas en campo para la determinación del gasto máximo no erosivo, que nos indica la erodabilidad y cambio de la sección transversal del surco con diferentes caudales aplicados. (12)

3.1.1.4. Volumen de riego

El volumen de agua de riego a aplicar se basa en el conocimiento de la capacidad útil de un terreno. Esta corresponde a la cantidad de agua disponible para la vegetación y se determina por la diferencia entre la cantidad de agua contenida en el mismo cuando alcanza la capacidad de campo (CC) y la contenida en el punto de marchitez (PMP). La capacidad útil se calcula como sigue:

$$Cu = \frac{(CC - PMP) Da \cdot H}{100} \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

Cu = Capacidad útil en cm

CC = Capacidad de campo en % del peso de suelo seco

PMP = Punto de marchitez permanente en % del peso del suelo seco.

Da = Densidad aparente del terreno en gr/cm³

H = Altura de la capa de tierra abonada en cm

En la práctica el volumen de riego se calcula en m³/ha y se sustituye el PMP por la cantidad de agua efectivamente presente en el suelo inmediatamente antes del riego. (7). El volumen de riego vienen dado por:

$$Vr = \frac{10000 (CC - Hp) Da \cdot H}{100} \dots\dots\dots(3)$$

$$Vr = 100 (CC - Hp) Da \cdot H \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

Vr = Volumen de riego en m³/ha

Hp = Humedad presente antes del riego, que se obtiene multi--

plicando el FMP por una constante obtenida experimentalmente y cuyo valor es >1 .

H = Espesor del estrato del terreno que se quiere regar

D_a = Densidad aparente.

3.1.1.5. Tirante hidráulico

El tirante hidráulico es importante en el riego por surcos ya que el agua se infiltra por el área determinada por la longitud del surco y el perímetro mojado, el cual aumenta al incrementarse el tirante hidráulico y por tanto la infiltración.

Para un mismo gasto, un tirante hidráulico menor produce un avance más rápido del agua. El tirante hidráulico se encuentra determinado por el gasto, pendiente y rugosidad. (5)

3.1.1.6. Curvas de avance

La representación gráfica de la distancia X contra el tiempo t , se denomina curva de avance, y esta relación determina la disminución de la velocidad de avance dx/dt , con el tiempo. Este comportamiento es independiente de los factores hidráulicos y se debe a la disminución del gasto Q en la distancia x . (13)

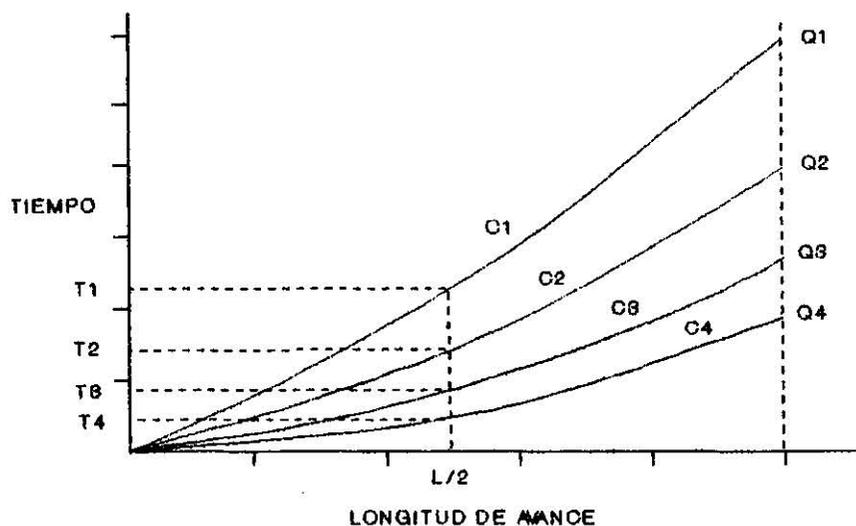


Figura 1. Curvas de avance del frente húmedo para diferentes gastos.

3.1.1.7 Función de avance

Diferentes autores coinciden en que el avance del frente de agua de riego es una función exponencial de la variable -- tiempo y se expresa como:

$$X = pt^R \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

X = Distancia de avance al tiempo t

p = Coeficiente empírico de la función de avance

t = Tiempo de avance

R = Exponente empírico de la función de avance con valores de $0 < R < 1$

El avance del frente de agua depende de varios factores: gasto, función de infiltración, tamaño y forma del cauce, pendiente y rugosidad de la superficie, etc. (13)

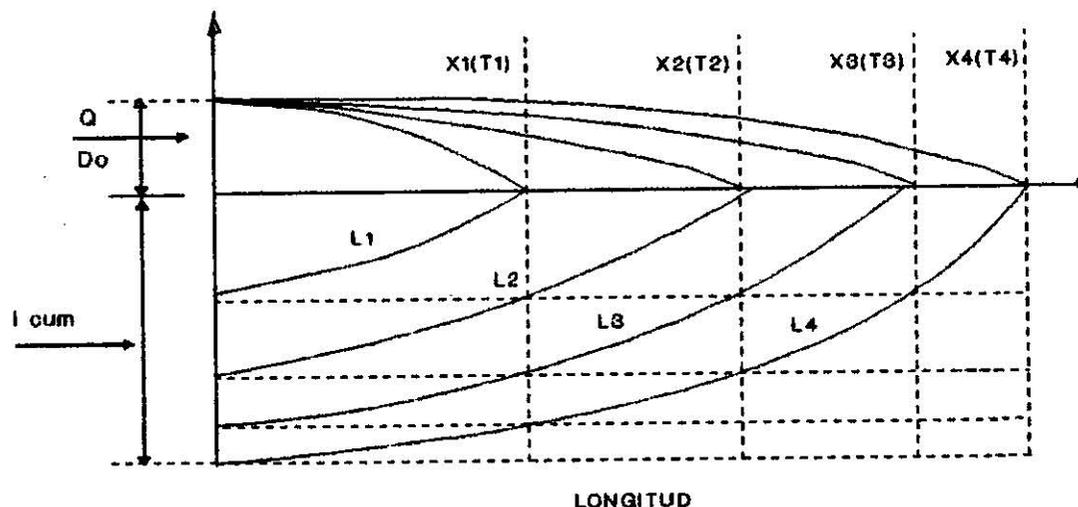


Figura 2. Ilustración esquemática de la relación entre las láminas de agua infiltradas durante el avance del frente de agua en un riego y el almacenamiento superficial.

Wilke propone un método para obtener el coeficiente p y el exponente R de la función de avance ($X=pt^R$).

Las ecuaciones generales son:

$$R = \frac{\ln(0.5)}{\ln(t/T)} \dots \dots \dots (6)$$

$$p = \frac{L}{(T)^R} \dots \dots \dots (7)$$

Donde:

T= Tiempo de avance a la distancia total

t= Tiempo de avance a la distancia media

L= Longitud total del riego

3.1.2. Suelo

3.1.2.1. Pendiente

La pendiente condiciona la velocidad de circulación del agua por la superficie. El modo más eficaz de aplicar el agua es cuando los surcos tienen una pendiente uniforme. Las pendientes no uniformes dan lugar a profundidades de riego no uniforme a lo largo de los surcos y pueden traer como consecuencia el acarreo del suelo hacia los lugares más bajos, rompimiento de los surcos y arrastre de semillas.

El riego por surcos funciona más eficientemente en terrenos llanos, de menos de 0.2 %, puede emplearse este sistema en pendientes mucho mayores, hasta del 3 % en cultivos en hileras rectas y hasta del 15 % en el caso de surcos en contorno. (8)

3.1.2.2. Textura

La textura del suelo nos lleva a pensar en el grado de erosión del suelo al momento del riego. Un suelo de textura pesada es capaz de admitir un período de riego con un mayor volumen de agua aplicado y en condiciones de mayor pendiente, dado que por sus características es menos susceptible a la erosión, pero su capacidad de infiltración es menor que la de un suelo de textura ligera, por lo cual el segundo período de riego será con un volumen de agua mucho menor. (8)

3.1.2.3. Profundidad efectiva

El movimiento lateral del agua desde los surcos en suelos con perfiles uniformes, depende principalmente de la textura del suelo, en las arcillas, la imbibición es mas alta -- que en la arenas.

Para obtener una humectación completa de los suelos arenosos a profundidades de 1.2 a 1.8 mts, los surcos no deben trazarse de ordinario con una separación mayor de 50 cm. En suelos arcillosos podría conseguirse el mojado completo a iguales profundidades separando los surcos 120 cm o más. (8)

3.1.2.4. Infiltración

La infiltración es el paso del agua de la superficie al interior de éste. Normalmente hay dos formas principales de expresar la infiltración: la primera es la velocidad de infiltración, que representa la cantidad de agua en lámina que penetra al suelo por unidad de tiempo. La segunda se denomina infiltración acumulada o lámina infiltrada y es la que se filtra en el suelo durante un tiempo t .

La infiltración es el factor decisivo a tomarse en cuenta en el riego por surcos, pues según se le considere, determinará la eficiencia del sistema. En igualdad de condiciones de suelo y contenido de humedad inicial, la velocidad de infiltración en los surcos es función del gasto, pendiente, --- coeficiente de rugosidad de Manning y el ancho del surco.

La velocidad de infiltración de cualquier suelo particu-

lar variará con la cantidad de humedad de éste al momento de regar y con las prácticas de labranza empleadas antes del riego.

El procedimiento mas comúnmente empleado para medir la infiltración en surcos, consiste en determinar el gasto infiltrado Q_i , por diferencias entre el gasto Q_e de entrada y el gasto Q_s de salida para cada tiempo acumulado, t , en un tramo de surco sin pendiente.

$$Q_i = Q_{ent} - Q_{sal} \dots\dots\dots (8)$$

Los valores instantáneos de Q_i se convierten a mm/hr para infiltración:

$$I = \frac{Q_i \cdot 3.6}{W \cdot L} \dots\dots\dots (9)$$

Donde: W = Ancho del surco
 L = Longitud del tramo de prueba
 Q = Gasto medido en lts/seg

La infiltración puede expresarse de manera siguiente:

$$I = Kt^n \dots\dots\dots (10)$$

donde K y n son coeficientes empíricos de la función de infiltración. Por lo general la velocidad de infiltración se sitúa en una escala logarítmica en el eje ordenado y el tiempo en las abscisas.

La función de infiltración acumulada se obtiene integrando la función que representa la velocidad de infiltración. (8) y (12)

3.1.2.5. Rugosidad

La rugosidad tiene influencia en el movimiento del agua y es comprendida tanto por la del suelo como por la vegetación que retarda el movimiento del agua en el suelo.

La rugosidad cambia durante el riego y de riego a riego por lo que es difícil seleccionar un valor representativo, pero se calcula frecuentemente con la ecuación de Manning. (5)

$$V = 1/n (R)^{2/3} (S)^{1/2} \dots\dots\dots(11)$$

Donde:

V = Velocidad del flujo

R = Radio hidráulico

S = Pendiente

n = Coeficiente de rugosidad.

3.1.3. Dimensiones de los surcos

3.1.3.1. Longitud

Lo ideal es que la longitud del surco sea la máxima posible y nos permita la aplicación de un mayor volumen de agua para que este llegue lo más rápidamente posible al final del surco asegurando la uniformidad de distribución de la humedad a lo largo del surco.

La máxima longitud de un surco viene dada por la distancia máxima para la cual la corriente usada proporciona la infiltración casi uniforme. Para fijarla previamente hay que conocer la velocidad de avance de diferentes caudales por surco, fijar el mayor admisible y la duración conveniente del riego.

La longitud de los surcos varía desde 30 m, en jardines-- hasta 400 m en cultivos extensivos. Las longitudes mas fre -- cuentas están entre 90' y 150 m. Al emplear surcos demasiado - largos se producen pérdidas excesivas por percolación profun- da y erosión en las cabeceras. No obstante, la reducción de - pérdidas de superficie útil por causa de las acequias y la -- facilidad de movimiento de la maquinaria son puntos a favor - del empleo de surcos largos. (8)

3.1.3.2. Espaciamiento entre surcos

El objetivo principal al seleccionar la separación entre surcos es asegurarse de que el movimiento lateral del agua -- entre los surcos adyacentes mojará la totalidad de la zona -- radicular de las plantas antes de que llegue más allá de las- profundidades en que las raíces puedan extraer agua del suelo

La máxima separación entre surcos no debe exceder la --- profundidad de las plantas cultivadas.

Un suelo poco permeable, superficial, atravezado por re- des radiculares, permite mayor separación entre los surcos, - pues cuando el agua llega a aquella capa profunda se extiende horizontalmente y moja uniformemente la tierra. Por el con -- trario si el suelo es muy arenoso, en él la humedad se ex --- tiende poco horizontalmente y hay que aproximar los surcos.

La separación de los surcos para el riego en maíz, pa -- pas, remolacha azucarera y otros cultivos en hileras viene -- determinada por la distancia entre las plantas de cada hile--

ra. (8)

3.1.4. Otros

Para un análisis más detallado de un método de riego con fines de diseño del mismo, puede ser necesario tomar en cuenta otros factores como: (8) y (12)

Capacidad de retención del agua en el suelo	
Cohesión	Densidad real
Superficie específica	Densidad aparente
Porosidad	Etc.
Estructura	

3.2. Eficiencia del riego

El método de riego que se emplee tiene un efecto importante sobre la eficiencia de aplicación del agua a las parcelas. El método de riego por surcos tiene una eficiencia relativamente favorable que depende de la relación entre las velocidades de avance lograda al aplicar el gasto y la tasa de infiltración del suelo, y suele admitirse que para surcos de longitud normal, la eficiencia de aplicación es mayor en suelos pesados.

Los principales indicadores de la eficiencia de un método de riego son: la eficiencia de aplicación, la uniformidad de distribución y la eficiencia de requerimientos, los cuales están relacionados con el volumen aplicado, el volumen requerido, las pérdidas por percolación y escurrimiento y la dis-

tribución a lo largo del terreno.

Experimentalmente, en la práctica se ha observado que existe una relación entre la velocidad de avance y la eficiencia de riego, incrementándose ésta cuando la fase de avance ocurre en el menor tiempo (5). Un indicador de esta relación es la proporción de avance (PA) y se expresa:

$$PA = TA/TR \dots\dots\dots(12)$$

Donde: PA = Proporción de avance

TA = Tiempo de avance

TR = Tiempo de riego

Cuando $PA < 1/4$ se asegura una alta uniformidad de distribución.

La uniformidad de distribución (UD) es otro indicador de la eficiencia de riego e indica la uniformidad con que la lámina aplicada se infiltra a lo largo del surco.

La relación de la UD con la PA se debe a que a medida -- que el tiempo de avance es menor, el tiempo de oportunidad de infiltración tiende a uniformizarse y, por lo tanto, la diferencia entre la lámina mínima infiltrada y la lámina promedio disminuyen (5). La UD se obtiene:

$$UD = \left(\frac{L_{mi}}{L_{pi}} \right) 100 \dots\dots\dots(13)$$

Donde: UD = Uniformidad de distribución

L_{mi} = Lámina mínima infiltrada

L_{pi} = lámina promedio infiltrada

3.3. Teoría del método de riego superficial por surcos aplicando la técnica de flujo intermitente

Tradicionalmente, el riego por surcos se aplica con un gasto de entrada constante y uniforme, diseñándose en el criterio de gasto máximo no erosivo.

Recientemente, investigadores de la Universidad de Utah, propusieron una modalidad en cuanto a la aplicación del flujo en el riego por surcos, la cual permite un avance del agua -- mas rápido que el obtenido con el flujo aplicado en forma --- constante y uniforme.

Esta modalidad de aplicación del agua de riego se deno-- mina riego intermitente y consiste en la aplicación disconti-- nua del gasto de entrada, en base a una relación determinada-- de tiempos con y sin flujo dentro de un ciclo completo de in-- termitencias hasta completar el riego. Este principio de a -- plicación del agua tiene su origen en la forma de aplicación-- del flujo en los sistemas de riego por aspersión y goteo.

Por definición el flujo intermitente es la aplicación -- intermitente del agua de riego en surcos o melgas creando una serie de períodos de abierto y cerrado del flujo, de duración constante y variable. (17)

El agua es aplicada al surco en una serie de ciclos. Cada ciclo consiste en un tiempo de abierto (tiempo en el que - el agua está fluyendo al surco para un ciclo particular), y - un tiempo de cerrado (tiempo entre el cese del flujo y el ---

principio del siguiente)

De lo anterior se deriva que el tiempo del ciclo es la duración de un tiempo de abierto y un tiempo de cerrado:

$$T_c = T_{cf} + T_{sf} \dots \dots \dots (14)$$

Donde:

T_c = Tiempo del ciclo

T_{cf} = Tiempo con flujo

T_{sf} = Tiempo sin flujo

Y la relación del ciclo, la cual es la fracción de tiempo del ciclo tomada del tiempo con flujo.

$$RC = T_{cf}/T_c \dots \dots \dots (15)$$

Donde: RC = Relación del ciclo

$$T_c \text{ y } t_{cf} = \text{Definidas anteriormente. (3) (6) y (15)}$$

La característica más importante de esta forma de apli--

cación es el efecto que en la reducción del tiempo de avance-

se ha observado con la aplicación del flujo intermitente en -

riego por surcos, por lo que algunos investigadores han pue-

to especial interés en determinar la relación entre el flujo-

intermitente y la fase de avance del agua. A la fecha, esta -

metodología en riego por surcos solo se ha desarrollado a ni-

vel experimental.

Algunas de las aseveraciones de las muchas que dan los -

investigadores sobre este tema son:

1.- Que la aplicación cíclica del agua en el riego superfi --

cial hace posible completar la fase de avance con menos -

agua que la requerida en la aplicación continua, incre --

mentándose así la eficiencia de aplicación y la uniformidad de distribución.

2.- La mayor rapidez del avance del agua con flujo intermitente puede ser debido en gran parte a los efectos que esta forma de aplicación del flujo tiene en el tirante hidráulico, rugosidad e infiltración.

3.- La reducción de la tasa de infiltración, es el principal resultado de la intermitencia y esta reducción toma lugar casi inmediatamente después del desalojo del agua de la superficie del suelo. (6)

Algunas de las causas de la reducción de la tasa de infiltración son:

Reorientación de partículas:

Cuando el agua se infiltra después de una intermitencia, las partículas de suelo se lubrican y pueden ser reorientadas horizontalmente en forma de placa, que reducirá gradualmente la infiltración en la sección húmeda del surco. (3)

La desintegración de los agregados del suelo, produce una capa superficial de conductividad hidráulica reducida y es probablemente la razón principal del porqué las tasas de infiltración invariablemente decrecen, siguiendo al primer riego después de la labranza.

Los mecanismos que provocan la reducción de la infiltración incluyen:

- La consolidación del suelo en el lecho del surco.

- El llenado de las grietas en el lecho del surco.
- Sellado del lecho del surco por los sedimentos finos que deposita el flujo en los poros grandes.
- La desintegración más completa de la partículas de suelo del perímetro mojado, por un humedecimiento más rápido. (6)

Tirante hidráulico:

Para cada intermitencia el tirante hidráulico será diferente tendiendo a disminuir, ya que la intermitencia que está ocurriendo en un momento dado modifica favorablemente las condiciones de rugosidad y humedad del suelo por donde fluirá la siguiente intermitencia y así sucesivamente. (5)

Aire atrapado:

Otro fenómeno es la aislación de poros grandes llenos de aire, después del rehumedecimiento de un suelo, lo cual obstruye el flujo de la fase líquida a través de estos poros que afectan significativamente la conductividad hidráulica del suelo. No se conoce como el aire atrapado cambia entre el humedecimiento inicial y el rehumedecimiento seguido del escurrimiento. El entrapamiento del agua en los poros del suelo reduce la infiltración bajo flujo intermitente, debido a diferencias en la conductividad y gradiente hidráulico cerca del frente y el frente de rehumedecimiento. (6)

Consolidación:

En pruebas de laboratorio, aplicando flujo intermitente en columnas de suelo, se observó que hubo un incremento en la densidad aparente y una disminución en la conductividad hi

dráulica saturada al aumentar la presión capilar durante el -
deshumedecimiento. También se observó que la nueva expansión-
con un rehumedecimiento ocurre a menudo en muestras con alto-
contenido en arcillas.

La consolidación es conocida como el aumento de tensión-
de presión del poro y en campo la consolidación ocurre en una
capa delgada de la superficie del suelo; relacionándose su --
espesor al grado de ruptura de los agregados en el rehumedec-
cimiento. Además de la estabilidad de los agregados, el alto-
porcentaje de arcillas hinchadas explica el porqué el riego -
intermitente es una ventaja en los suelos que se agrietan se-
veramente. (6)

Redistribución del agua:

Durante la infiltración, el gradiente hidráulico induce a
que ésta se reduzca gradualmente de un valor inicial relati-
vamente alto (por fuerzas capilares), hasta cerca de la uni-
dad.

Durante el tiempo de apagado del flujo intermitente, el-
contenido de humedad del suelo en la superficie, puede ser --
reducido. En el siguiente rehumedecimiento, el gradiente hi-
dráulico es al principio mayor que al final del ciclo de hu-
medecimiento previo y la conductividad puede ser reducida. --
Como la infiltración continúa, la ubicación del frente húmedo
tiene progresivamente más influencia en la tasa de infiltra-
ción. (6)

Se derivan algunas conclusiones generales sobre los es--

tudios de riego con flujo intermitente, estas conclusiones son:

La aplicación del flujo en forma intermitente modifica favorablemente las condiciones de rugosidad, tirante hidráulico e infiltración en el surco produciendo un avance rápido del agua .

El riego en surcos es un fenómeno complejo debido principalmente a la desuniformidad de la superficie del medio en el cual es transportada el agua (suelo). Con la aplicación del flujo intermitente se presenta otra complicación por los avances múltiples y efecto de humedecimiento y deshumedecimiento alternado en las características de infiltración del suelo.

Dada una misma longitud del surco, el agua llega al final del mismo en menor tiempo y utilizando menor volumen, cuando el riego es con flujo intermitente que cuando es con flujo continuo.

Reduciendo el volumen de agua requerida para completar el avance, la técnica del riego intermitente proporciona el potencial para incrementar la uniformidad en la distribución de la humedad y, por lo tanto, incrementa el uso efectivo del agua.

El efecto producido sobre el tiempo total de avance en un surco compactado, regado con flujo continuo y de un surco no compactado, regado con flujo intermitente, es similar, lo cual se debe a las condiciones de permeabilidad, específica

para cada caso.

Diversos investigadores han estudiado la eficiencia del riego intermitente y han encontrado que la eficiencia de aplicación aumenta usando el flujo intermitente, pero también han concluido que se pueden presentar altas cantidades de escurrimiento si la intermitencia no se maneja apropiadamente.

El tiempo total de avance en una serie de surcos es más uniforme cuando se riega con flujo intermitente y estos efectos son más notables durante el primer riego. (3) y (6)

3.4. Investigaciones y experimentos referentes a riego intermitente

Diferentes investigadores han observado la técnica de riego intermitente y se ha intentado optimizar el manejo de parámetros para cada surco. Los parámetros usados son: el tamaño del gasto en el surco, el número de intermitencia durante la fase de avance, la duración de las intermitencias con y sin flujo. La combinación óptima para permitir el mayor avance en el surco con el más pequeño volumen de agua y la mayor uniformidad en la distribución de la humedad a lo largo del surco.

A pesar de que el concepto de riego intermitente es relativamente nuevo, se han hecho numerosas investigaciones tanto a nivel de laboratorio como en el campo. A continuación se citan algunas de las más importantes:

1.- El Centro de Investigación, en el Norte de Colorado emprendió algunas pruebas con riego intermitente.

El sitio del experimento fué un campo de 500 m de largo, con una pendiente de 0.6 %, en un suelo migajón limoso .

Para los tres primeros riegos, el gasto instantáneo por surco fue de 1.9 lts/seg para riego continuo. Para flujo intermitente se usaron ciclos de 20 y 60 minutos. El flujo continuo avanzó casi dos veces más rápido que el flujo intermitente con un ciclo de 60 minutos, y algo más rápido que el

tratamiento con un tiempo de ciclo de 20 minutos.

Reduciendo el gasto de flujo continuo a 0.96 lts/seg, y manteniéndose la descarga intermitente en 1.9 lts/seg, el flujo intermitente con un tiempo de ciclo de 60 minutos, avanzó más rápido que el flujo continuo.

El riego intermitente pareció ser menos eficiente en el tratamiento con un tiempo de ciclo de 60 minutos, consecuentemente con poca diferencia entre el tratamiento con tiempo de ciclo de 20 minutos, y flujo continuo al mismo gasto promedio y bajo las mismas condiciones. (16)

2.- En un estudio realizado en el Intituto de Sonora, en un suelo arcilloso, se comparó el sistema de riego en surcos con flujo continuo con un sistema con flujo intermitente, con gastos instantáneos de aplicación iguales. Se concluyó que el tiempo transcurrido para lograr el avance a una distancia determinada es menor con flujo intermitente. También se concluyó que esta técnica como sistema de riego permite mayor eficiencia en el avance por tiempo, debido a que se puede estar regando dos o más secciones de riego con tratamientos que se complementen en sus tiempos con y sin flujo sin suspender el abastecimiento. Algo de gran interés, es que para lograr lo anterior se requiere de la automatización del sistema. (5)

3.- Una investigación con flujo intermitente en la Universidad del estado de Utah, se concentró en los experimentos-

de campo para medir las diferencias entre el riego por surcos convencional con flujo continuo, y el intermitente, con el mismo gasto promedio en el surco, encontrando diferencias notables que favorecen el riego intermitente.

No se determinó si las diferencias observadas fueron provocadas por el flujo intermitente o resultaron como efecto de gastos instantáneos intermitentes más altos. Los resultados de campo indicaron que en intermitencias iguales, con gastos instantáneos más bajos, el tiempo de avance fue también menor. La variabilidad en el volumen de agua requerida para completar el avance fue sustancialmente más baja con flujo intermitente el cual requirió de 14 % a 47 % menos de agua. (16)

4.- Se realizaron estudios para optimizar el manejo de riego intermitente con datos obtenidos durante dos años en un suelo migajón arcillo limoso, con una pendiente de 0.006. Los objetivos fueron: (1) simular y estudiar matemáticamente los resultados del riego intermitente, en un campo hipotético para determinar el número óptimo de intermitencias necesarias para completar la fase de avance del riego. Los criterios usados para determinar el tratamiento ideal fueron, la uniformidad de distribución, el tiempo para recorrer la longitud total y el volumen de agua aplicado; (2) presentar un procedimiento por medio del cual un modelo de simulación por computadora y datos de campo pueden ser usados para determinar

cuales son las mejores opciones de manejo para un suelo en particular.

Con los resultados obtenidos se demostró que los riegos intermitentes pueden manejarse mejor, aplicando el riego en dos partes, la fase de avance y la fase de postavance, para completar la fase de avance. Se recomienda usar el gasto máximo no erosivo. Se continúa la fase de avance con una tasa de aplicación continua tal, que reduzca el escurrimiento mientras se satisfacen los requerimientos hidricos.

También caracterizaron el desarrollo de la infiltración bajo flujo intermitente. El tipo de suelo de donde se tomaron los datos fue un migajón arcillo arenoso con capas de arcilla compactada y arcillas con gravas. Las pruebas de avance se tomaron a intervalos de 25 m de longitud. Las pruebas de infiltración se condujeron en un surco infiltrómetro bloqueado, tanto para riego intermitente como para continuo.

Con los resultados obtenidos concluyeron que para lograr el avance se requiere menos tiempo en el riego intermitente que en aquellos riegos continuos, usando un gasto instantáneo igual, notándose un avance acelerado en un surco compactado que en un surco no compactado, requiriéndose para el primero solo el 28 %, cuando mucho, del agua aplicada para un riego en surcos no compactados.

Una de las características de riego intermitente es que durante el tiempo sin flujo, el avance continúa campo abajo, simultáneamente con la recesión aguas arriba. El avance ocu-

re progresivamente en láminas de flujo menores que aquellas que habrían ocurrido con el flujo que ha continuado. Láminas de flujo menores corresponden a perímetros mojados más pequeños y con menos carga de agua, resultando en una reducción de la infiltración. Durante el nuevo ciclo de humedecimiento, la infiltración ha sido aparentemente reducida por el primer ciclo de humedecimiento y deshumedecimiento. Consecuentemente resultan durante la segunda intermitencialáminas de flujo y perímetros mojados más grandes. Lo anterior implica que la infiltración en cualquier punto de esta parte del surco, es una combinación de la tasa de infiltración grandemente reducida que ocurre a través de la sección transversal del surco previamente humedecida y la tasa de infiltración que ocurre en la parte más alta del lomo del surco, que da por resultado un incremento en el perímetro mojado.

Se concluyó que ocurren tres fases de infiltración distintas bajo el manejo de flujo intermitente, estas fases son:

- a).- Infiltración dentro de un surco inicialmente seco.
- b).- Infiltración dentro de un surco previamente humedecido.
- c).- Un régimen de transición en la infiltración causada por el incremento en el perímetro mojado, que ocurre después del primer humedecimiento de una sección del surco. (10)

5.- El Centro de Investigación y Extensión de Agricultura de Riego de la Universidad del Estado de Washington, realizó un experimento en una plantación de cebada, con una longitud-

de surco de 200 m. con una pendiente general de 6%. Los tratamientos intermitentes fueron comparados con tratamientos de flujo continuo con el mismo gasto instantáneo de entrada. Las pruebas fueron hechas en surcos compactados y en no compactados. El avance pareció ser independiente de los tiempos de ciclos dados los cuales indicaron que el mismo tiempo de avance podría lograrse con la mitad del volumen de agua, bajo el flujo intermitente en pendientes pronunciadas. No se logró completar el avance hasta el extremo del surco, pero en comparación con el flujo continuo, el flujo intermitente avanzó de 10 a 20 metros más. (16)

3.5. Equipo usado para el manejo de riego intermitente

Un sistema intermitente es una herramienta para manejar el agua fácilmente, de fácil instalación y operación. Es usualmente apropiado donde existen surcos o cultivos en hileras con tuberías de conducción en los hidrantes u otro sistema de abastecimiento de agua a baja presión. Los mecanismos son simples.

Las válvulas intermitentes están diseñadas para interrumpir el flujo de agua delante y atrás entre dos arreglos de surcos. El agua correrá alternadamente en cada arreglo en distintos intervalos de tiempo hasta completar el riego.

La técnica de riego por descargas intermitentes se empezó propagar en los Estados Unidos en regiones donde abundaba la tubería de compuerta y donde el recurso era escaso y el costo elevado. En base a esto, el equipo que se desarrolló era compatible con la tubería de compuertas. Hoy en día, la técnica es usada en melgas además de surcos y por igual entre agricultores con agua abundante y agricultores con escasés de este recurso. (18)

3.5.1. Sistemas intermitentes automáticos

El dispositivo principal de los equipos automáticos usados en el riego intermitente, son las válvulas que se encargan de la distribución del agua a los distintos arreglos de surcos.

La cantidad de superficie que una válvula puede regar, depende de la cantidad de agua de riego disponible, qué tan menudo son los riegos y cuanto deseamos que la válvula esté funcionando.

El riego intermitente es adecuado para un campo de forma irregular, variando el volumen de compuertas en cada lado de la válvula. El objetivo del ciclado de cerrado y abierto es principalmente para aplicar el agua rápidamente y de manera uniforme. Entonces el agua es aplicada con ciclos más cortos para controlar el escurrimiento. El riego se completa cuando la lámina de penetración deseada es alcanzada.

La precisa regulación de cada uno de los ciclos de intermitencia tiene un efecto importante y constante. El agua avanza tan rápidamente como uniformemente, puede haber mucha percolación o escurrimiento en el suelo, puede haber fugas de agua, la infiltración es más lenta, etc.

Para hacer eficiente la intermitencia es esencial controlar el escurrimiento. El control depende de alguna manera del corte una vez que es humedecida la longitud completa del surco. Un método es reducir el gasto por entrada, dejando pasar el agua a ambos lados de la válvula a la vez. No se recomienda cortar el flujo por intermitencias porque puede desajustar las gargantas en las compuertas, el resultado es un flujo no uniforme con casi toda el agua corriendo a través de las compuertas cercanas a la válvula si el suelo está nivelado o a través de las compuertas del extremo inferior si el

suelo no está nivelado.

Cuando menos algunas de las compuertas restantes pueden tener tales flujos bajos de manera que el agua nunca alcanza el extremo del campo. El método más efectivo del corte de la intermitencia es reducir el tiempo de flujo con un ciclo simple y uniforme o ciclos variables y decrecientes.

Si la infiltración es muy lenta, los tiempos de corte de crecientes pueden prevenir que el agua receda completamente entre los impulsos y reduzca dramáticamente el escurrimiento.

3.5.2. Tipos de válvulas para el manejo de riego intermitente

Los sistemas auto-pro y el auto-cut son algunos de los sistemas intermitentes automáticos más avanzados y cuentan con: a) programa automático para cambiar los ciclos de tiempo con proporciones de avance, b) batería solar y c) el control desmontable. (18)

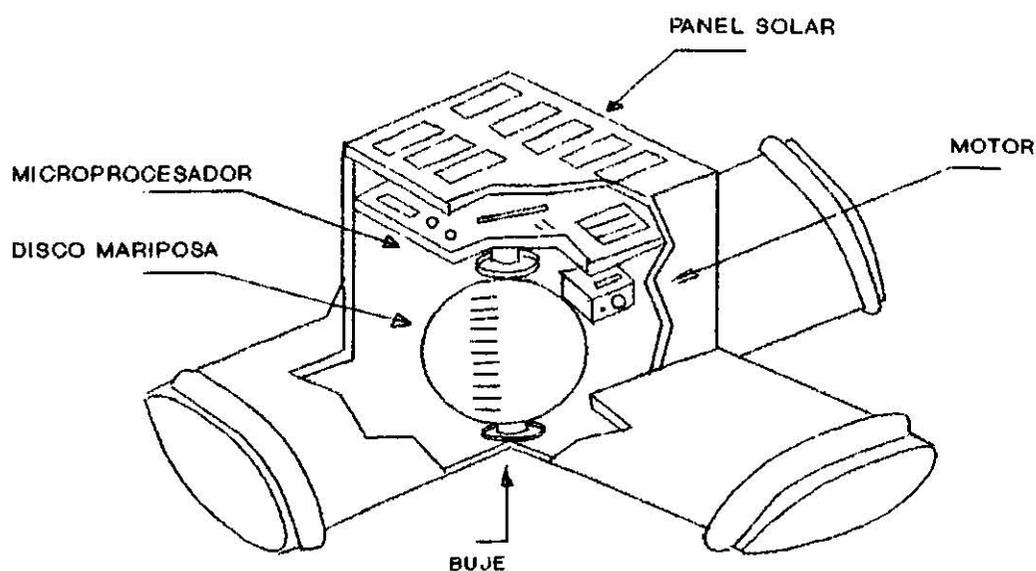


Figura 3. Perspectiva de una válvula intermitente automática

Otras características de estos sistemas son:

- Construcción resistente para minerales y sales químicas.
- Disco manual con interrupción para repartir el agua.
- Los cambios de flujo se accionan silenciosamente.
- Se pueden manejar altos volúmenes.
- Presiones moderadas.
- No se crean presiones negativas.
- No hay restricciones en el flujo.
- Programación automática: tiempos de corte cambiables
- Tiempos variables: incrementos y decrementos
- Capacidad de autocorrección del programa.
- Programación opcional manual para varios tiempos consecutivos.
- Demanda de energía extremadamente baja para los controles de corriente y motor.
- Panel solar de alta eficiencia.
- Libre mantenimiento interno.
- Batería y sistema para la desconexión de la misma.
- Motor sellado, con activación de cambio de tiempo para prevenir atascamientos, sobrecargas, apagados, etc.
- Controles cambiables, con cambio rápido.

3.5.3. Otros tipos de válvulas

Otros tipos de válvulas automáticas para el manejo de -- los sistemas de riego intermitente son, ya sea válvulas operadas por agua o aire, o válvulas mecánicas, (figura 4). (17)

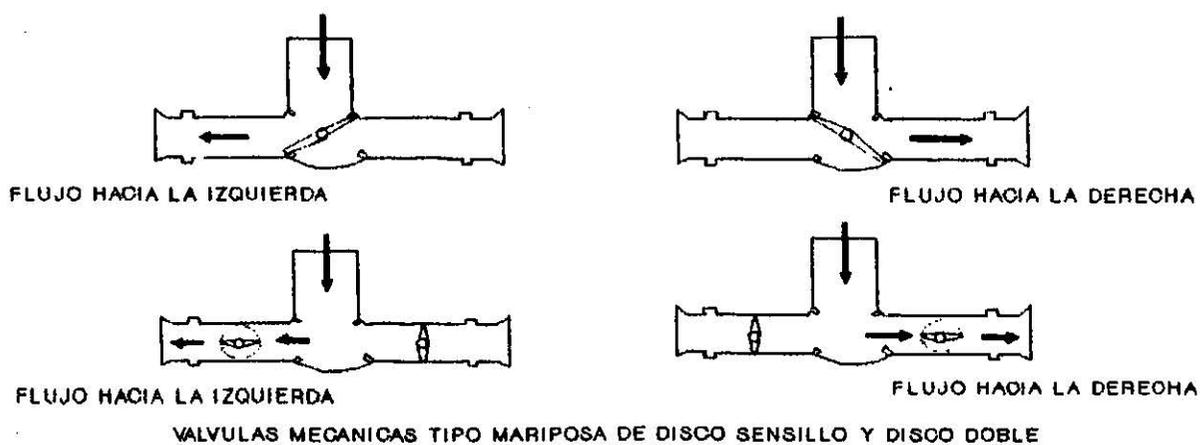
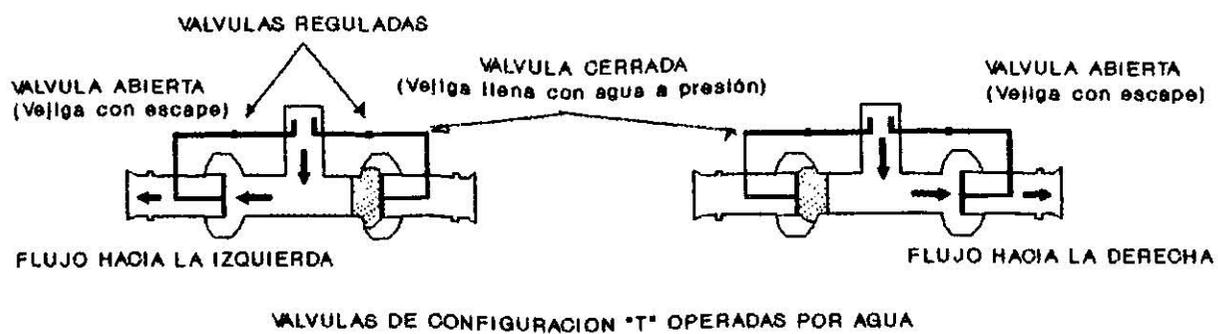


Figura 4. Válvulas mecánicas tipo mariposa de disco sencillo y disco doble.

3.5.4. Equipo intermitente por cablegación

La cablegación es un sistema relativamente nuevo. Usa una tubería de mayor tamaño ubicada con una pendiente precisa, de tal forma que el agua fluye hacia abajo de las salidas de la tubería. Un tapón en movimiento insertado en la tubería y sujeto a un cable, revisa el flujo de agua y provoca que fluya desde las salidas. En el sistema de cable modificado para lograr el flujo intermitente, el impulso puede completarse -- por el movimiento del tapón que rápidamente cruza el campo -- varias veces. (17)

SECCIONES TRANSVERSALES DE LA TUBERIA MOSTRANDO
LOS NIVELES DE AGUA, AGUAS ARRIBA DEL TAPON

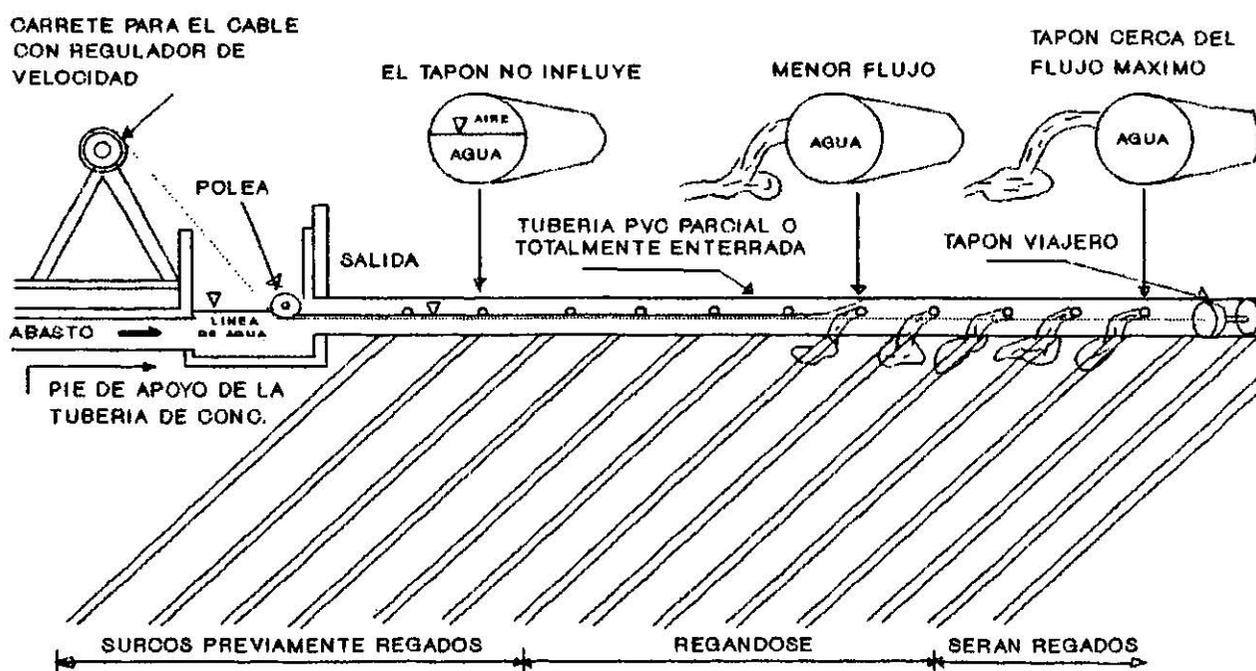


Figura 5. Esquema del sistema por cablegación, que usa un tapón viajero en el interior de la tubería.

El equipo principal para este sistema incluye tubería -- con salidas ajustables, tapón viajero, cable y un mecanismo -- para controlar la velocidad del tapón. Los cables son de polipropileno de 3 a 6 mm de diámetro, (figura 5).

3.5.5. Sistema de canales abiertos

Este sistema cuenta con una serie de bahías a nivel, en un dique revestido de concreto, con salidas de la tubería hacia los surcos individuales. Una compuerta automática check -- está ubicada entre dos bahías consecutivas, que en forma alterna suelta el agua hacia las bahías aguas abajo y revisa el flujo en las bahías aguas arriba para el riego intermitente, (figura 6). (17)

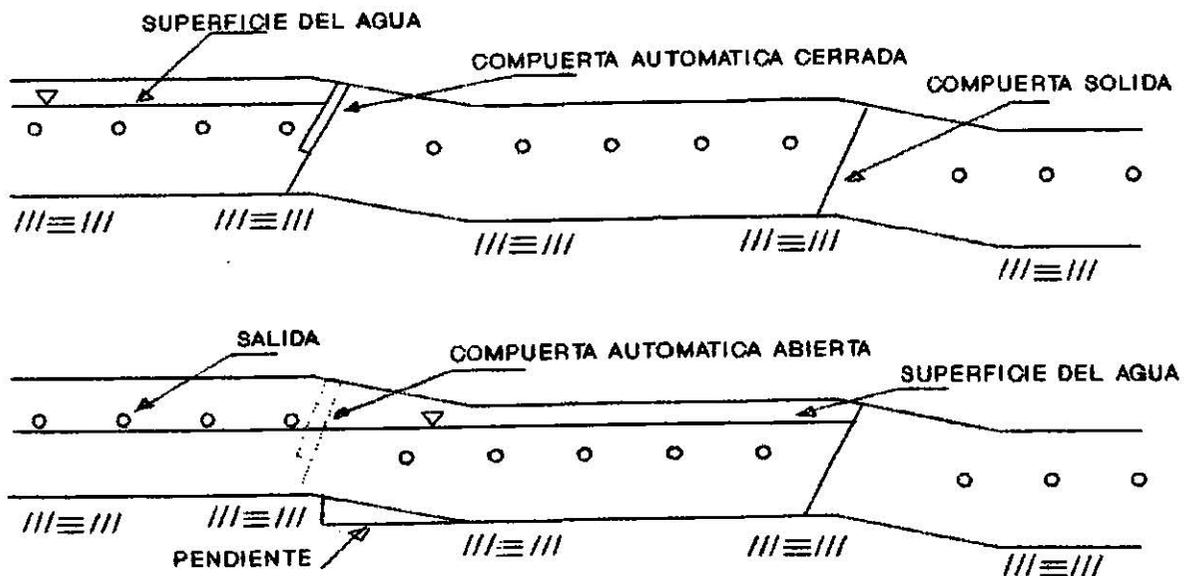


Figura 6. Sistema de surcos de canal abierto con un sifón dosificador.

Para este sistema se usa un sifón dosificador y una compuerta de caída automática, que acumula y suelta automáticamente el agua, en pequeños gastos dentro de melgas y bordos, (figura 7).

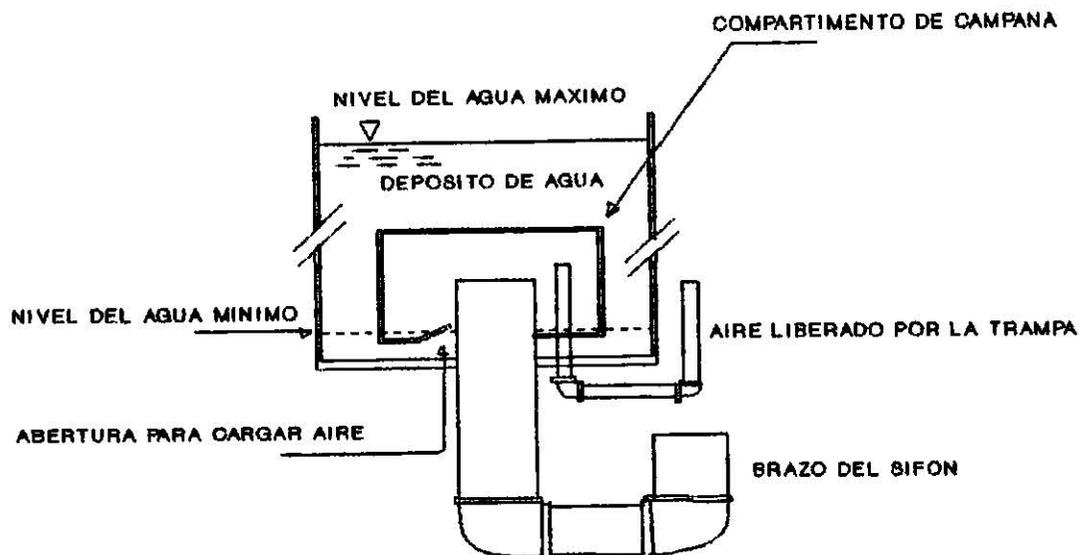


Figura 7. Esquema de un sifón dosificador

3.5.6. Sistema de tubería con compuertas de arreglo ranurado.

Estos sistemas usan un diseño convencional de compuertas en un arreglo ranurado para distribuir el agua en surcos individuales. La tubería de compuertas para un arreglo de intermitencias está dividida en dos bloques de surcos de ancho igual, con una válvula automática para intermitencia entre los dos bloques en el centro de la línea de la tubería. La válvula tiene una configuración "T" y el flujo de agua es desviado alternadamente de una sección de la tubería a otra, (figura 8). (17)

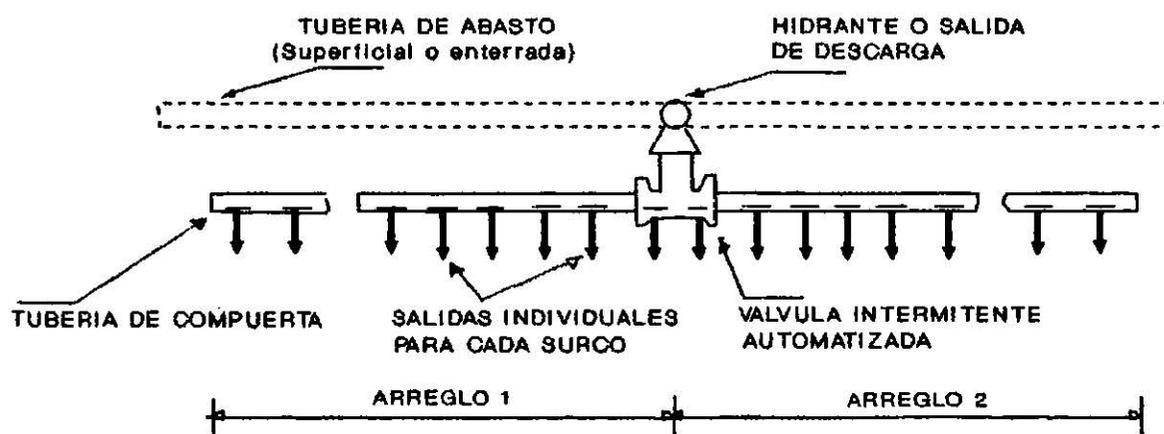


Figura 8. Diagrama del sistema de tubería de compuertas con arreglo ranurado.

3.5.7. Sistemas de tubería sencilla

Estos sistemas usan una línea de tubería tanto para abastecer como para conducir el agua entre los arreglos y para distribuir el agua a través de las salidas de la tubería para los surcos en forma individual, (figura 9). (17)

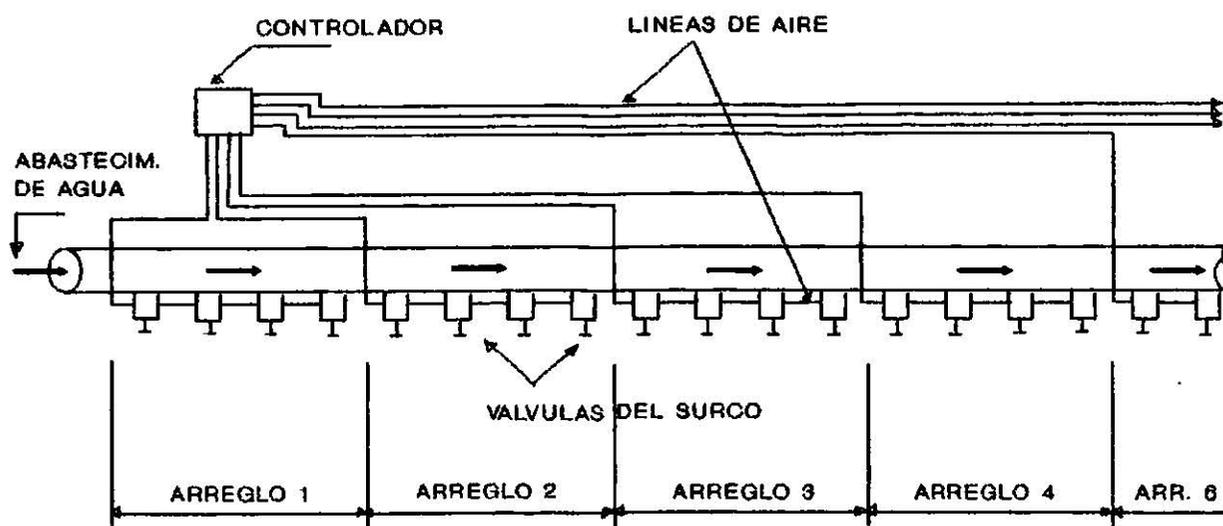


Figura 9. Esquema del sistema intermitente con válvulas de un solo surco y líneas simples de abasto de agua.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del área donde se realizó el experimento

El área donde se llevó a cabo el experimento se encuentra en los terrenos del Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la U. A. N. L., localizada en el Km 17 de la carretera Zuazua-Marín y con coordenadas geográficas de 25° 53' latitud norte y 100° 03' longitud oeste y con una altura de 365 metros sobre el nivel medio del mar.

4.2. Reconocimiento de campo

Se realizó un reconocimiento de campo en los terrenos de la Facultad de Agronomía de la U.A.N.L., para seleccionar el área de prueba, la cual debería tener las siguientes características:

- a).- Tener acceso cercano y directo a un pozo hidráulico en explotación, o algún almacenamiento de agua, que permitiera regular el gasto óptimo para las pruebas, inmediatamente a un lado del área de estudio.
- b).- Que el terreno tuviera un pendiente dentro del rango permisible para el uso del riego por gravedad y sobre todo que esta pendiente fuera regular a lo largo de todo el terreno.
- c).- Que las características edafológicas del suelo en el área de prueba fueran acordes a las restricciones del uso de esta técnica de riego, ya que funciona mejor en suelos de

textura fina.

4.3. Descripción del área de estudio

4.3.1. Clima

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen, modificada para la República Mexicana por García, E., el municipio de Marín, N. León se encuentra bajo la influencia de dos subtipos climáticos; B_{s0} y B_{s1}, los cuales corresponden al grupo de climas secos o estepáricos.

Según datos estadísticos de los últimos 5 Años de la estación meteorológica del Departamento de Meteorología y Climatología de la F.A.U.A.N.L., las temperaturas medias mensuales para la región oscilan en 16.66 °C, habiéndose presentado la más baja en enero con un valor de 13.2 °C y la más alta en julio con 29.86 °C. Las temperaturas máximas absolutas oscilan en 15.2 °C con una mínima de 23 °C en enero y la más alta en julio y agosto con un valor de 38.2 °C. En cuanto a temperaturas mínimas extremas se presentó en enero la más baja con un valor de 2.5 °C y en agosto la más alta con un valor de 22.3 °C.

La precipitación media anual es de 520.53 mm y el periodo de lluvias se presenta en los meses de mayo, agosto y septiembre.

La evaporación anual máxima que se ha presentado es de 1992.5 mm y la media anual es de 1992.5 mm.

4.3.2. Suelo

En un estudio agrológico realizado anteriormente en el área de estudio, (2), se determinaron las siguientes características del suelo:

Textura: arcilloso desde el nivel del suelo hasta 1.20 m de profundidad.

Reacción (pH): 8.4

Densidad aparente: 0 - 30 cm = 1.27

30 - 60 cm = 1.42

60 - 90 cm = 1.50

Grado de humedad a CC y PMP:	PROF.	CC	PMP
	0 - 30	23.81	10.36
	30 - 60	25.28	11.48
	60 - 90	25.38	12.15

Grado de salinidad: normal

Presencia de piedra: escasa 0-3 %

Profundidad efectiva del suelo: 40 cm

Clasificación agrícola: C3

4.4. Material utilizado

Tractor, rastra y surcador	Palas, azadones
Cintas métricas	Nivel, tripié y estadal
Cronómetros	Tubos PVC de 2" de diámetro
Barrenas veihmeyer y Uhland	Aforadores parshall (2")
Frascos para muestras	Balanza analítica
Reglas graduadas	Plásticos (1.5 m x 1.5 m)
Estacas de madera	

4.5. Labores previas al experimento

4.5.1. Preparación del terreno

Se realizó un barbecho, un rastreo y el surcado, así como el trazo de canales y desagües, con un reforzamiento de bordos y nivelación de la plantilla en los canales de operación.

4.5.2. Levantamiento topográfico

Después del trazo de los surcos, se procedió a hacer un levantamiento topográfico de nivelación diferencial de cada uno de los surcos contemplados para la prueba.

Se trazaron gráficamente, en papel milimétrico, cada uno de los perfiles levantados, con el propósito de seleccionar aquellos surcos que no tuvieran contrapendientes, para que éstas no afectaran las pruebas de avance al efectuar la aplicación del riego.

4.5.3. Distribución de tratamientos y acondicionamiento del área

Una vez seleccionados los surcos que serían usados para la prueba, se hizo una interselección entre ellos para distribuir los tratamientos de tal manera que quedaran juntos y lo más próximos posibles entre cada uno. Lo anterior con el propósito de hacer dos pruebas a la vez, teniendo en cuenta que el método de riego intermitente permite un uso alternado del agua (con flujo y sin flujo), con lo cual se haría un uso seguido del agua sin tener la necesidad de cortar el flujo para cada prueba desde compuerta de calibración.

Para facilitar el manejo de los surcos al hacer las pruebas se enumeraron en números progresivos todos los surcos y se estacaron a intervalos de 10 metros en sentido longitudinal para facilitar las lecturas al momento de hacer las pruebas, (figuras 10 y 11).

4.5.4 Instalación del equipo

Para la instalación del equipo se tuvo cuidado de varios detalles como:

a).- Los canales de operación deben tener una plantilla regular y nivelada, para evitar retrocesos del agua.

También deben estar contruidos de una dimensión adecuada para permitir un buen manejo del agua en cuanto a la carga a aplicar y que además haya un libre bordo amplio para evitar derrames.

b).- Los tubos de descarga del gasto a los surcos deben estar alineados para que descarguen a la misma distancia dentro del surco. También deberán estar suficientemente descubiertos la entrada y a la salida para evitar taponeamientos al aplicar el gasto.

Todos los tubos deberán estar a la misma altura o elevación a la entrada y salida del mismo formando un ángulo de 180° lo cual se logra mediante el uso del nivel topográfico, - esto es muy importante, ya que en la prueba se usó el mismo gasto en todos los tratamientos, por lo cual es imperativo usar la misma carga en todos los surcos y con esto se facilita práctica.

En cuanto a la instalación de los aforadores para la prueba de infiltración, se instaló un primer aforador a la entrada del surco, inmediatamente después del tubo de descarga y otro a 30 m del primero, medidos a la salida del primer aforador y a la entrada del segundo. (figura 11)

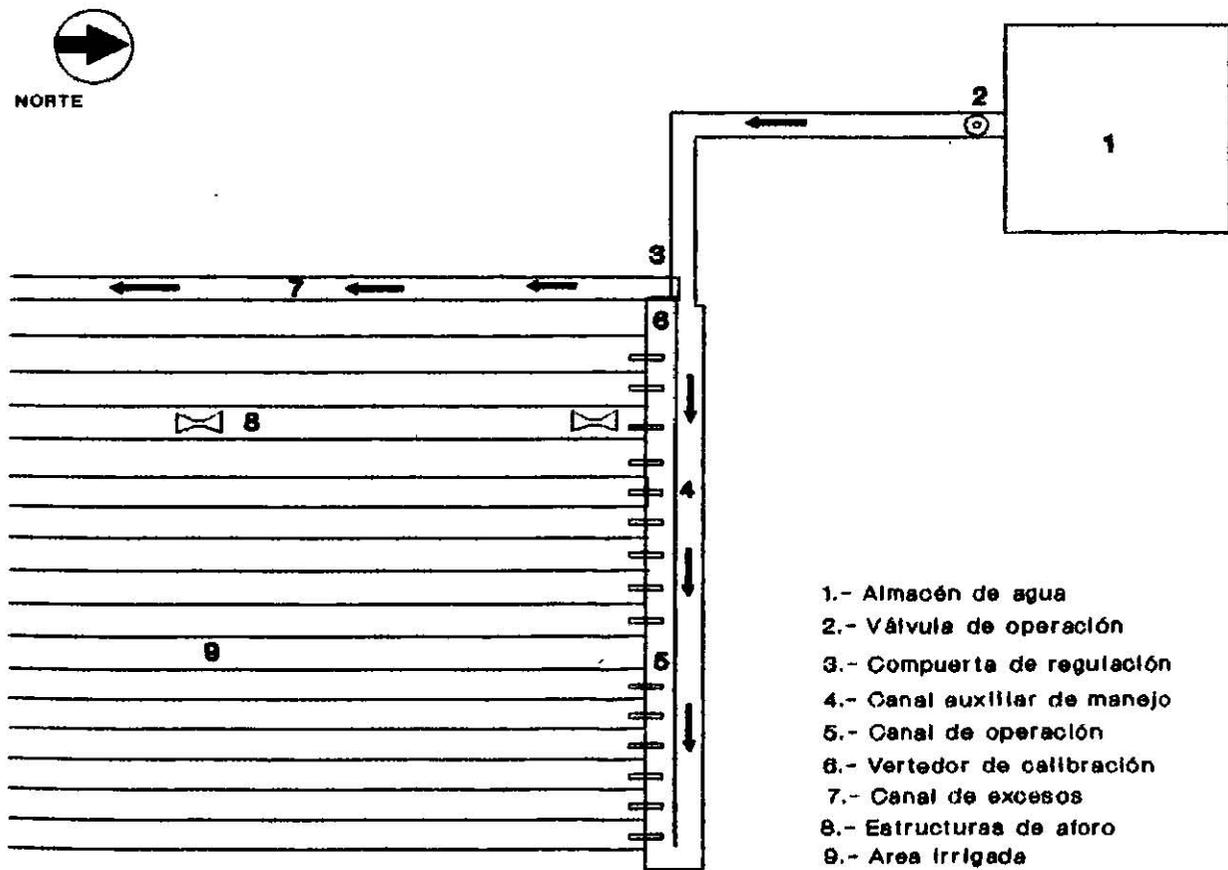
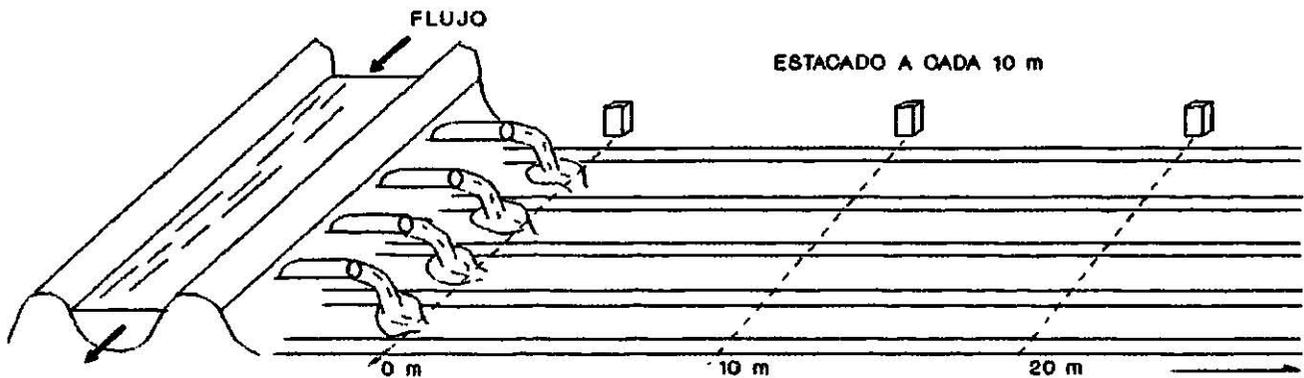


Figura 10. Distribución general del equipo.



PERSPECTIVA

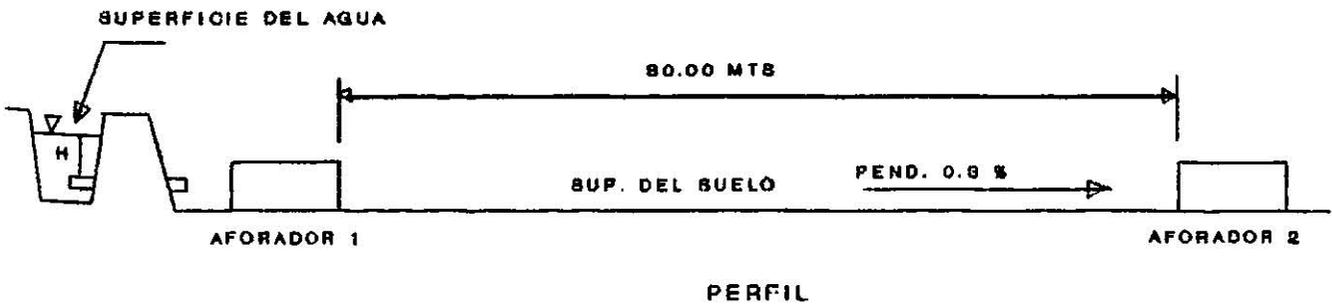
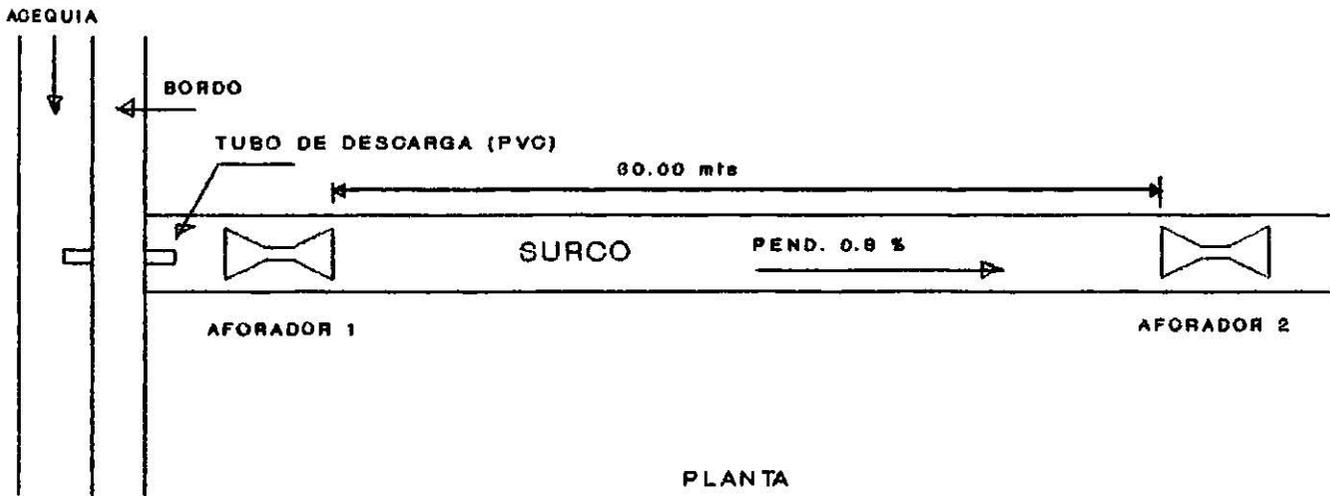


Figura 11. Detalle de instalación del equipo

4.6. Determinación del gasto a aplicar

Con los datos del levantamiento topográfico mencionado -- anteriormente, se procedió a determinar la pendiente media -- de cada surco.

La pendiente se calculó usando el método de mínimos cuadrados cuya fórmula es:

$$S = \frac{\frac{\sum Dh - \frac{(\sum D)(\sum h)}{N}}{\sum D^2 - \frac{(\sum D)^2}{N}}}{\dots\dots\dots} \quad (16)$$

Donde:

S = Pendiente promedio del surco en %.

D = Distancia normal desde la estación inicial del surco hasta la estación que se considere.

h = Cota de campo en la estación considerada.

N = Número de estaciones en el perfil

Entonces se procedió al cálculo teórico del gasto máximo que se puede aplicar a los surcos sin que haya efectos de erosión, usando la fórmula:

$$Q \text{ máx} = \frac{0.60}{S} \quad \dots\dots\dots (17)$$

Donde: Q máx = Gasto máximo que se puede aplicar al -- surco sin que exista erosión (lts/seg)

S = Pendiente media del terreno (en %)

0.60 = constante

En campo, de manera práctica, el gasto aplicado se mide--

indirectamente con la carga de agua aplicada.

Como en el experimento, las estructuras de entrada del flujo a los surcos fueron tubos de PVC funcionando a descarga libre, entonces es necesario anteponer un coeficiente de gasto a la fórmula general, quedando:

$$Q = A \cdot V \dots\dots\dots(18)$$

$$Q = 0.80 A \cdot V \dots\dots\dots(19)$$

$$Q = 0.80 (\pi r^2) (\sqrt{2gH}) \dots\dots\dots(20)$$

Donde: A = Area del tubo de descarga (m²)

V = Velocidad de salida del flujo (m/seg)

0.8 = Coeficiente de gasto

Relacionando carga a aplicar y diámetro de tubería a usar para no excederse en ninguno de los dos, se optó por usar tubería de 2" de diámetro y con una carga adecuada se aplicó un gasto óptimo, que no provocara erosión.

4.7. Tratamientos y repeticiones

Los tratamientos de flujo intermitente que se aplicarían se seleccionaron en base al uso de surcos de 100 m de longitud. Esta longitud fue seleccionada como óptima en el riego por gravedad, según varios autores.

En pruebas previas se había tenido la experiencia que usando ciertos tiempos intermitentes, solamente se tenía la oportunidad de aplicar una o dos intermitencias, lo cual no es adecuado por su semejanza con el flujo continuo, por lo que se tomaron los siguientes tratamientos.

CUADRO 1. TRATAMIENTOS APLICADOS EN EL EXPERIMENTO

Tratamiento	Tiempo (minutos)	
	Con flujo	Sin flujo
1	3	3
2	5	5
3	7	7
4	Flujo continuo	

Para cada tratamiento se aplicaron tres repeticiones y su respectiva prueba de infiltración.

4.8. Operación del sistema

Para el abastecimiento de agua se contó con una pila de almacenamiento y un sistema de bombeo para abastecer el agua a la pila desde la presa "la juventud", ubicada en terrenos de la Facultad de Agronomía de la U.A.N.L.

El control del gasto en los canales de conducción se manejó por medio de una válvula reguladora ubicada a la salida de la pila de almacenamiento y por una compuerta de regulación que da acceso al canal auxiliar de manejo y al canal de excesos. Con esto, se mantuvo una carga constante durante la aplicación de cada tratamiento.

Al final del canal de operación se instaló un vertedor trapezoidal con una altura de cresta tal, que permitiera mantener la carga constante en los tubos.

El gasto requerido para los tratamientos fue aplicado por medio de tubos de 2" de diámetro y 1.20 m de longitud,

actuando a descarga libre. Para el control de las intermitencias se operó manualmente, por falta de material adecuado. Se aplicó un control cronométrico para operar las intermitencias y hacer las mediciones respectivas de avance y recesión, así como en la prueba de infiltración.

En cuanto a los surcos seleccionados para las pruebas de infiltración, se colocaron los aforadores sobre la plantilla del surco y se cubrió con plástico el tramo entre el primer aforador y la salida del agua del tubo, para evitar erosión y filtración fuera del área experimental.

4.9. Aplicación del experimento

4.9.1. Determinación del contenido de humedad del suelo antes del riego

El contenido de humedad del suelo antes del riego se determinó por medio del método gravimétrico, muestreando con la barrena vehimeyer a 30, 60 y 90 cm de profundidad.

Se muestreó en dos surcos representativos para cada tratamiento aplicado, dividiéndose el surco en 4 secciones iguales y muestreando al centro de cada sección, por lo que se obtuvieron 24 muestras de cada tratamiento.

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{PSH} - \text{PSS}}{\text{PSS}} 100 \dots\dots (12)$$

Donde:

PSH = Peso del suelo húmedo (gr)

PSS = Peso del suelo seco (gr)

4.9.2. Determinación del contenido de humedad del suelo después del riego

Se muestreó el suelo cuando éste alcanzó su capacidad de campo a profundidades de 30, 60 y 90 cm y al centro de cada una de las cuatro secciones en que se dividió el surco. Para su determinación se usó el método descrito en el punto anterior.

4.9.3. Pruebas de riego para flujo continuo

Se aplicó el agua a los surcos respectivos y se registraron las siguientes lecturas:

- a).- Tiempo de avance de una estación a la otra: Se registró el tiempo que tardó el agua en llegar de una estación a la siguiente (cada 10 mts).
- b).- Tiempo de recesión: Se registró el tiempo en que se infiltró el agua acumulada en la superficie del surco, en el 80 % del intervalo medido para cada estación.
- c).- Perímetro mojado: se midió el perímetro mojado en el surco a diferentes distancias en él conforme avanzó el agua.

Con los datos tomados se construyeron las curvas de avance y recesión y se determinó el tiempo de oportunidad de infiltración.

$$T_{op} = T_{av} - T_{rs} \dots\dots\dots(22)$$

Donde: T_{op} = Tiempo de oportunidad de infiltración (min)

T_{av} = Tiempo de avance (min)

T_{rs} = Tiempo de recesión (min)

4.9.4 Pruebas de riego para flujo intermitente

Se aplicó el agua de igual manera que para flujo continuo y aplicando la misma carga a todos los tratamientos y sus respectivas repeticiones.

Se registraron las siguientes lecturas:

1.- Para la primera intermitencia

- a).- Se midió la distancia que alcanzó el agua en la mitad -- del tiempo dado para cada intermitencia.
- b).- Se midió la distancia que alcanzó el agua al completar - la intermitencia o tiempo de corte.
- c).- Se midió la distancia máxima avanzada en donde el agua - se detiene (colec).

2.- Para las siguientes intermitencias

Hasta completar el avance a los 100 metros, se tomaron - las siguientes lecturas:

- a).- Se midió el tiempo que tardó el agua en avanzar la dis-- tancia seca del surco hasta donde se cortó el agua --- (tiempo de flujo).
- b).- Se midió la distancia que avanzó el agua hasta el tiempo de corte.
- c).- Se midió la distancia máxima avanzada por el agua (co -- leo).
- d).- Se registró el tiempo de recesión al igual que para flu-- jo continuo, en cada estación.
- e).- También se registraron los perímetros mojados respecti-- vos para cada surco de prueba.

Con los datos obtenidos, para el método de riego con --- flujo intermitente, se determinó su eficiencia de aplicación, su uniformidad de distribución y su eficiencia de almacena -- miento, los cuales son los parámetros principales que es ne-- cesario determinar para realizar la evaluación de cualquier - sistema de riego.

Eficiencia de aplicación (Ea): Es el valor de la lámina de agua de riego promedio infiltrada y almacenada en la zona radicular en relación a la lámina de riego aplicada.

$$Ea = \frac{\text{Lámina de riego infiltrada y almacenada en la zona radicular}}{\text{Lámina de riego promedio aplicada}} \dots (23)$$

Eficiencia de aplicación del cuarto inferior: Es defi-- nida como el valor promedio de la lámina de riego infiltrada en el cuarto inferior en relación a la lámina de riego prome-- dio infiltrada.

$$Ea_{1/4 \text{ inf}} = \frac{\text{Lámina de riego promedio sobre el cuarto inferior}}{\text{Lámina de riego promedio infiltrada sobre el surco}} \dots (24)$$

Uniformidad de distribución (UD): Se calculó usando el coeficiente de uniformidad de Christiansen.

$$UC = 100 \left[1 - \frac{\text{desviación prom. de la lámina media infiltrada}}{\text{lámina promedio infiltrada}} \right] \dots (25)$$

Eficiencia de almacenamiento (Es): Es el valor de la -- lámina promedio almacenada en la zona radicular en relación--

a la lámina de agua promedio requerida.

$$Es = \frac{\text{lámina de agua almac. en la zona radicular}}{\text{lámina de agua requerida}} \dots (26)$$

4.9.5. Pruebas de Infiltración

Es frecuente que se deseen realizar mediciones de la infiltración por surcos para fines de evaluación de un método de riego por gravedad. Cridle dió a conocer en 1950 procedimientos para realizar ésto. Su método consistía simplemente en medir el gasto en la cabecera y en el extremo de un surco y la diferencia entre estos gastos indicaba la infiltración.

Para este experimento se usó el método de medida de los gastos a la entrada y a la salida del surco.

El procedimiento para escoger el sitio de prueba fue el siguiente:

- a).- Se seleccionó un sitio representativo del surco de prueba. El sitio seleccionado no debía tener diferencias notables en el suelo a todo lo largo del surco en estudio. Los surcos debían tener una sección transversal constante y uniforme.
- b).- Como las pruebas son repetidas, en la evaluación de las características de infiltración, todos los surcos tuvieron aproximadamente la misma forma.

Control del gasto:

- a).- Para determinar la velocidad de infiltración de los gastos de entrada y gastos de salida, el gasto de entrada -

permaneció constante durante toda la prueba en el caso de ---
flujo continuo.

b).- Las intermitencias del gasto de entrada para los trata--
mientos de flujo intermitente fueron controladas manual--
mente, lo cual facilitó la operación.

c).- Se determinó el abastecimiento de agua requerido. El ---
gasto máximo de agua en cada surco fue el gasto mayor --
que no produjera erosión.

Instalación de aforadores:

Se instalaron los dispositivos aforadores (parshall de -
50 mm de garganta) a la entrada y a la salida de los surcos -
checando que funcionaran a descarga libre.

Mediciones hechas:

a).- Se tomaron muestras de suelo para determinar el conteni--
do de humedad de éste, procurando que las pruebas fueran
hechas cuando las condiciones de humedad en el suelo indica--
ran la necesidad de un riego.

b).- Se determinó la longitud exacta entre las estructuras de
aforo, midiendo desde la salida del primer aforador y la
entrada al segundo aforador.

c).- Se registró el tiempo cuando el gasto llegó al primer a--
forador y cuando llegó al segundo aforador.

d).- Se registraron las cargas de entrada y salida en los a--
foradores para cada tiempo dado.

e).- Se determinó el perimetro mojado de los surcos de prue--
ba.

f).- Con los datos tomados se hicieron los cálculos respectivos de velocidad de infiltración, coeficiente de infiltración básico, volumen aplicado, etc.

V. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1. Resultados de las pruebas

Dentro de los resultados iniciales de este trabajo se -- obtuvo el perfil superficial general de la plantilla de los -- surcos, el cual se muestra en la figura 13. También se obtuvo el perfil transversal de los surcos, mostrado en la figura 12 con sus respectivas dimensiones.

Júntamente con estos trabajos, se determinó la pendiente promedio general de la plantilla de los surcos, aplicando el método descrito, resultando ésta en 0.3 %.

El gasto máximo no erosivo calculado según la ecuación -- (17) fue de 2 litros por segundo. Aplicando este gasto y u -- sando la tubería de descarga a los surcos de 2" de diámetro, -- la carga hidráulica aplicada en las pruebas de riego fue de -- 10-10.5 cm.

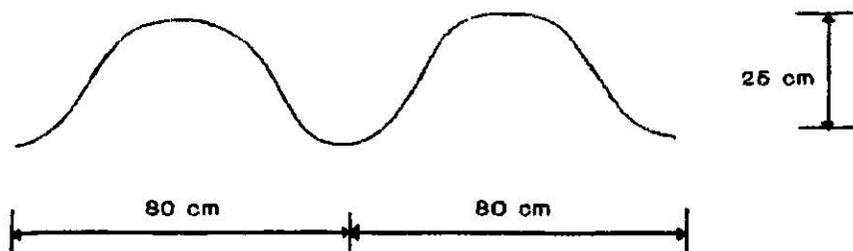


Figura 12. Dimensiones de los surcos

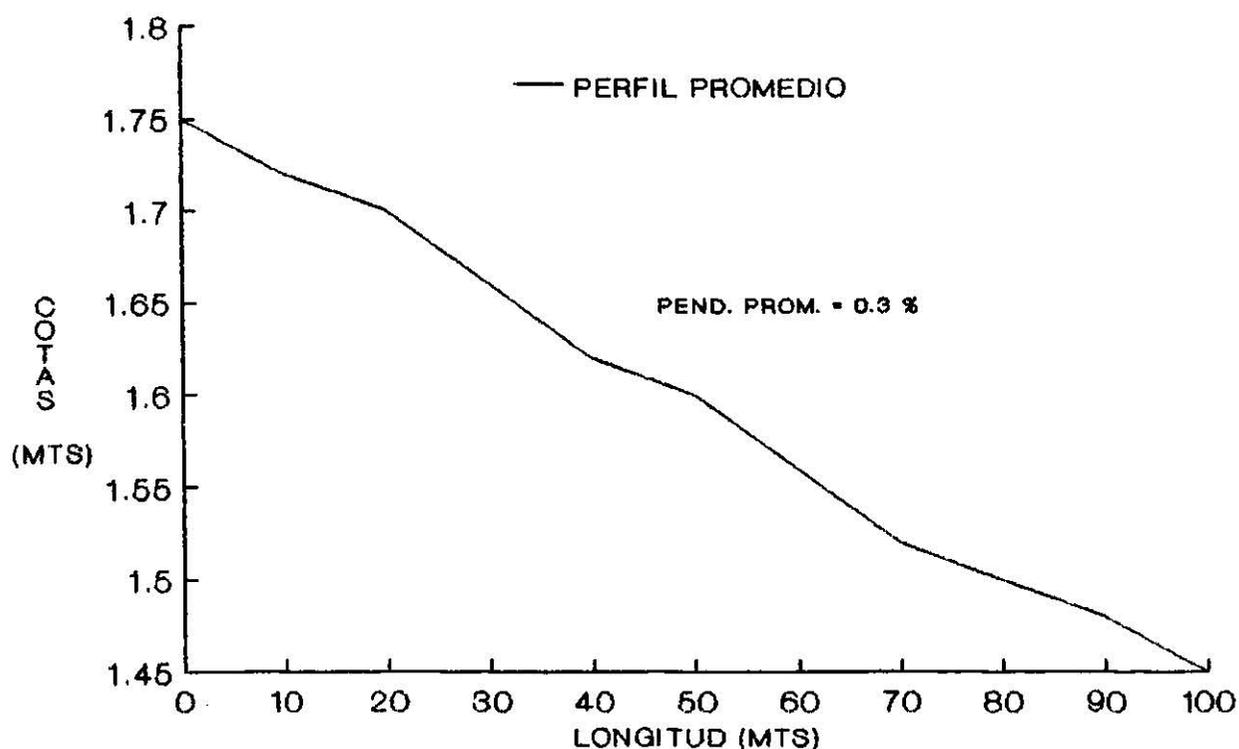


Figura 13. Perfil promedio de la plantilla de los surcos de prueba.

5.2 Humedad del suelo

Los resultados de las pruebas de humedad del suelo para los diferentes tratamientos se muestran en las tablas 9, 10, 11, 12 y 13 del apéndice. En ellas se observa el contenido de humedad antes y después de la aplicación del riego de cada punto de muestreo a lo largo de la longitud del surco y a las profundidades de muestreo establecidas como suficientes para obtener los datos requeridos.

5.3. Pruebas de riego

Los datos recabados durante las pruebas de riego para cada tratamiento están registrados en las tablas 1, 2, 3 y 4 del apéndice, en las cuales está anotado el tiempo de avance y su respectivo tiempo de recesión registrado en cada estación de medida (cada 10 m) a lo largo del surco. Con estos datos se construyeron las curvas de avance y recesión presentadas posteriormente.

En estas tablas podemos apreciar que para los tratamientos intermitentes de 3 y 7 minutos, se registran bajos o nulos datos de tiempo en avanzar la distancia seca del surco hasta al corte del flujo, lo que indica que ahí no estaba funcionando en gran medida la técnica aplicada. Por lo anterior se supone que el tratamiento intermitente de 3 minutos fue muy corto, debido a que el agua no había avanzado distancia seca del surco cuando el siguiente flujo alcanzaba al anterior. En el caso del flujo intermitente con ciclos de 7 minutos, se considera que fue muy largo, por lo que se hizo similar al flujo continuo y solo se necesitaron 2 ó 3 intermitencias para que el agua alcanzara el final del surco.

5.4. Pruebas de infiltración

Los datos de las pruebas de infiltración usando el método de entradas y salidas en surcos, para los diferentes tratamientos se presentan en el apéndice, en las tablas 5, 6, 7 y 8.

Analizando estos datos. se observa que mediante el uso de este método de entradas y salidas en surcos para medir la infiltración. rápidamente se estabiliza la lámina infiltrada. aún usando tiempos de medida de la carga con incrementos iguales.

Si observamos las cargas registradas al final de cada prueba para los diferentes tratamientos y calculamos la infiltración en cm/hr. nos damos cuenta que las láminas infiltradas estabilizadas son diferentes para cada tratamiento. siendo de 2.08 cm/hr para el tratamiento con flujo continuo, 1.73 cm/hr para el flujo intermitente con ciclos de tres minutos, 0.67 cm/hr para el tratamiento intermitente con ciclos de cinco minutos y de 1.20 cm/hr para el tratamiento intermitente con ciclos de siete minutos. lo que indica que el tratamiento en el que la infiltración fue mayor. es en el flujo continuo con respecto al flujo intermitente y el tratamiento que registró menor velocidad de infiltración fue el intermitente con ciclos de cinco minutos.

En las figuras 14, 15, 16 y 17 se muestran las curvas de velocidad de infiltración e infiltración acumulada y en la tabla 2 están anotadas sus respectivas ecuaciones.

Como se observa. las ecuaciones de infiltración resultantes son diferentes tanto en el coeficiente como en el exponente. También se puede ver que para los tratamientos intermitentes estos dos parámetros son similares. es decir. que varían entre ellos un mínimo. no así el tratamiento con flujo

continuo, en el que los valores del coeficiente y del expo --
nente se disparan en gran medida.

Concluyendo sobre estas ecuaciones podemos decir que, ha --
medida que se llevó a cabo la prueba de infiltración, para --
los tratamientos intermitentes, las condiciones estructurales
del suelo fueron cambiando para disminuir en gran medida la --
velocidad de infiltración. Esto puede atribuirse al efecto --
de reorientación de partículas, redistribución del agua y ai --
re atrapado, fenómenos que son propios de llevarse a cabo --
cuando se aplica esta técnica de riego, lo cual corrobora lo --
afirmado por los varios autores. (3) (5) y (6)

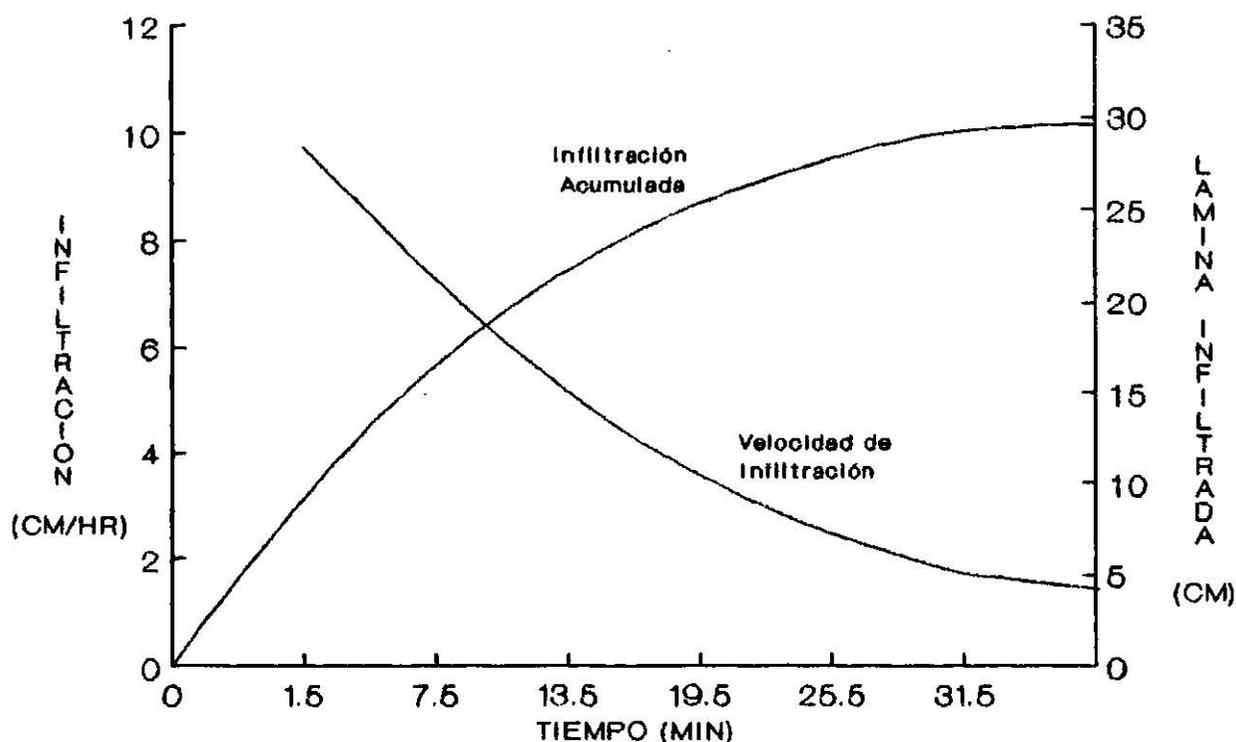


Figura 14. Curvas de velocidad de infiltración e infiltración acumulada para el tratamiento: flujo intermitente con ciclos de tres minutos.

CUADRO 2. ECUACIONES DE INFILTRACION RESULTANTES PARA CADA TRATAMIENTO.

TRATAMIENTO	VEL. DE INFILTRACION (cm/hr)	INF. ACUMULADA (cm)
F. intermitente ciclos de 3 min.	$I = 15.30 T^{-0.5332}$	$I_{cum} = 0.1950 T^{0.7399}$
F. intermitente ciclos de 5 min.	$I = 24.24 T^{-0.6659}$	$I_{cum} = 0.2473 T^{0.6491}$
F. intermitente ciclos de 7 min.	$I = 21.87 T^{-0.5353}$	$I_{cum} = 0.2021 T^{0.7350}$
F. continuo	$I = 78.82 T^{-1.0000}$	$I_{cum} = 0.5507 T^{0.7018}$

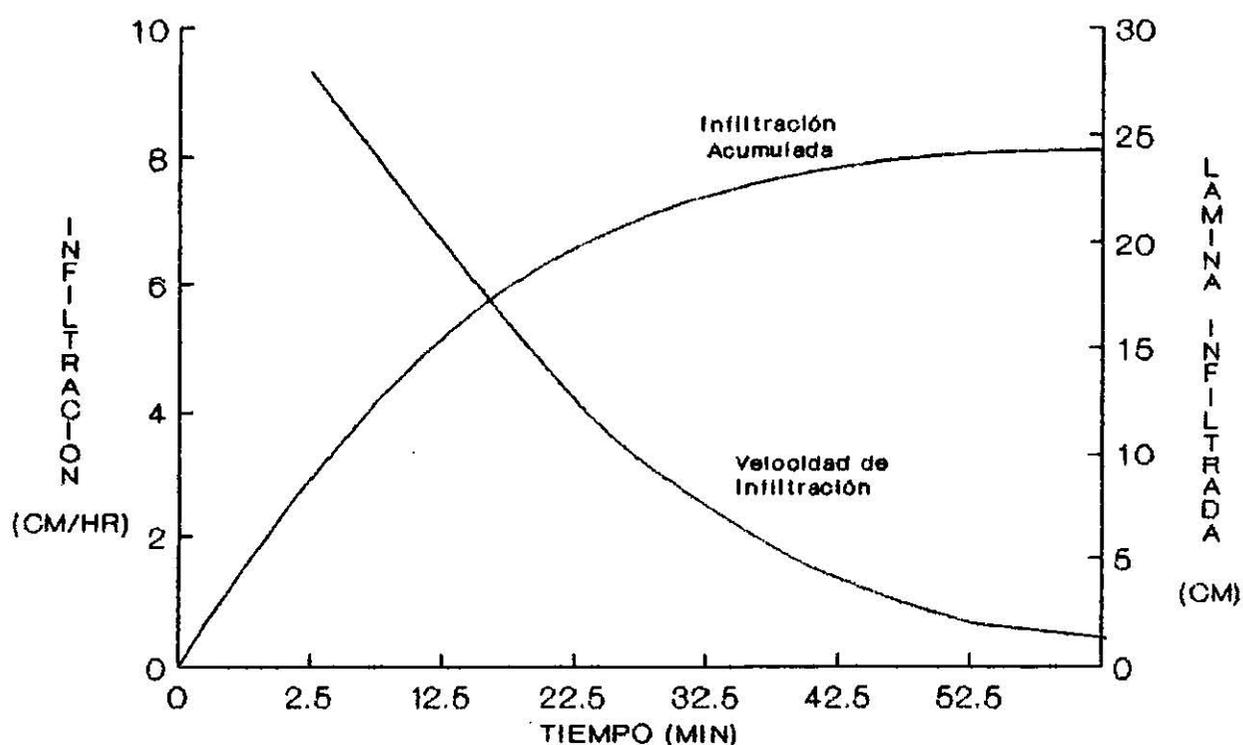


Figura 15. Curvas de velocidad de infiltración e infiltración acumulada para el tratamiento: flujo intermitente con ciclos de cinco minutos.

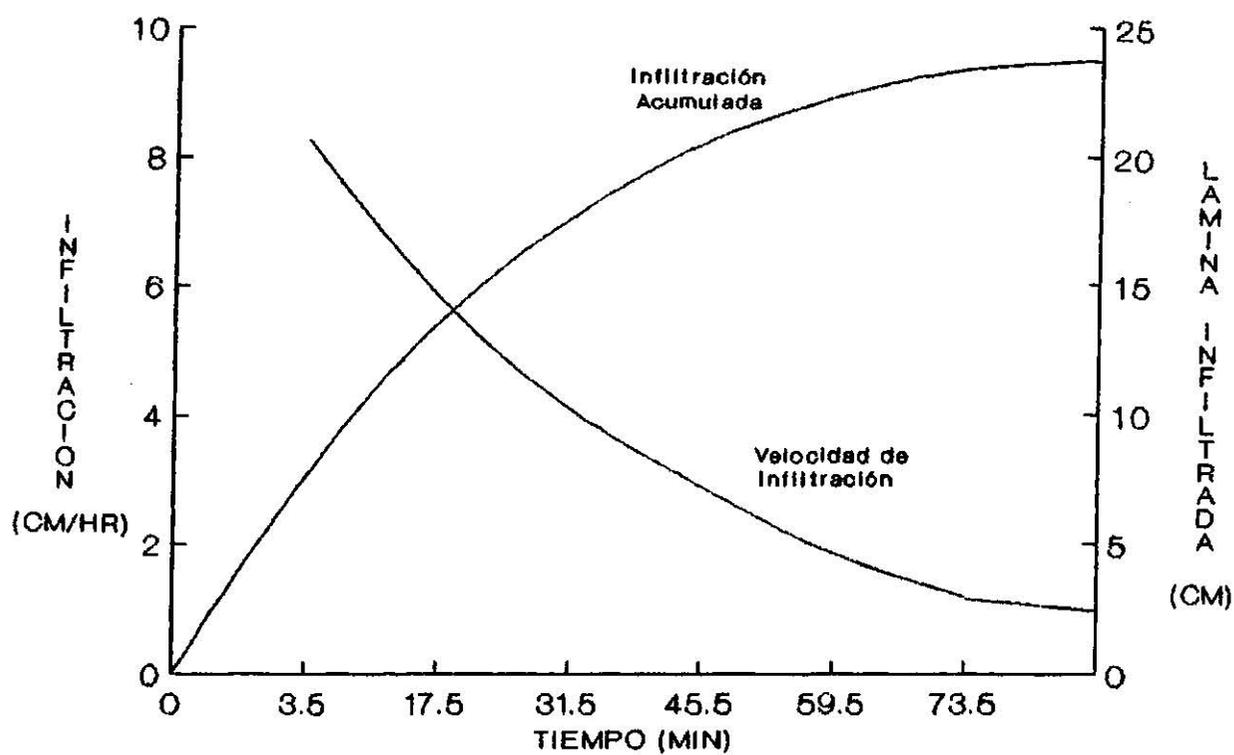


Figura 16. Curvas de velocidad de infiltración e infiltración acumulada para el tratamiento: flujo intermitente con ciclos de siete minutos.

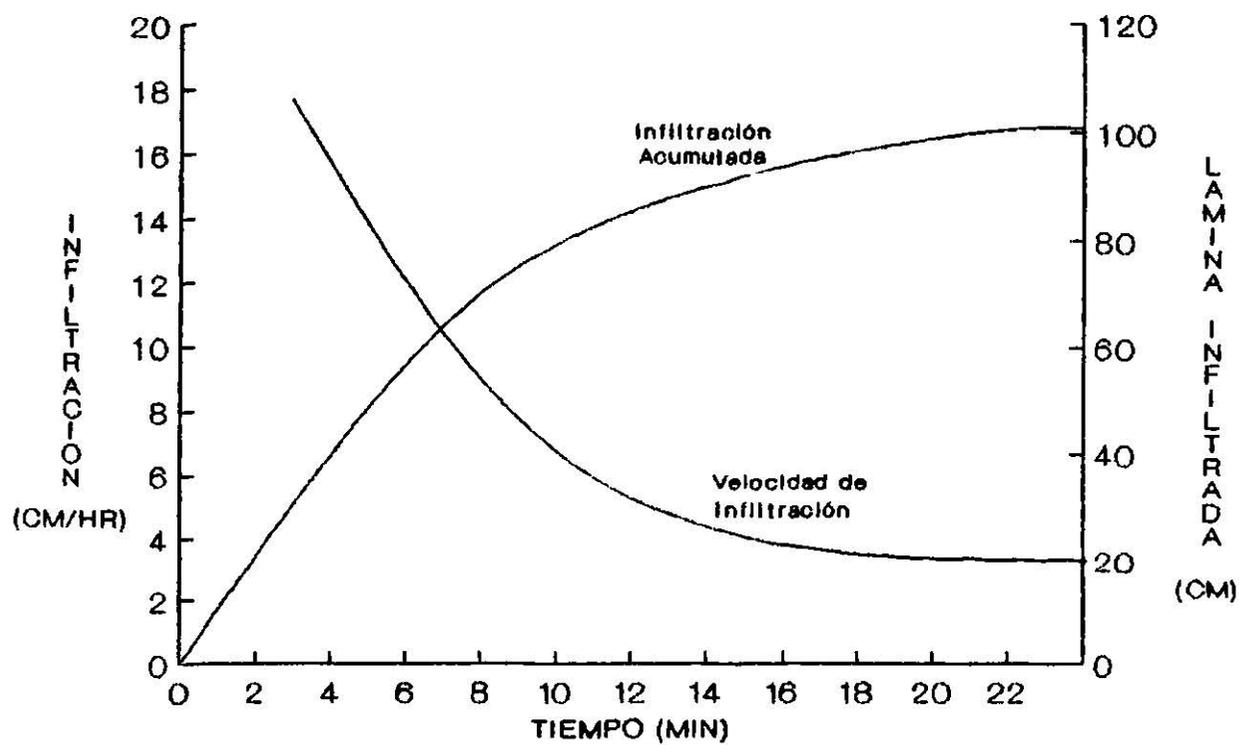


Figura 17. Curvas de velocidad de infiltración e infiltración acumulada para el tratamiento: flujo continuo

5.5. Perímetro mojado

Con el objeto de determinar un perímetro mojado más representativo de los surcos de prueba, se tomaron datos a cada 10 m a lo largo de la longitud del surco. Estos datos están registrados en las tablas de 14, 15, 16, 17 y del apéndice y en la figura 18 se muestran los perfiles de los perímetros mojados promedio calculados para cada tratamiento.

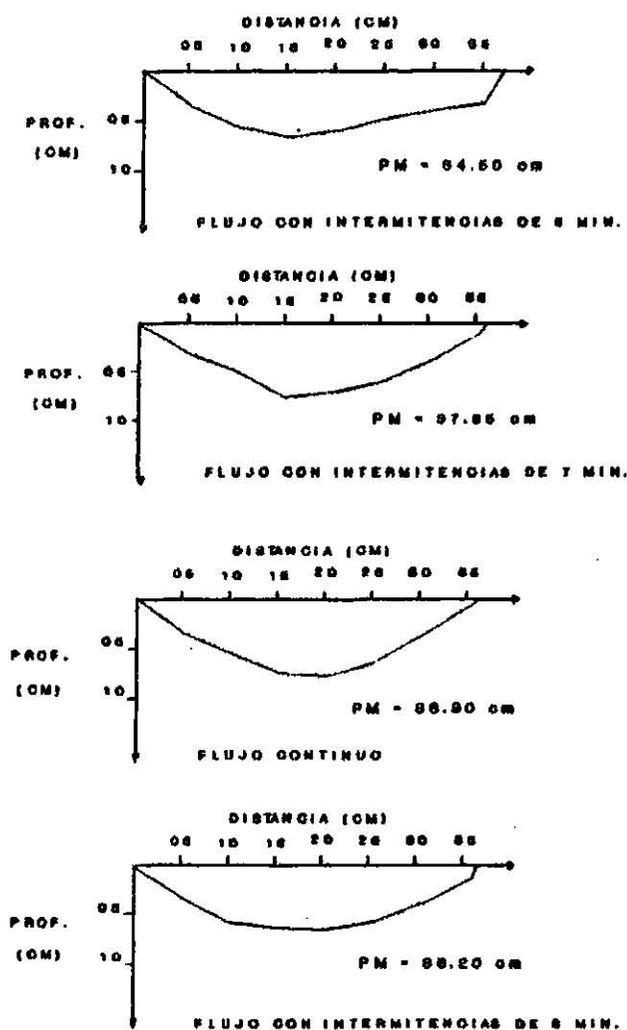


Figura 18. Perfiles mojados promedio de los surcos para cada tratamiento.

5.6. Curvas de avance y recesión

Usando los datos recabados de las pruebas de riego se construyeron las respectivas curvas de avance para cada tratamiento, con sus tres repeticiones, para ver la variabilidad entre éstas. Las figuras 1, 2, 3 y 4 del apéndice muestran las curvas de avance y se observa que hubo poca diferencia entre las repeticiones de cada tratamiento, tomando en cuenta que se usaron surcos diferentes.

La figura 19 muestra las curvas de avance promedio para los cuatro tratamientos. Se puede observar que hay diferencias en cuanto al tiempo necesario para llegar el agua al final del surco.

Se observa que el tratamiento de flujo continuo registra un tiempo de llegada al final del surco de 37.8 minutos, mientras que los tratamientos con flujo intermitente varían entre ellos con: 33.41 minutos para flujo intermitente con ciclos de tres minutos, 30.4 minutos para flujo intermitente con ciclos de cinco minutos y 31.6 minutos para el flujo intermitente con ciclos de siete minutos.

En el cuadro 3 están anotadas las funciones de avance resultantes para cada tratamiento, las cuales fueron calculadas usando las ecuaciones (5, 6 y 7) mencionadas anteriormente.

CUADRO 3. FUNCIONES DE AVANCE RESULTANTES PARA CADA TRATAMIENTO. ---

TRATAMIENTO	FUNCION DE AVANCE (mts)
F. Intermitente ciclos de 3 min.	$X = 14.18 t^{0.5567}$
F. Intermitente ciclos de 5 min.	$X = 13.20 t^{0.5932}$
F. Intermitente ciclos de 7 min.	$X = 13.55 t^{0.5787}$
F. continuo	$X = 18.83 t^{0.4538}$

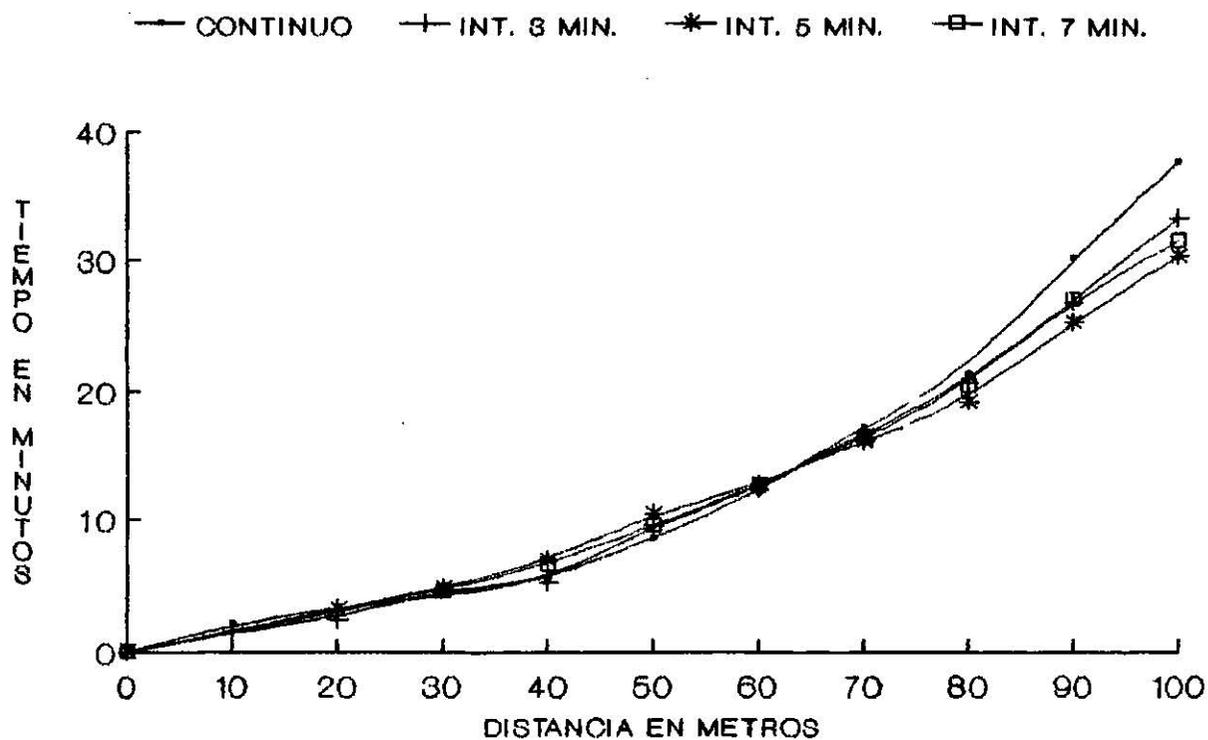


Figura 19. Curvas de avance promedio para los cuatro tratamientos.

Podemos ver que el tratamiento con flujo continuo registró un tiempo mayor total para llegar al final del surco, --- comparado con los demás tratamientos. (cuadro 4)

CUADRO 4. COMPARACION DE LOS TIEMPOS GLOBALES DE RIEGO PARA LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS

TRATAMIENTO	TIEMPO PROM. EN LLEGAR EL AGUA AL FINAL DEL SURCO (MINUTOS)	DIF. ENTRE LOS TRAT. INTERMITENTES COMPARADO CON EL FLUJO CONTINUO (MINUTOS)
Flujo continuo	37.80	-----
F. interm. tres minutos	33.41	- 4.39
F. interm. cinco minutos	30.40	- 7.40
F. interm. siete minutos	31.60	- 6.20

En el cuadro 4 se observa que el tratamiento intermitente con ciclos de cinco minutos registró el menor tiempo total para llegar el agua al final del surco, seguido del tratamiento intermitente de siete min. y luego el tratamiento intermitente de tres minutos. La máxima diferencia entre los tratamientos fue de 7.40 min., lo que indica un relativo ahorro de tiempo de riego en general bueno. Si usamos este tratamiento con este ciclo de riego y si tomamos en cuenta que en un riego total en una parcela, se aplica el agua a series de surcos, en cada serie de riego habrá una disminución acu -

mulada del tiempo de riego, lo que reduciría en alta proporción el tiempo total de riego de la parcela.

En las figuras 20, 21, 22 y 23 se observan tanto las curvas de avance promedio para cada tratamiento como su respectiva curva de recesión. Podemos observar que hay una variabilidad entre los tratamientos en cuanto al tiempo de oportunidad de infiltración en cada punto o estación de medida deduciendo que esta variabilidad en el tiempo, provoca también una variación en la lámina infiltrada acumulada a lo largo del surco.

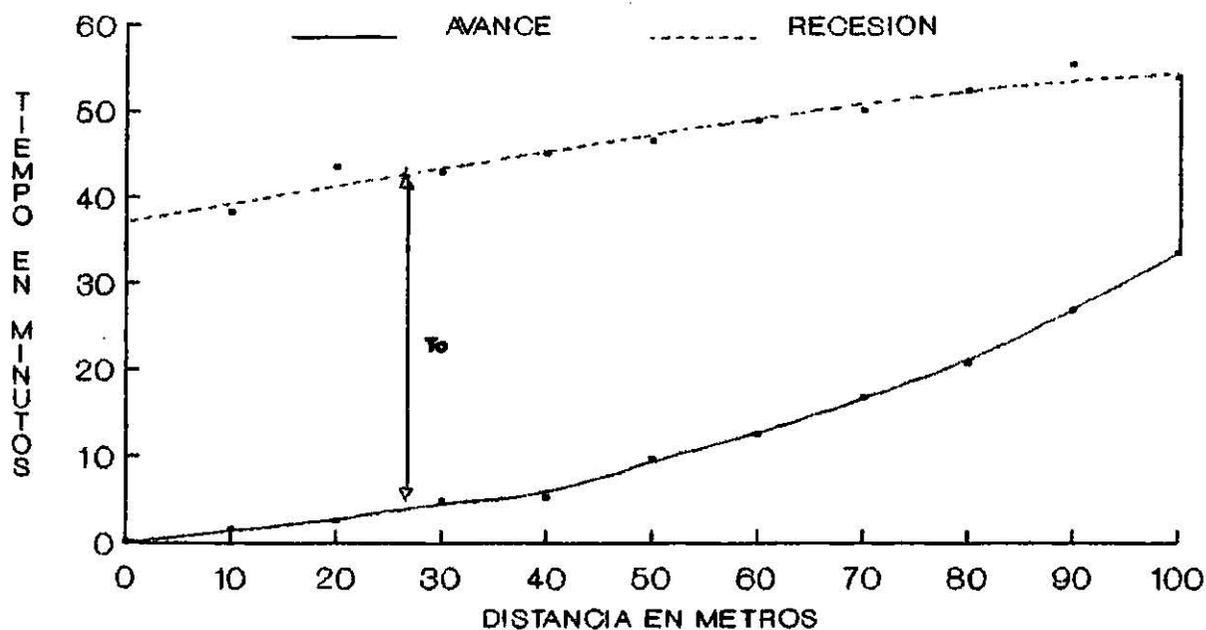


Figura 20. Curvas de avance y recesión para el tratamiento intermitente con ciclos de tres minutos.

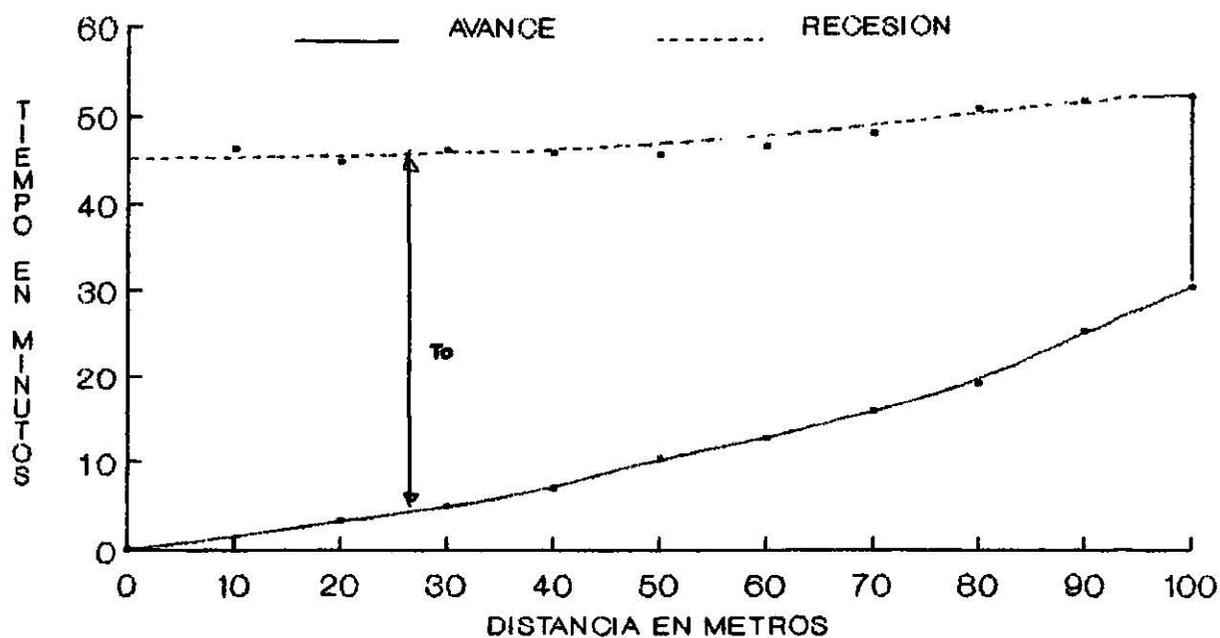


Figura 21. Curvas de avance y recesión para el tratamiento intermitente con ciclos de cinco minutos.

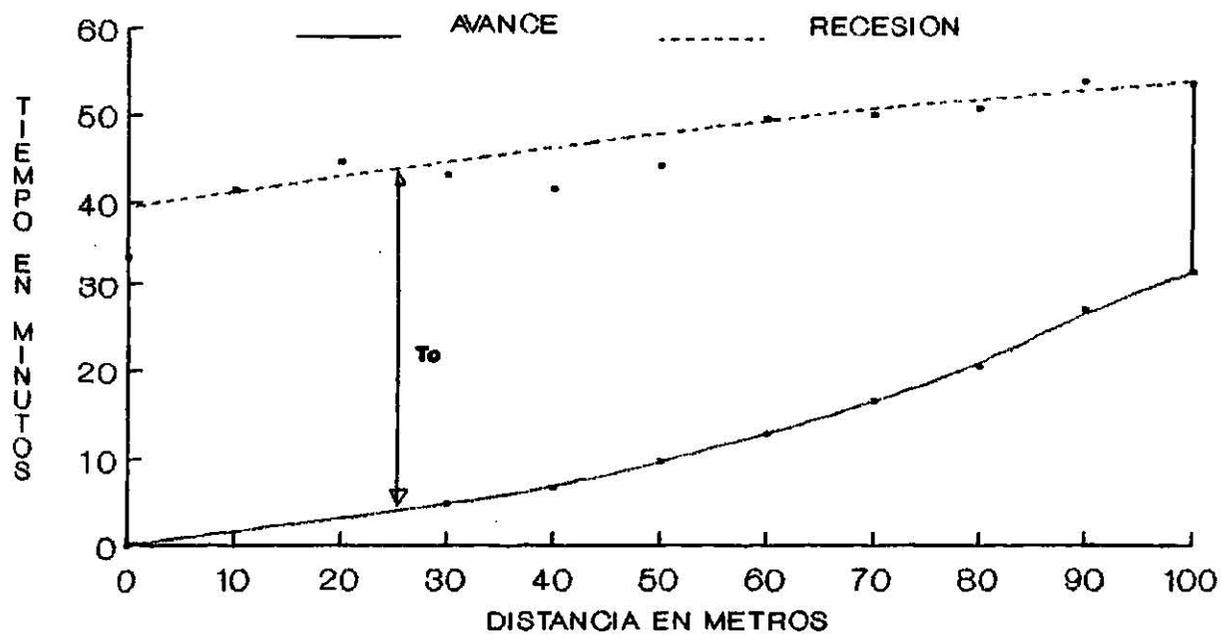


Figura 22. Curvas de avance y recesión para el tratamiento intermitente con ciclos de siete minutos.

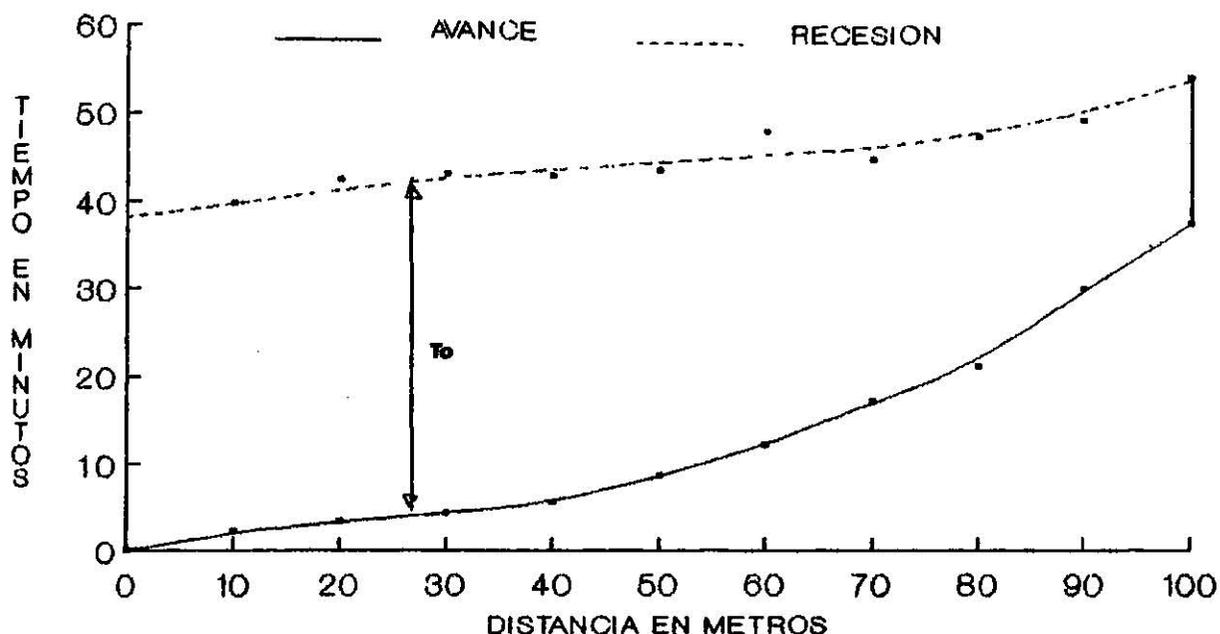


Figura 23. Curvas de avance y recesión para el tratamiento con flujo continuo.

5.7. Láminas de agua aplicada, almacenada en la zona de raíces y lámina requerida.

En los cuadros 1, 2, 3 y 4 del apéndice se presentan los datos de las láminas de agua: aplicada (L_a), almacenada en la zona de raíces (L_{ar}) y requerida (L_r), así como su eficiencia de: aplicación, aplicación del cuarto inferior, almacenamiento y uniformidad de distribución para cada uno de los tratamientos en cada sección donde se realizó el muestreo de humedad, y las figuras 24, y 25 corresponden a la distribución de la láminas de agua: aplicada (L_a), almacenada en la zona de raíces (L_{ar}) y requerida (L_r) para las diferentes técnicas de aplicación del flujo.

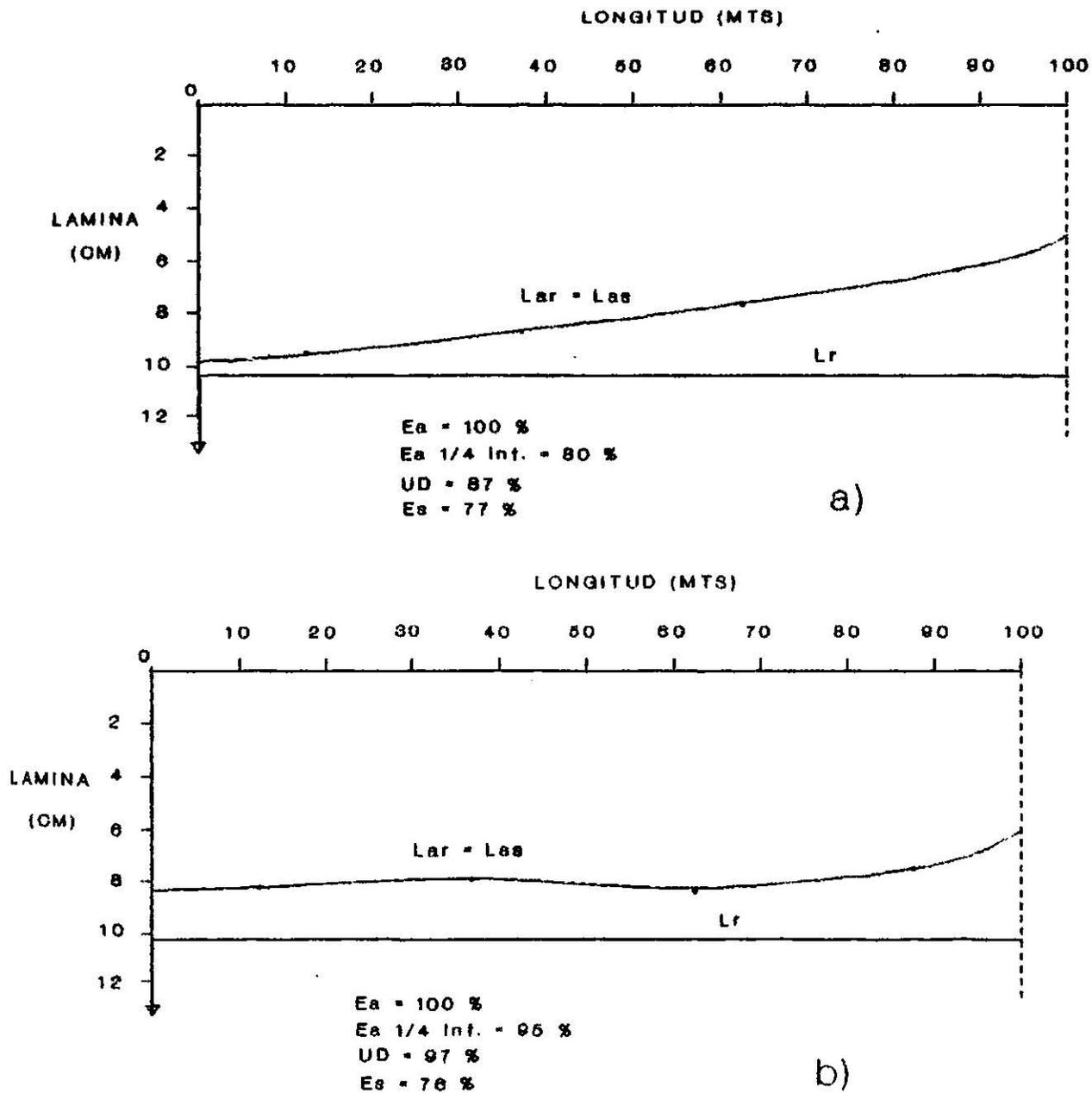


Figura 24. Distribución de las láminas de agua: aplicada (La) almacenada en la zona radicular (Lar) y requerida (Lr) para los tratamientos: a) flujo intermitente con ciclos de tres minutos b) flujo intermitente con ciclos de cinco minutos.

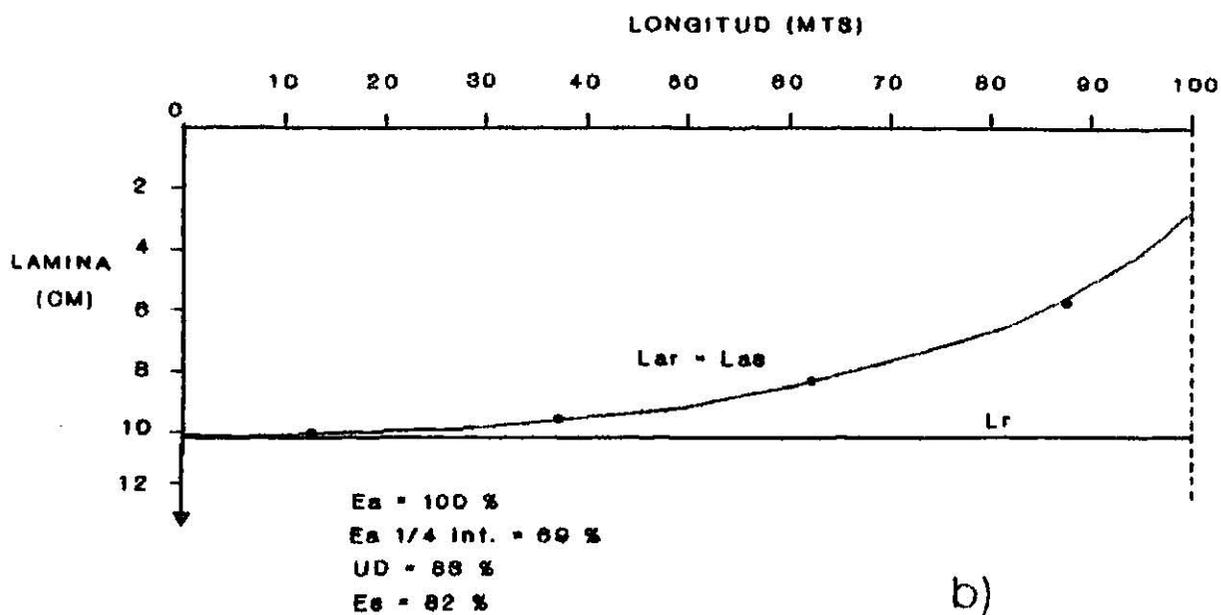
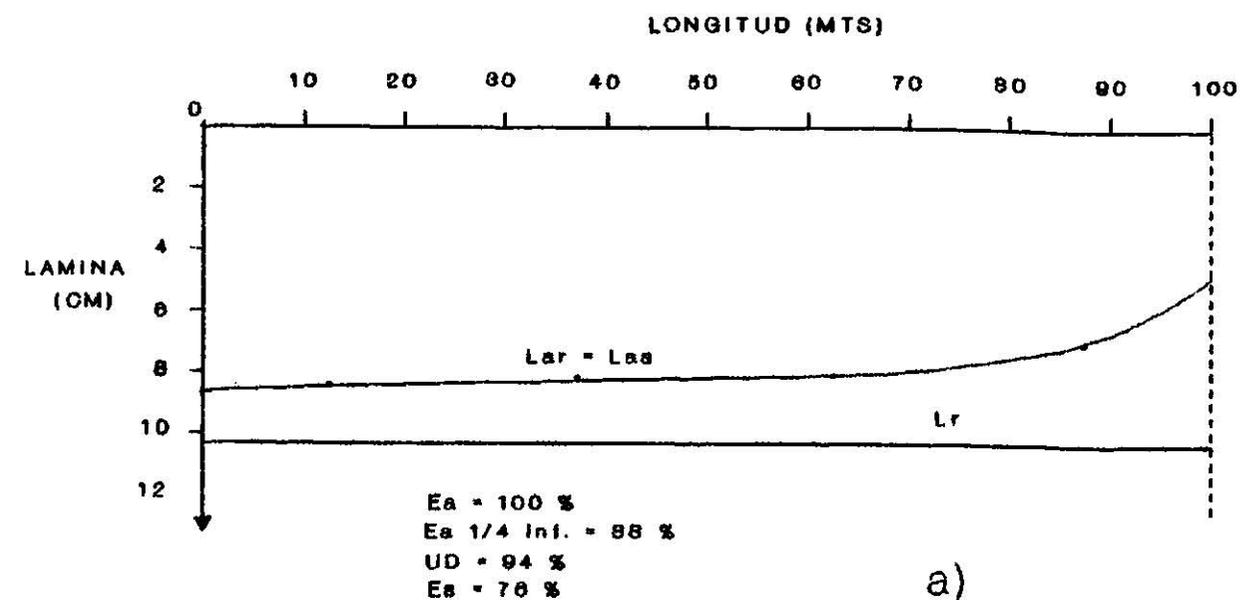


Figura 25. Distribución de las láminas de agua: aplicada (L_a) almacenada en la zona de raíces (L_{ar}) y requerida (L_r) para los tratamientos: a) flujo intermitente con ciclos de siete minutos b) flujo continuo.

Podemos observar que las láminas de agua aplicada y almacenada en la zona radicular son las mismas, es decir, que toda la lámina aplicada e infiltrada se almacenó en la zona de raíces (0-60 cm).

También se observa que en todos los casos la lámina de agua requerida para llevar a capacidad de campo el perfil del suelo de 0-60 cm es mayor que la aplicada, debido a que la evaluación de la técnica de riego solo comprendió la primera fase de aplicación y no un riego completo ni un ciclo de cultivo.

Analizando las curvas juntamente con las tablas respectivas de datos, nos damos cuenta que hubo gran diferencia en cuanto a la distribución general de estas láminas a través de la longitud del surco y que el tratamiento de aplicación del flujo que presentó mejor distribución fue el de flujo intermitente con ciclos de cinco minutos, en contraste con la lámina aplicada usando el tratamiento de flujo continuo la cual presenta un marcado déficit en el cuarto inferior del surco.

5.8. Eficiencias y uniformidad de distribución generales

En el cuadro 5 se resumen las eficiencias de: aplicación del cuarto inferior, almacenamiento y uniformidad de distribución para los diferentes tratamientos.

CUADRO 5. EFICIENCIAS: APLICACION, APLICACION DEL CUARTO INFERIOR, ALMACENAMIENTO Y UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCION PARA LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS.

TRAT.	Lar (cm)	La (cm)	Lrpa (cm)	Lr (cm)	Ea (%)	Ea 1/4 inf (%)	UD (%)	Es (%)
Flujo continuo	8.50	8.50	9.40	10.40	100	69	83	82
F. interm. de 3 min.	8.00	8.00	9.00	10.40	100	80	87	77
F. interm. de 7 min.	7.90	7.90	8.90	10.40	100	88	94	76
F. interm. de 5 min.	7.90	7.90	8.70	10.40	100	95	97	76

Lar = Lámina almacenada en la zona radicular (0 - 60 cm)

La = lámina aplicada en el surco (0 - 90 cm)

Lrpa = Lámina real promedio aplicada

Lr = Lámina de agua requerida (0 - 60 cm)

Ea = Eficiencia de aplicación

Ea 1/4 inf. = Eficiencia de aplicación en el cuarto inferior

UD = Uniformidad de distribución

Es = Eficiencia de almacenamiento

De inmediato se observa que el tratamiento que presenta menor eficiencia de aplicación del cuarto inferior y uniformidad de distribución es el tratamiento de flujo continuo. El aumento en su eficiencia de almacenamiento respecto a los demás tratamientos se debe a que el tiempo de aplicación del --

agua fue mayor y, por tanto, se almacenó más agua en el suelo

En contraste con este tratamiento, vemos que el trata -- miento que registró mayor uniformidad de distribución y efi -- ciencia de aplicación del cuarto inferior fue el de flujo in -- termitente con ciclos de cinco minutos, conservándose su efi -- ciencia de almacenamiento aproximadamente semejante a los de -- más tratamientos.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1.- La práctica de esta técnica de aplicación del riego tiene muchas ventajas, las cuales afectarán favorablemente nuestras prácticas de riego, siempre y cuando se aplique adecuadamente, refiriéndonos especialmente al tiempo del ciclo del riego.
- 2.- La velocidad de avance del frente de agua aplicando flujo intermitente es más alta en mayor o menor proporción, que si se aplica flujo continuo, dependiendo del tiempo del ciclo considerado.
- 3.- El volumen de agua requerido para completar un riego se reduce en alta proporción aplicando riego intermitente, si tomamos en cuenta el aumento en la velocidad de avance.
- 4.- La reducción en la tasa de infiltración llevada a cabo por el efecto que tiene esta forma de aplicación del flujo en el tirante hidráulico, rugosidad, sellado de la superficie del suelo, etc., favorecen en gran medida la distribución de la lámina aplicada.
- 5.- El riego intermitente mejora en gran medida la eficiencia de aplicación, la uniformidad de distribución general, la eficiencia de almacenamiento y la distribución de la humedad en el cuarto inferior del surco, que es en

donde casi siempre se tienen deficiencias de humedad --- cuando se aplica el riego convencional aplicando flujo - continuo.

- 6.- La aplicación del riego intermitente reduce el volumen de agua escurrida al final del surco.
- 7.- Como sistema de riego, el flujo intermitente permite mayor rendimiento en el avance por tiempo, debido a que se puede estar regando alternadamente dos o más secciones - de riego con tratamientos que se complementen en sus --- tiempos con y sin flujo, sin suspender el gasto de abastecimiento.
- 8.- El sistema de riego en surcos aplicando la técnica de -- flujo intermitente es una alternativa de riego superficial para ahorrar agua en aquellas zonas de escasés de - ésta y para aumentar la superficie regada.
- 9.- Para lograr aprovechar al máximo las ventajas de esta -- técnica de riego, se requiere la automatización del sistema.
- 10.- El uso del equipo disponible para el manejo de este tipo de riego permite aprovechar al máximo las ventajas que - tiene esta técnica de aplicación del riego.

VII. RESUMEN

Dentro de los métodos de riego superficial se encuentra el riego por surcos, y para el diseño de éste, los distintos procedimientos tienen como objetivos principales que la lámina de agua aplicada se distribuya uniformemente a lo largo del perfil del terreno y que se minimizen las pérdidas por percolación y escurrimiento. Para lograr tales objetivos se ha estudiado la relación entre el gasto, longitud del surco, pendiente, suelo, y su efecto en los procesos de riego como son: avance, almacenamiento, consumo, e infiltración.

La fase de avance es estudiada con más detalle por su influencia en la uniformidad de distribución de la lámina aplicada, lo que ha motivado la investigación en la ingeniería de riego.

Dentro del método de riego superficial por surcos ha surgido una nueva técnica de aplicación del flujo denominada flujo intermitente, la cual consiste en la aplicación discontinua del agua de riego en base a una relación de tiempos con y sin flujo, que de acuerdo a la literatura, es una eficiente forma de aplicar el agua a los cultivos y producir un avance más rápido del agua.

Los principales objetivos para la realización de este trabajo fueron: evaluar esta técnica de aplicación del flujo aplicando varias relaciones de tiempos con y sin flujo y la adaptabilidad del mismo a las condiciones edáficas específicas

cas del área de prueba y de la región en general, asimismo, -
comparar esta técnica de riego con la forma convencional a --
plicando flujo continuo y observar su efecto en la velocidad-
de avance, escurrimiento, infiltración, eficiencia de aplica-
ción, eficiencia de almacenamiento y uniformidad de distribu-
ción.

El experimento se realizó en terrenos de la Facultad de-
Agronomía de la U. A. N. L., localizada al suroeste del ejido
Marín, N. León.

Las condiciones edáficas del área de prueba fueron, sue-
lo arcilloso hasta una profundidad mayor de un metro y una --
pendiente longitudinal superficial promedio de 0.3 %.

El experimento comprendió cuatro tratamientos de aplica-
ción del flujo con tres repeticiones para cada uno y su res--
pectiva prueba de infiltración.

Las pruebas del experimento comprendieron determinacio--
nes de humedad del suelo antes y después de la aplicación del
riego, aplicación de las técnicas de riego y pruebas de in --
filtración para cada tratamiento aplicado.

Se calculó el gasto máximo no erosivo para utilizar en -
las pruebas, resultando en 2 lts/seg, aplicándolo a surcos de
0.80 m de ancho y 100 metros de longitud, en suelo seco y sin
cultivo con una previa preparación del terreno que incluyó --
barbecho, rastreo y surcado.

Se midió el tiempo de avance, el tiempo de recesión y la
infiltración. El avance para flujo intermitente se evaluó ---

desde dos puntos de vista: tiempo transcurrido desde el inicio del riego hasta completar el ciclo de aplicación del flujo y tiempo de avance que considera solo el tiempo en que el agua está en movimiento sobre el surco.

Los resultados obtenidos se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Mediante la aplicación del flujo intermitente se obtuvieron mayores velocidades de avance, registrándose un aumento hasta de un 20 % con respecto al flujo continuo.
- La velocidad de infiltración se vió afectada mediante la aplicación de esta técnica de aplicación del flujo, reduciéndose en alta proporción.
- Los tratamientos intermitentes registraron una mejor uniformidad de distribución en todos los casos, en mayor o menor proporción dependiendo del tiempo de ciclo aplicado.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- 1.- ALEMI M. H. and D. A. GOLDHAMER. 1988. Optimizacion Model of the Surge Irrigation. Transactions of the ASAE. - Volumen 31 (2).
- 2.- ARAUJO H. J. M., GARZA R. J. L. 1984. Estudio Agrológico Detallado del Campo Experimental de la F. A. U. A. N. L. Tesis. Marín, N. León, México.
- 3.- BISHOP A. A. et al., 1981. Furrow Advances Rates Under - Surge Flow Sistem. Journal of the Irrigation and Drainage Division. Ed. ASCE. Vol 107. No. IR3 USA.
- 4.- BOOHER, L. J. 1974. El Riego Superficial. F A O. Roma, - Italia.
- 5.- CASTRO, G. C . H. 1987. Efecto del Gasto, Tiempo con --- flujo y Tiempo sin Flujo Sobre la Fase de Avance en Riego por Surcos con Flujo Intermitente. Tesis. Instituto - Tecnológico de Sonora. Cd. Obregón, Sonora, México.
- 6.- COOLIDGE P. S., WALKER W. R. AND BISHOP A. A. 1982. Advance and Runoff-Surge Flow Furrow Irrigation. Journal - of the Irrigation and Drainage Division. ASAE. Vol 108, - No IR1 USA.

- 7.- ECHARTEA, M. F. J. 1980. Diseño de un Sistema de Riego - por surcos. Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, - N. León.
- 8.- GONZALEZ, G. M. 1980. Sistemas de Riego por Surcos, De - terminación de la Curva de Avance. Universidad Autónoma - de N. León. Tesis. Marín, N. León.
- 9.- GUROVICH, L. A. 1985. Fundamentos y Diseño de Sistemas - de Riego. Ed. Texto LTDA. San José, Costa Rica.
- 10.- IZUNO F. T. and T. H. PODMORE. 1986. Surge Irrigation -- Management. Agricultural Water Management. An Interna -- tional Journal. Elsevier Science Publishers. Amsterdam.
- 11.- ISRAELSEN, O. N. Y HANSEN, V. E. 1965. Principios y A -- plicaciones del riego. Segunda Edición. Editorial Rever - te Barcelona, España.
- 12.- MARQUEZ, J. R. M. 1989. Riego por Surcos con Flujo In -- termitente. Seminario. Universidad Autónoma de Nuevo --- León. Marín, N. León.
- 13.- PISSANI, Z. J. F. 1976. Ingeniería de Sistemas de Riego. Riego de Superficie. Colegio de Graduados. Universidad - Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coah. México.
- 14.- REBOUR, H. Y DELOYE M. 1971. El riego. Segunda edición.- Ed. Mundi-Prensa. España.

- 15.- TESTEZLAF R., R. L. ELLIOT and J. E. GARTON. 1987. In --
filtration Under Surge Flow Irrigation. Transactions of--
the ASAE. Volumen 30 (1).
- 16.- 1988. UTAH AGRICULTURAL EXPERIMENT STATION. Surge Flow -
Irrigation Research Bulletin 515. Utah State University--
Logan, Utah.
- 17.- 1988. SURGE FLOW IRRIGATION. Final Report of the Western
Regional Research Proyect W-163, Research Bulletin 515, -
Utah Agricultural Experiment Station, Utah University, -
Logan, Utah.
- 18.- 1983. SURGE SYSTEMS. Irrigation Valves and Controllers, -
Surge is Revolutionizing Flood Irrigation, Technician --
Bulletin. Lubbock, Tx.

IX. APENDICE

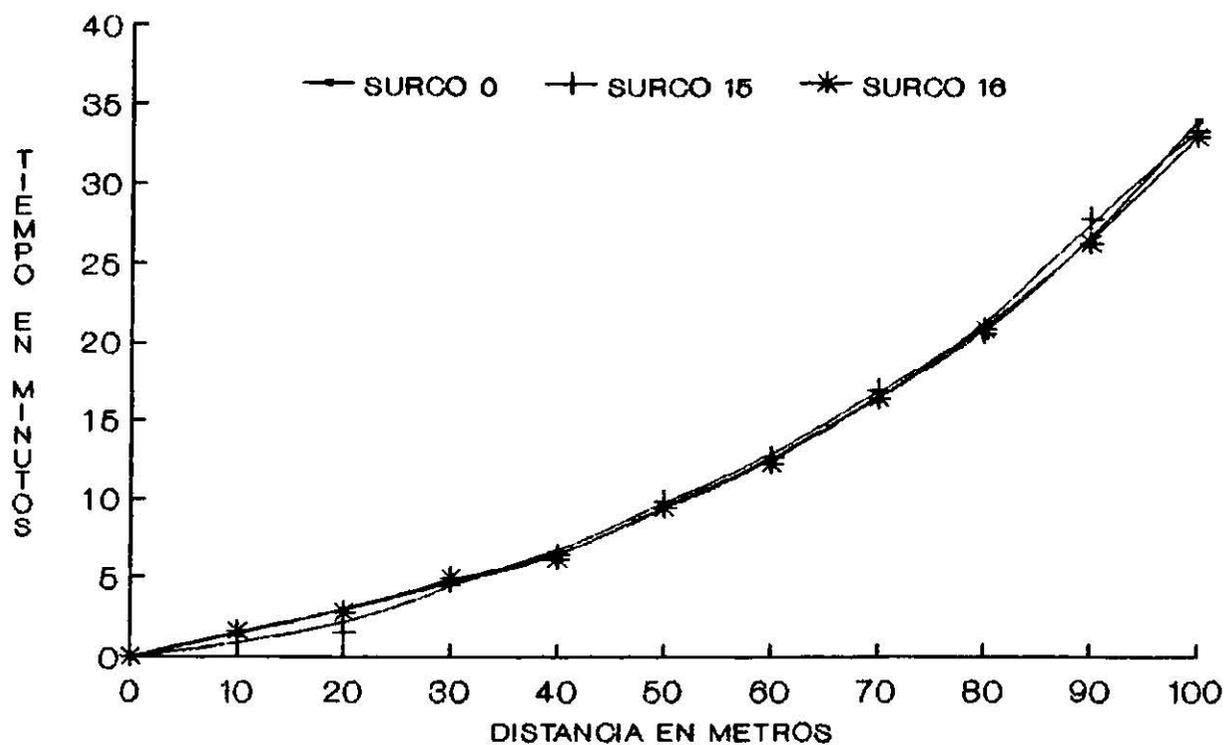


Figura 1. Curvas de avance para el tratamiento intermitente con ciclos de tres minutos aplicado a tres surcos diferentes.

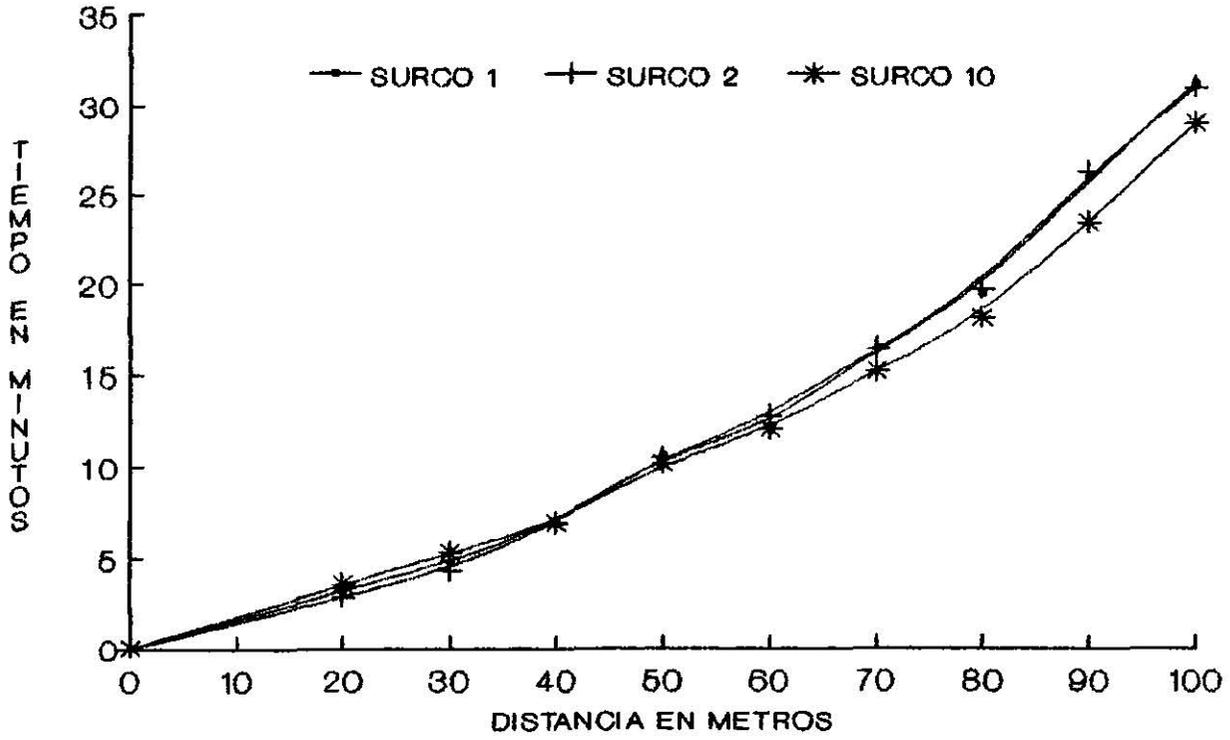


Figura 2. Curvas de avance para el tratamiento intermitente con ciclos de cinco minutos aplicado a tres surcos diferentes.

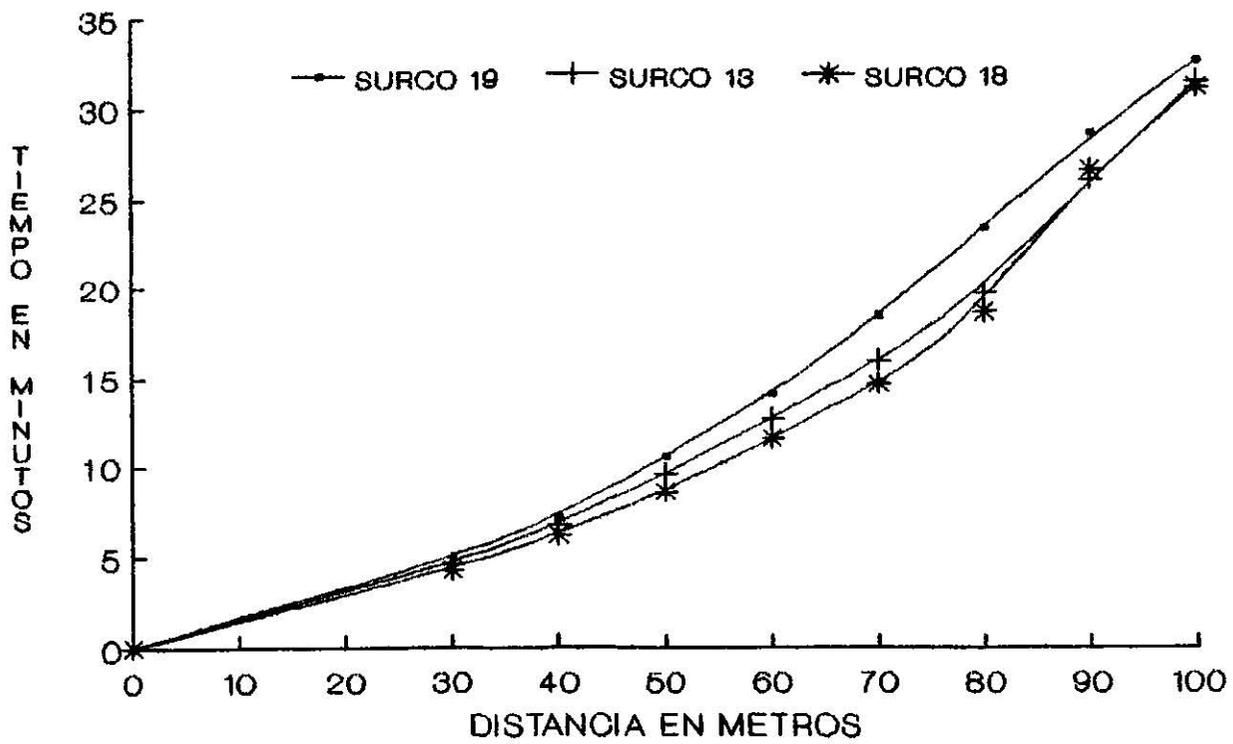


Figura 3. Curvas de avance para el tratamiento intermitente con ciclos de siete minutos aplicado a tres surcos diferentes

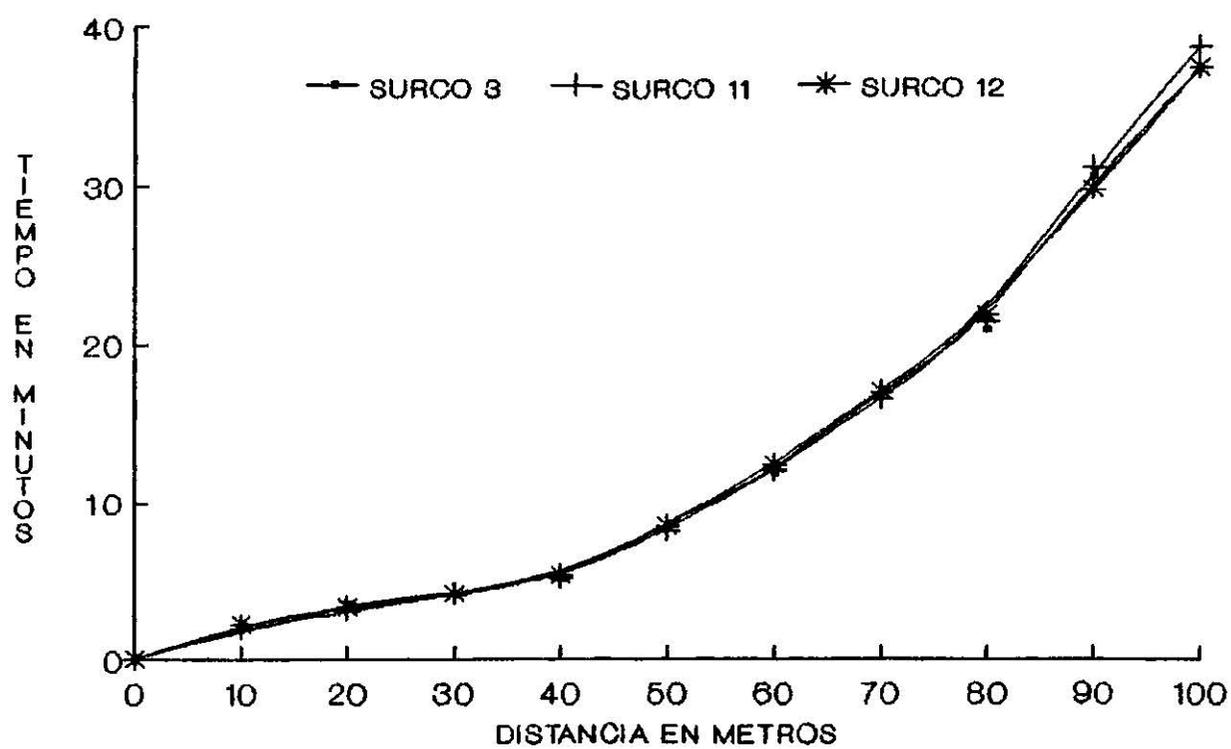


Figura 4. Curvas de avance Para el tratamiento con flujo continuo aplicado a tres surcos diferentes.

CUADRO 1. EFICIENCIAS: APLICACION, APLICACION DEL CUARTO INFERIOR, ALMACENAMIENTO Y UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCION PARA EL TRATAMIENTO: FLUJO INTERMITENTE CON CICLOS TRES MINUTOS

TRAT.	EM	Lar (cm)	La (cm)	Lrpa (cm)	Lr (cm)	Ea (%)	Ea 1/4 inf (%)	UD (%)	Es (%)
INTERM 3 MIN.	A	9.40	9.40	9.00	10.4	100	80	87	90
	B	8.70	8.70	9.00	10.4	100			84
	C	7.70	7.70	9.00	10.4	100			74
	D	6.40	6.40	9.00	10.4	100			61
PROMEDIOS		8.00	8.00	9.00	10.4	100	80	87	77

CUADRO 2. EFICIENCIAS: APLICACION, APLICACION DEL CUARTO INFERIOR, ALMACENAMIENTO Y UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCION PARA EL TRATAMIENTO: FLUJO INTERMITENTE CON CICLOS DE CINCO MINUTOS.

TRAT.	EM	Lar (cm)	La (cm)	Lrpa (cm)	Lr (cm)	Ea (%)	Ea 1/4 inf (%)	UD (%)	Es (%)
INTERM 5 MIN.	A	8.10	8.10	8.70	10.4	100	95	97	78
	B	7.90	7.90	8.70	10.4	100			76
	C	8.10	8.20	8.70	10.4	100			78
	D	7.50	7.50	8.70	10.4	100			72
PROMEDIOS		7.90	7.90	8.70	10.4	100	95	97	76

EM = Estación de muestreo

Lar = Lámina almacenada en la zona radicular (0 - 60 cm)

La = lámina aplicada en el surco (0 - 90 cm)

Lrpa = Lámina real promedio aplicada

Lr = Lámina de agua requerida (0 - 60 cm)

Ea = Eficiencia de aplicación

Ea 1/4 inf. = Eficiencia de aplicación en el cuarto inferior

UD = Uniformidad de distribución

Es = Eficiencia de almacenamiento

CUADRO 3. EFICIENCIAS: APLICACION, APLICACION DEL CUARTO INFERIOR, ALMACENAMIENTO Y UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCION PARA EL TRATAMIENTO: FLUJO INTERMITENTE CON CICLOS DE SIETE MINUTOS.

TRAT.	EM	Lar (cm)	La (cm)	Lrpa (cm)	Lr (cm)	Ea (%)	Ea 1/4 inf (%)	UD (%)	Es (%)
INTERM 7 MIN.	A	8.50	8.50	8.90	10.4	100	88	94	82
	B	8.20	8.20	8.90	10.4	100			79
	C	8.10	8.10	8.90	10.4	100			78
	D	7.00	7.00	8.90	10.4	100			67
PROMEDIOS		7.90	7.90	8.90	10.4	100	88	94	76

CUADRO 4. EFICIENCIAS: APLICACION, APLICACION DEL CUARTO INFERIOR, ALMACENAMIENTO Y UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCION PARA EL TRATAMIENTO: FLUJO CONTINUO.

TRAT.	EM	Lar (cm)	La (cm)	Lrpa (cm)	Lr (cm)	Ea (%)	Ea 1/4 inf (%)	UD (%)	Es (%)
FLUJO CONT.	A	10.10	10.10	9.40	10.4	100	69	83	97
	B	9.80	9.80	9.40	10.4	100			94
	C	8.20	8.20	9.40	10.4	100			79
	D	5.90	5.90	9.40	10.4	100			56
PROMEDIOS		8.50	8.50	9.40	10.4	100	69	83	82

EM = Estación de muestreo

Lar = Lámina almacenada en la zona radicular (0 - 60 cm)

La = lámina aplicada en el surco (0 - 90 cm)

Lrpa = Lámina real promedio aplicada

Lr = Lámina de agua requerida (0 - 60 cm)

Ea = Eficiencia de aplicación

Ea 1/4 inf. = Eficiencia de aplicación en el cuarto inferior

UD = Uniformidad de distribución

Es = Eficiencia de almacenamiento

TABLA 1. DATOS PROMEDIO DE LA PRUEBA DE RIEGO PARA EL TRATAMIENTO: FLUJO INTERMITENTE CON CICLOS DE TRES MINUTOS (CARGA APLICADA=10.5 CM)

PRIMER CICLO DE 3 MINUTOS	
TIEMPO (Min)	DISTANCIA DE AVANCE (m)
1' 30"	9.91
3' 00"	20.25
AL COLEO	39.09

CICLOS SIGUIENTES

CICLOS	Tiempo en avanzar la dist. seca del surco hasta el corte del flujo	Dist. avanzada al tiempo del corte	Dist. máx avanzada (coleo)
SEGUNDO CICLO	0.00	38.74	49.80
TERCER CICLO	0.00	48.16	59.90
CUARTO CICLO	0.00	57.77	68.35
QUINTO CICLO	0.00	65.81	78.33
SEXTO CICLO	0.00	74.37	85.67
SEPTIMO CICLO	0.00	80.69	88.98
OCTAVO CICLO	0.00	83.11	92.87
NOVENO CICLO	0.00	90.80	100.00

TIEMPO DE RECESION

DISTANCIA	TIEMPO	DISTANCIA	TIEMPO
0 + 10	4' 46"	0 + 60	15' 27"
0 + 20	10' 07"	0 + 70	16' 38"
0 + 30	9' 27"	0 + 80	18' 55"
0 + 40	11' 36"	0 + 90	21' 53"
0 + 50	13' 09"	0 + 100	20' 25"

TABLA 2. DATOS PROMEDIO DE LA PRUEBA DE RIEGO PARA EL TRATAMIENTO: FLUJO INTERMITENTE CON CICLOS DE CINCO MINUTOS (CARGA APLICADA=10.5 CM)

PRIMER CICLO DE 5 MINUTOS	
TIEMPO (Min)	DISTANCIA DE AVANCE (m)
2' 30"	17.28
5' 00"	30.67
AL COLEO	40.45

CICLOS SIGUIENTES

CICLOS	Tiempo en avanzar la dist. seca del surco hasta el corte del flujo	Dist. avanzada al tiempo del corte	Dist. máx avanzada (coleo)
SEGUNDO CICLO	2' 42"	48.77	60.40
TERCER CICLO	1' 16"	67.48	83.35
CUARTO CICLO	0' 00"	81.54	92.53
QUINTO CICLO	0' 00"	89.76	100.00

TIEMPO DE RECESION

DISTANCIA	TIEMPO
0 + 10	15' 51"
0 + 20	14' 23"
0 + 30	15' 42"
0 + 40	15' 31"
0 + 50	15' 17"
0 + 60	16' 16"
0 + 70	17' 46"
0 + 80	20' 39"
0 + 90	21' 13"
0 + 100	21' 49"

TABLA 3. DATOS PROMEDIO DE LA PRUEBA DE RIEGO PARA EL TRATAMIENTO: FLUJO INTERMITENTE CON CICLOS DE SIETE MINUTOS (CARGA APLICADA=10.5 CM)

PRIMER CICLO DE 7 MINUTOS	
TIEMPO (Min)	DISTANCIA DE AVANCE (m)
3' 30"	24.61
7' 00"	42.08
AL COLEO	58.07

CICLOS SIGUIENTES

CICLOS	Tiempo en avanzar la dist. seca del surco hasta el corte del flujo	Dist. avanzada al tiempo del corte	Dist. máx avanzada (colec)
SEGUNDO CICLO	2' 01"	64.39	81.00
TERCER CICLO	0' 14"	82.14	91.25
CUARTO CICLO	0' 00"	90.70	100.00

TIEMPO DE RECESION

DISTANCIA	TIEMPO
0 + 10	9' 39"
0 + 20	12' 56"
0 + 30	11' 27"
0 + 40	9' 46"
0 + 50	12' 25"
0 + 60	17' 52"
0 + 70	17' 14"
0 + 80	19' 03"
0 + 90	22' 15"
0 + 100	21' 56"

TABLA 4. DATOS PROMEDIO DE LA PRUEBA DE RIEGO PARA EL TRATAMIENTO: FLUJO CONTINUO (CARGA APLICADA=10.5 CM)

DISTANCIA DE AVANCE	TIEMPO	TIEMPO DE RECESION
0 + 10	2' 11"	2' 51"
0 + 20	3' 22"	5' 44"
0 + 30	4' 12"	6' 28"
0 + 40	5' 27"	5' 26"
0 + 50	8' 35"	6' 08"
0 + 60	12' 06"	5' 49"
0 + 70	17' 16"	7' 32"
0 + 80	21' 18"	10' 04"
0 + 90	30' 09"	12' 40"
0 + 100	37' 32"	16' 58"

TABLA 5. DATOS DE LA PRUEBA DE INFILTRACION PARA EL TRATA ---
MIENTO: FLUJO INTERMITENTE CON CICLOS DE TRES MINU -
TOS.

CARGA APLICADA (cm)			TIEMPO DE LECTURA
AFORADOR 1	AFORADOR 2	TUBO	
			INICIO 0' 10"
7.0	0.0	10.4	1' 30"
7.0	0.0		7' 30"
7.0	0.0		13' 30"
7.0	0.0		19' 30 "
7.0	0.0	10.5	25' 30 2
			LLEG. AFOR. 2:26'36"
			SAL. AFOR. 2: 26'37"
7.0	5.1	10.5	31' 30"
7.0	5.6		37' 30"
7.0	6.0		43' 30"
7.0	6.3		49' 30"
7.0	6.5		55' 30"
7.0	6.6	10.5	61' 30"

TABLA 6. DATOS DE LA PRUEBA DE INFILTRACION PARA EL TRATA ---
MIENTO: FLUJO INTERMITENTE CON CICLOS DE CINCO MINU-
TOS.

CARGA APLICADA (cm)			TIEMPO DE LECTURA
AFORADOR 1	AFORADOR 2	TUBO	
7.0	0.0	10.5	INICIO 0' 06"
7.0	0.0		2' 30"
			12' 30"
			LLEG. AFOR. 2:14'23"
			SAL. AFOR. 2: 14'36"
7.0	5.2	10.5	22' 30"
7.0	5.7		32' 30"
7.0	6.2		42' 30"
7.0	6.5		52' 30"
7.0	6.7	10.5	1 02' 30"
7.0	6.8		1 12' 30"

TABLA 7. DATOS DE LA PRUEBA DE INFILTRACION PARA EL TRATA ---
MIENTO: FLUJO INTERMITENTE CON CICLOS DE SIETE MINU-
TOS.

CARGA APLICADA (cm)			TIEMPO DE LECTURA
AFORADOR 1	AFORADOR 2	TUBO	
7.0	0.0	10.4	INICIO 0' 07" 3' 30" LLEG. AFOR. 2: 8' 10" SAL. AFOR. 2: 8' 40"
7.0	5.4	10.5	17' 30"
7.0	5.9		31' 30"
7.0	6.3		45' 30"
7.0	6.4		59' 30"
7.0	6.6		1 13' 30"
7.0	6.7	10.5	1 27' 30"

TABLA 8. DATOS DE LA PRUEBA DE INFILTRACION PARA EL TRATA ---
MIENTO: FLUJO CONTINUO

CARGA APLICADA (cm)			TIEMPO DE LECTURA
AFORADOR 1	AFORADOR 2	TUBO	
			INICIO 0' 11"
7.0	0.0	10.5	2' 00"
7.0	0.0		4' 00"
7.0	0.0		6' 00"
			LLEG. AFOR. 2:7' 8"
			SAL. AFOR. 2:7' 21"
7.0	2.5	10.5	8' 00"
7.0	3.0		10' 00"
7.0	3.5		12' 00"
7.0	4.3		14' 00"
7.0	5.3		16' 00"
7.0	5.8		18' 00"
7.0	6.1	10.5	20' 00"
7.0	6.3		22' 00"
7.0	6.4		24' 00"
7.0	6.5	10.5	26' 00"

TABLA 9. DATOS PROMEDIO GENERALES DEL MUESTREO DE SUELOS DES-
PUES DEL RIEGO PARA EL TRATAMIENTO: FLUJO INTERMI --
TENTE CON CICLOS DE TRES MINUTOS.

# SURCO	L.M.	PROF. DE MUESTREO (CM)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
G E N E R A L	A	0 - 30	24.60
		30 - 60	21.15
		60 - 90	14.02
G E N E R A L	B	0 - 30	24.71
		30 - 60	20.11
		60 - 90	12.45
G E N E R A L	C	0 - 30	24.00
		30 - 60	18.70
		60 - 90	10.47
G E N E R A L	D	0 - 30	21.19
		30 - 60	17.40
		60 - 90	10.00

TABLA 10. DATOS PROMEDIO GENERALES DEL MUESTREO DE SUELOS ---
 DESPUES DEL RIEGO PARA EL TRATAMIENTO: FLUJO INTER-
 MITENTE CON CICLOS DE CINCO MINUTOS.

# SURCO	L.M.	PROF. DE MUESTREO (CM)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
G	A	0 - 30	24.10
		30 - 60	20.73
		60 - 90	11.00
E	B	0 - 30	24.18
		30 - 60	20.99
		60 - 90	11.21
N	C	0 - 30	24.85
		30 - 60	19.13
		60 - 90	10.93
E	D	0 - 30	23.54
		30 - 60	18.00
		60 - 90	09.91
R			
A			
L			

TABLA 11. DATOS PROMEDIO GENERALES DEL MUESTREO DE SUELOS ---
 DESPUES DEL RIEGO PARA EL TRATAMIENTO: FLUJO INTER-
 MITENTE CON CICLOS DE SIETE MINUTOS.

# SURCO	L.M.	PROF. DE MUESTREO (CM)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
G	A	0 - 30	24.05
		30 - 60	21.50
		60 - 90	11.33
E	B	0 - 30	23.91
		30 - 60	21.18
		60 - 90	10.82
R	C	0 - 30	24.22
		30 - 60	19.35
		60 - 90	10.42
A	D	0 - 30	21.56
		30 - 60	18.30
		60 - 90	09.84

TABLA 12. DATOS PROMEDIO GENERALES DEL MUESTREO DE SUELOS ---
 DESPUES DEL RIEGO PARA EL TRATAMIENTO: FLUJO CONTI-
 NUO.

# SURCO	L.M.	PROF. DE MUESTREO (CM)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
G E N E R A L	A	0 - 30	24.27
		30 - 60	22.28
		60 - 90	14.67
G E N E R A L	B	0 - 30	24.46
		30 - 60	23.16
		60 - 90	13.27
G E N E R A L	C	0 - 30	24.94
		30 - 60	18.92
		60 - 90	10.17
G E N E R A L	D	0 - 30	21.46
		30 - 60	15.88
		60 - 90	09.70

TABLA 13. DATOS PROMEDIO GENERALES DEL MUESTREO DE SUELOS ANTES DEL RIEGO PARA LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS.
 NUO.

# SURCO	L.M.	PROF. DE MUESTREO (CM)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
G	A	0 - 30	11.27
		30 - 60	12.79
		60 - 90	11.89
E	B	0 - 30	11.90
		30 - 60	12.29
		60 - 90	11.24
R	C	0 - 30	11.26
		30 - 60	11.79
		60 - 90	10.57
A	D	0 - 30	11.03
		30 - 60	11.14
		60 - 90	10.00

TABLA 14. DATOS PROMEDIO DEL PERIMETRO MOJADO DETERMINADO -
 PARA EL TRATAMIENTO: FLUJO INTERMITENTE CON CI --
 CLOS DE TRES MINUTOS.

DIST. (CM)	PROFUND. PROMEDIO	PROFUNDIDADES A DIF. DISTANCIAS EN EL SURCO (MTS)									
		05	15	25	35	45	55	65	75	85	95
05	3.01	3.5	5.5	2.2	2.0	2.5	2.3	3.5	3.4	2.7	2.5
10	5.90	5.0	8.0	6.5	5.0	4.0	6.0	6.8	7.8	4.1	6.1
15	6.74	7.0	7.0	7.6	6.6	6.5	9.2	6.5	8.2	5.6	7.8
20	6.92	7.3	6.0	8.0	6.2	6.5	7.7	6.4	7.2	6.6	7.3
25	5.85	6.0	4.0	6.3	6.5	6.0	6.7	3.2	6.2	6.0	7.6
30	3.80	3.0	3.0	3.0	3.0	3.6	4.0	3.0	5.2	4.4	5.8
35	1.50	1.5	1.0	1.7	1.0	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0	3.5

PERIMETRO MOJADO CALCULADO = 36.20 CM

TABLA 15. DATOS PROMEDIO DEL PERIMETRO MOJADO DETERMINADO -
 PARA EL TRATAMIENTO: FLUJO INTERMITENTE CON CI --
 CLOS DE CINCO MINUTOS.

DIST. (CM)	PROFUND. PROMEDIO	PROFUNDIDADES A DIF. DISTANCIAS EN EL SURCO (MTS)									
		05	15	25	35	45	55	65	75	85	95
05	3.72	4.7	3.0	3.5	4.5	1.5	3.5	3.5	5.0	2.5	5.5
10	6.15	8.5	6.5	6.0	8.0	4.5	4.0	5.5	7.0	4.0	7.5
15	6.85	9.5	8.0	8.0	8.5	5.0	5.0	5.0	7.0	6.0	6.5
20	6.22	9.0	8.5	8.5	8.0	4.7	4.5	4.0	5.0	5.5	4.5
25	5.10	8.5	7.0	6.5	7.0	2.0	2.5	1.5	2.5	2.0	1.5
30	4.25	8.5	6.5	6.5	7.5	2.5	2.5	1.5	2.5	2.0	1.5
35	2.95	4.5	5.8	3.8	4.5	2.5	1.0	1.0	3.4	2.0	1.0

PERIMETRO MOJADO CALCULADO = 34.50 CM

TABLA 16. DATOS PROMEDIO DEL PERIMETRO MOJADO DETERMINADO -
 PARA EL TRATAMIENTO: FLUJO INTERMITENTE CON CI --
 CLOS DE SIETE MINUTOS.

DIST. (CM)	PROFUND. PROMEDIO	PROFUNDIDADES A DIF. DISTANCIAS EN EL SURCO (MTS)									
		05	15	25	35	45	55	65	75	85	95
05	2.79	3.8	2.0	3.8	1.8	3.2	2.0	2.0	3.0	4.8	2.5
10	4.83	5.7	4.4	5.3	4.2	5.3	4.0	4.8	3.8	6.5	4.3
15	7.51	8.8	8.2	5.4	7.0	8.5	6.8	8.6	6.0	9.5	6.3
20	7.40	7.3	6.7	6.8	6.7	8.6	7.2	7.3	6.2	8.5	6.7
25	6.12	5.4	6.2	5.3	4.4	7.7	6.6	5.5	5.7	8.2	6.2
30	4.01	3.8	3.8	4.0	4.0	5.0	3.5	3.0	4.2	4.8	4.0
35	1.20	2.4	2.0	2.0	2.0	2.8	2.0	2.0	2.2	2.4	2.0

PERIMETRO MOJADO CALCULADO = 37.65 CM

TABLA 17. DATOS PROMEDIO DEL PERIMETRO MOJADO DETERMINADO -
 PARA EL TRATAMIENTO: FLUJO CONTINUO.

DIST. (CM)	PROFUND. PROMEDIO	PROFUNDIDADES A DIF. DISTANCIAS EN EL SURCO (MTS)									
		05	15	25	35	45	55	65	75	85	95
05	3.09	4.0	4.3	3.5	2.8	2.0	2.0	3.8	3.0	3.5	2.0
10	5.58	5.5	8.0	6.0	6.5	3.5	5.0	5.6	5.5	6.0	4.3
15	7.44	7.0	8.7	8.5	7.8	6.0	7.2	7.3	7.5	7.5	7.0
20	7.58	7.1	11	8.0	7.9	7.8	6.3	7.9	7.0	7.0	5.8
25	6.96	6.8	10	7.5	6.5	6.6	5.4	6.3	7.5	4.5	4.0
30	3.83	5.0	8.0	2.5	3.7	3.4	2.5	5.0	5.3	1.0	2.0
35	0.85	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0

PERIMETRO MOJADO CALCULADO = 38.90 CM

