

EVALUACION Y MEJORAMIENTO DEL METODO
DE RIEGO POR MELGAS EN CD. ANAHUAC, N. L.

MARCO ANTONIO ARELLANO GARCIA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN RIEGO Y DRENAJE



Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro

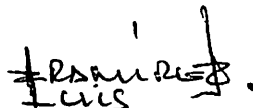
PROGRAMA DE GRADUADOS
Buenavista, Saltillo, Coah.
DICIEMBRE DE 1990

Tesis elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como requisito parcial, para optar al grado de

MAESTRO EN CIENCIAS
RIEGO Y DRENAJE

COMITE PARTICULAR

Asesor principal:



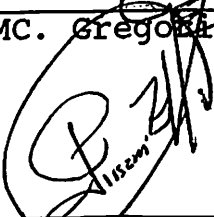
Ing. MC. Luis Edmundo Ramírez Ramos

Asesor:



Ing. MC. Gregorio Briones Sánchez

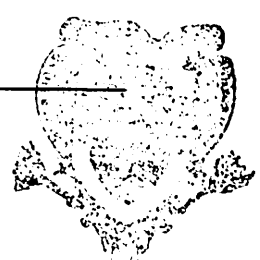
Asesor:



Dr. Juan Ego. Pissani Zúñiga



Dr. José M. Fernández Brondo
Subdirector de Asuntos de Postgrado



BIBLIOTECA
EGIDIO G. REBONATO
U. A. A. A. N.
SALTILLO, COAH.

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Diciembre 1990.

AGRADECIMIENTOS

AL ING. M.C. LUIS EDMUNDO RAMIREZ RAMOS

Por su apoyo decidido para la realización de la presente investigación, así como por su amistad brindada en el transcurso del presente trabajo.

Luis: Mi más profundo agradecimiento.

AL DR. JUAN FCO. PISSANI ZUÑIGA

Por su valiosa colaboración en la realización del presente escrito.

AL ING. M.C. GREGORIO BRIONES SANCHEZ

Por las correcciones hechas al escrito.

AL DR. ENRIQUE NAVARRO

Por su apoyo y amistad.

AL DR. JOSE M. FERNANDEZ BRONDO

Por las facilidades otorgadas en la presentación del examen de grado.

A MIS COMPAÑEROS DE POSTGRADO

A LOS INGENIEROS DEL DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE, ASI COMO A LAS SECRETARIAS Y LABORATORISTAS DEL MISMO.

A MIS AMISTADES DE SALTILLO Y CD. ANAHUAC N.L.

A todos ellos gracias por su apoyo y amistad en el transcurso de la maestría y realización de la tesis.

AL INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES Y AGROPECUARIAS Y AL CONACYT

Por brindarme la oportunidad de superación profesional.

A LOS AGRICULTORES DE CD. ANAHUAC, N.L.

Gracias por su colaboración en el presente trabajo.

DEDICATORIAS

POR SOBRE TODAS LAS COSAS A DIOS POR SER EL GUIA ESPIRITUAL
EN NUESTRO CAMINO.

A MIS PADRES

HECTOR RICARDO ARELLANO JIMENEZ

DOLORES GARCIA DE ARELLANO

POR SU GRAN SACRIFICIO Y ESMERO EN MI EDUCACION.
A ELLOS CON TODO MI AMOR Y RESPETO.

A TODOS MIS HERMANOS POR SU GRAN APOYO MORAL

EN FORMA ESPECIAL A MI ESPOSA:

PATRICIA DEYANIRA ARREDODO ELIZONDO

POR SU AMOR Y COMPRESION EN EL ARDUO CAMINO DE LA
MAESTRIA.

A MI HIJO:

MARCO A. ARELLANO ARREDONDO

ESPERANDO QUE ALGUN DIA LO TOME COMO MUESTRA DE SUPERACION.

A MIS SUEGROS Y CUÑADOS

POR SU APOYO Y ATENCIONES PRESENTADAS DURANTE EL TRANCURSO
DE LA MAESTRIA.

COMPENDIO

Evaluación y Mejoramiento del Método de Riego por Melgas en
Cd. Anáhuac, N.L.

POR

MARCO ANTONIO ARELLANO GARCIA

MAESTRIA EN CIENCIAS

RIEGO Y DRENAJE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. DICIEMBRE 1990

M.C. Luis Edmundo Ramírez Ramos - Asesor -

Palabras Clave: Especificaciones de diseño, Pruebas de riego, avance y recesión, eficiencias, rendimientos, trigo, procedimientos sintéticos, modelo de simulación.

Esta investigación se desarrolló para diseñar el método de riego por melgas con altas eficiencias, así como para lograr ahorro de volúmenes de agua de riego y aumentos en el rendimiento del cultivo de trigo. El trabajo fue

desarrollado en la Región de Cd. Anáhuac, N.L., en donde se tiene la problemática de bajas eficiencias de riego por este método y consecuentemente menores rendimientos.

Las especificaciones de diseño probadas, fueron: rangos de gastos unitarios de 1.9 a 3.8 lps/100 m² y rangos de pendientes de 0.003 a 0.305 por ciento, en suelos de textura arcillosa y migajones.

Los resultados indican que al emplear los mayores gastos unitarios y pendientes, se obtienen las más altas eficiencias de riego, correspondiendo estas especificaciones a un aumento en el rendimiento del cultivo de trigo y a una reducción del 40 por ciento en los volúmenes actualmente utilizados en la Región.

Por otra parte se emplearon los procedimientos sintéticos y en base a los resultados obtenidos, es posible afirmar que estos procedimientos son de utilidad en algunas regiones en donde se carezca de información básica para el diseño y en donde las eficiencias de riego sean mínimas.

El modelo de simulación utilizado, predice adecuadamente la fase de avance y en la fase de recesión se desvía en parte de los resultados obtenidos. Sin embargo, al calcular las láminas infiltradas por el modelo se encuentra que su variación es de 1 a 3 centímetros en la lámina infiltrada, con respecto a las reales; esto desde un punto de vista práctico, no es significativo y el modelo puede ser utilizado para encontrar las especificaciones de diseño más adecuadas a una Región.

INDICE DE CONTENIDO

	página
INDICE DE CUADROS	xii
INDICE DE FIGURAS	xiv
INTRODUCCION	1
REVISION DE LITERATURA	4
- Aforo	4
- Infiltración	4
- Diseño y Características del Riego ...	5
- Eficiencias de Riego	6
- Metodologías de Diseño.....	8
- Mediciones Directas	8
- Procedimientos Sintéticos	9
- Modelos de Simulación.....	9
- Modelo Hidrodinámico-Características de Acercamiento	9
- Modelo Hidrodinámico - Integración Euleriana	10
- Modelo Zero - Inercia	11
- Modelo Onda - Cinemática.....	11
- Modelo Balance - Volumen.....	12
- Modelo de Reddy	13
MATERIALES Y METODOS	14
- Area General de la Localidad	14

- Lotes de Estudio	14
- Materiales Empleados.....	17
- Metodologías Empleadas	17
- Humedad	17
- Velocidad de Infiltración.....	18
- Medición del Gasto	18
- Selección de Gastos	19
- Variantes Registradas en cada Lote .	19
- Pruebas de Riego	19
- Procesamiento de la Información	20
- Procedimientos Sintéticos	20
- Método del Gasto Unitario	20
- Método Balance-Volumen	20
- Método Quasi-Racional	21
- Modelos de Simulación	21
RESULTADOS Y DISCUSION	22
- Parámetros Evaluados	22
- Pruebas de Riego	22
- Lote A	22
- Lote B	25
- Lote C	27
- Rendimientos	30
- Análisis Volumétrico	31
- Procedimientos Sintéticos	32
- Método del Gasto Unitario	32
- Método Quasi-Racional	33
- Método Balance-Volumen	33

- Modelo de Simulación	34
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	38
LITERATURA CITADA	40
APENDICE A1	45
APENDICE A2	43
APENDICE B	55
APENDICE C	59
APENDICE D	62
APENDICE E	64
APENDICE F	67
APENDICE G	78
APENDICE H	81
APENDICE I	83
APENDICE J	85
APENDICE K	90
APENDICE L	106
APENDICE LL	108
APENDICE M	118

INDICE DE CUADROS

		página
3.1	Características de los lotes seleccionados..	15
3.2	Especificaciones de diseño empleadas en cada lote	16
4.1	Parámetros de la ecuación de Kostiakov obtenidos en las pruebas de campo, por medio de los cilindros infiltrómetros	23
4.2	Rendimientos obtenidos por las diferentes especificaciones de diseño empleadas en los tres lotes de estudio	44
4.4	Coeficientes de ecuación de infiltración (k y a) obtenidos a partir de los datos de avance por el método de balance de volumen....	82
4.5	Eficiencias de riego obtenidas en todas las pruebas de riego para los tres lotes en estudio.....	84
4.6	Especificaciones de diseño obtenidos mediante los procedimientos sintéticos y de campo, para el lote C. riego de presiembra	107
4.7	Datos observados de avance y recesión en campo para el riego de presiembra en lote C. Gasto de 3.8 lps/100 m ²	119
4.9	Datos observados de avance y recesión en campo para el riego de presiembra en lote C. Gasto de 2.1 lps/100 m ²	120
4.10	Datos observados de avance y recesión en campo para el primer riego de auxilio en lote C. Gasto de 2.1 lps/100 m ²	120
4.11	Datos observados de avance y recesión en campo para el primer riego de auxilio en lote C. Gasto de 3.8 lps/100 m ²	121
4.12	Datos observados de avance y recesión en campo para el primer riego de auxilio en lote C. Gasto de 3.0 lps/100 m ²	121

4.13	Datos observados de avance y recesión en campo para el segundo riego de auxilio en lote C. Gasto de 3.8 lps/100 m ²	122
4.14	Datos observados de avance y recesión en campo para el segundo riego de auxilio en lote C. Gasto de 3.0 lps/100 m ²	122
4.15	Datos observados de avance y recesión en campo para el riego de presiembra en lote A. Gasto de 2.1 lps/100 m ²	123
4.16	Datos observados de avance y recesión en campo para el riego de presiembra en lote A. Gasto de 3.1 lps/100 m ²	123
4.17	Datos observados de avance y recesión en campo para el primer riego de auxilio en lote A. Gasto de 2.1 lps/100 m ²	124
4.18	Datos observados de avance y recesión en campo para el primer riego de auxilio en lote A. Gasto de 3.1 lps/100 m ²	124

INDICE DE FIGURAS

		página
3.1	Pendiente longitudinal en el lote C, para el gasto de 3.8 lps/100 m ²	86
3.2	Pendiente longitudinal en el lote C, para el gasto de 3.0 lps/100 m ²	86
3.3	Pendiente longitudinal en el lote C, para el gasto de 2.1 lps/100 m ²	87
3.4	Pendiente longitudinal en el lote A, para el gasto de 3.1 lps/100 m ²	87
3.5	Pendiente longitudinal en el lote A, para el gasto de 2.1 lps/100 m ²	88
3.6	Pendiente longitudinal en el lote B, para el gasto de 3.3 lps/100 m ²	88
3.7	Pendiente longitudinal en el lote B, para el gasto de 2.7 lps/100 m ²	89
3.8	Pendiente longitudinal en el lote B, para el gasto de 1.9 lps/100 m ²	89
3.9	Curva de calibración del bloque de resistencia a la profundidad 0-30 cms, para el lote C	60
3.10	Curva de calibración del bloque de resistencia a la profundidad 30-60 cms, para el lote C	60
3.11	Curva de calibración del bloque de resistencia a la profundidad 30-90 cms, para el lote C	61
3.12	Curva de calibración para sifón de dos pulgadas de diámetro	63
4.1	Avance y recesión en el riego de presiembra para el gasto de 2.1 lps/100 m ² en el lote A ..	24
4.2	Avance y recesión en el riego de presiembra para el gasto de 3.1 lps/100 m ² en el lote A ..	24
4.3	Avance y recesión en el primer riego de auxilio para el gasto de 2.1 lps/100 m ² en el lote A ..	46

4.4	Avance y recesión en el primer riego de auxilio para el gasto de 3.1 lps/100 m ² en el lote A ..	46
4.5	Avance y recesión en el riego de presiembra para el gasto de 3.3 lps/100 m ² en el lote B ..	27
4.6	Avance y recesión en el riego de presiembra para el gasto de 2.7 lps/100 m ² en el lote B ..	47
4.7	Avance y recesión en el riego de presiembra para el gasto de 1.9 lps/100 m ² en el lote B ..	47
4.8	Avance y recesión en el riego de presiembra para el gasto de 3.8 lps/100 m ² en el lote C ..	29
4.9	Avance y recesión en el riego de presiembra para el gasto de 3.0 lps/100 m ² en el lote C ..	48
4.10	Avance y recesión en el riego de presiembra para el gasto de 2.1 lps/100 m ² en el lote C ..	48
4.11	Avance y recesión en el primer riego de auxilio para el gasto de 3.8 lps/100 m ² en el lote C ..	49
4.12	Avance y recesión en el primer riego de auxilio para el gasto de 3.0 lps/100 m ² en el lote C ..	49
4.13	Avance y recesión en el primer riego de auxilio para el gasto de 2.1 lps/100 m ² en el lote C ..	50
4.14	Avance y recesión en el 2 ^{do} riego de auxilio para el gasto de 3.8 lps/100 m ² en el lote C ..	50
4.15	Avance y recesión en el 2 ^{do} riego de auxilio para el gasto de 3.0 lps/100 m ² en el lote C ..	51
4.17	Resultados del Modelo de Reddy. 1 ^{er} riego aux. gasto de 3.8 lps/100 m ² en el lote C	51
4.18	Resultados del Modelo de Reddy. 1 ^{er} riego aux. gasto de 3.0 lps/100 m ² en el lote C	52
4.19	Resultados del Modelo de Reddy. 1 ^{er} riego aux. gasto de 2.1 lps/100 m ² en el lote C	52
4.20	Resultados del Modelo de Reddy. 2 ^{do} riego aux. gasto de 3.8 lps/100 m ² en el lote C	53
4.21	Resultados del Modelo de Reddy. 2 ^{do} riego aux. gasto de 3.0 lps/100 m ² en el lote C	53
4.22	Resultados del Modelo Modificado. 1 ^{er} riego aux. gasto de 3.8 lps/100 m ² en el lote C	54

4.23 Resultados del Modelo Modificado. 1^{er} riego
aux. gasto de 3.0 lps/100 m² en el lote C

INTRODUCCION

El sistema de riego por melgas rectas es uno de los métodos más empleados en la agricultura de riego y aunque usa volúmenes considerables de agua, potencialmente, puede resultar muy eficiente. El estudio de los aspectos relativos a su diseño y operación es importante en la planeación de nuevos proyectos de riego y en la conservación y mejoramiento de los sistemas que actualmente funcionan.

Uno de los factores más importantes que limitan la producción agrícola del país, es la mala operación y distribución del agua de riego en la parcela; lo que trae como consecuencia que los cultivos no tengan un medio apropiado para su desarrollo. El uso ineficiente del agua de riego resulta, comúnmente, tanto del diseño inadecuado como de la operación inapropiada del sistema de aplicación del agua que se use en el riego de los cultivos. Esto mismo sucede en el Distrito de Desarrollo Rural Integral "Anáhuac", el cual se encuentra ubicado en los Estados de Nuevo León y Coahuila, en la Latitud $27^{\circ} 14'$ y Longitud $100^{\circ} 09'$, con una altura sobre el nivel del mar de 187 m. En general, para esta zona, no son tomadas en cuenta las características del suelo sobre el cual se practica el riego, estableciendo diseños de riego arbitrarios, lo cual

conduce a la pérdida de grandes volúmenes del agua de riego disminuyendo el potencial de rendimiento del cultivo.

Lo anterior propicia un mayor abatimiento en los niveles de la presa "Venustiano Carranza", de la cual se extraen dichos volúmenes; esto aparentemente no se toma en consideración, sino hasta que se presentan épocas de sequía, en las cuales los niveles volumétricos de la presa disminuyen hasta su capacidad mínima y es entonces cuando se le da la importancia debida imponiendo políticas de dotación hasta de tres hectáreas por usuario; reduciendo drásticamente la producción global de este cultivo.

En virtud de las anteriores condiciones, se propuso la presente investigación, tendiente a determinar las mejores especificaciones de diseño de riego por melgas para este cultivar. De ésta forma, la aplicación de las especificaciones de diseño en el método de riego por melgas, permitirá elevar la eficiencia del riego, disminuir los volúmenes actualmente empleados y aumentar el rendimiento de este cultivo.

Ahora bien, existen metodologías para el diseño del riego por melgas rectas, algunas más adecuadas para resolver el diseño porque son más prácticas y tienen procedimientos de cálculo más sencillos; así como modelos de simulación que proporcionan la mayor información posible para estos sistemas. El empleo de estas metodologías y modelos de simulación permitirán encontrar las especificaciones de diseño correctas del método de riego por melgas.

OBJETIVO GENERAL

- 1). Aumentar la eficiencia en el método de riego por melgas

OBJETIVOS PARTICULARES

- 1). Establecer especificaciones de diseño que disminuyan los volúmenes actualmente utilizados.
- 2). Aumentar Indirectamente el rendimiento para este cultivo.
- 3). Seleccionar una de las metodologías de diseño en base a su confiabilidad para predecir las especificaciones de diseño.
- 4). Comprobar la validez del modelo de simulación, para predecir el avance y recesión del método de riego por melgas rectas.

HIPOTESIS

- 1). Las especificaciones de diseño de gastos grandes y pendientes mayores del 0.2 por ciento, permiten aumentar la eficiencia del método de riego por melgas.
- 2). Algunas metodologías de diseño, predicen mejor las características físicas y de operación del sistema de riego por melgas.
- 3). El modelo de simulación predice adecuadamente el comportamiento de los tiempos de avance y recesión para el sistema de riego por melgas.

REVISION DE LITERATURA

En los siguientes apartados se describe la revisión hecha para cada uno de los temas de interés.

Aforo

Walker (1987) describe las características de construcción del aforador tipo Parshall para un amplio rango de gastos, mencionando que las características más deseables de éste aforador son que opera satisfactoriamente con pérdidas de carga mucho menores que las requeridas por un vertedor, y que bajo las condiciones normales de operación, el gasto puede ser determinado con un rango de error del 2 al 5 por ciento. Por otra parte Señala que su principal desventaja es el tamaño de la estructura. CENAMAR (1981), describe el método del flotador, para la obtención del gasto en canales.

Infiltración

Pissani (1976), CENAMAR (1981) y García (1982) describen la infiltración como uno de los factores más importantes en el diseño de los métodos de riego. Argumentan que la infiltración depende de muchos factores, entre ellos el espesor de agua, temperatura del agua, textura y estructura del suelo, además del contenido de

humedad del suelo. Por otra parte mencionan que existen muchas fórmulas empíricas para calcular la infiltración, una de las ecuaciones que han considerado un gran número de investigadores es la de Kostiakov:

$$VI = k T^n$$

Donde:

VI = Velocidad de Infiltración (cm/hr)

k = Coeficiente de infiltración por unidad de tiempo (cm/hr).

T = Tiempo (min)

n = Exponente negativo encontrado a partir al medir la pendiente

También argumentan que las funciones más comunes de expresar la infiltración del suelo son: la infiltración instantánea, la infiltración acumulada y la infiltración básica.

Diseño y Características del Riego

Domínguez (1971) cita que los factores que modifican el avance del agua son: la topografía del terreno, el caudal disponible, la capacidad de infiltración del suelo y el tipo de planta; una buena combinación de estos hará que el riego sea lo más eficiente posible desde el punto de vista de la aplicación del agua. Por otra parte menciona que para diseñar un buen sistema de riego a base de melgas hay que considerar los siguientes aspectos:

- 1). Capacidad de Infiltración del Suelo.
- 2). Lámina Neta.
- 3). Caudal Unitario.
- 4). Pendiente.
- 5). Profundidad del Suelo.
- 6). Tipo de Cultivo.

Withers y Vipond (1978) señalan que el producto final conveniente de cualquier método de riego es una zona de raíces regada uniformemente, con una filtración que sea solo lo suficientemente profunda para una lixiviación apropiada de las sales perjudiciales.

Según la Secretaría de Recursos Hidráulicos (1967) es frecuente que muchos diseños de riego estén pobremente adaptados a los suelos y a su topografía. A menudo no se toman en cuenta la velocidad de infiltración del suelo y su capacidad de retención de humedad antes de la preparación para el riego. Por otra parte, cita que las pruebas llevadas a cabo por el servicio de conservación del suelo, para evaluar los diseños de riego por surcos y melgas, mostraron la necesidad de controlar los gastos, especialmente donde el agua es conducida a través de grandes conductos en los cuales el flujo es susceptible de variación.

Eficiencias de Riego

Domínguez (1971) reporta que la eficiencia del riego depende especialmente de la infiltración del terreno y del sistema de riego elegido, influyendo también el gasto de riego utilizado y la superficie que se irrigará con ese gasto; la pendiente y el tipo de cultivo.

Israelsen y Hansen (1965) define las eficiencias de aplicación del agua para medir la eficiencia con la cual el agua derivada a un terreno ha sido almacenada en el suelo dentro de la zona de las raíces de donde podría ser usada

por las plantas; definió también las eficiencias de almacenamiento y de distribución para evaluar lo adecuado de un riego, siendo las siguientes:

1).- Eficiencia de aplicación del agua:

$$Ea = \frac{wf}{ws} * 100$$

Donde:

Ea = Eficiencia de aplicación (por ciento)
 wf = Agua almacenada en la zona radicular durante un riego.
 ws = Agua aplicada de riego.

2).- Eficiencia de almacenamiento del agua:

$$Es = \frac{wf}{wr} * 100$$

Donde:

Es = Eficiencia de almacenamiento (por ciento)
 wr = agua que necesita la zona radicular antes del riego

3).- Uniformidad de distribución del sistema:

$$Ed = 100 * [1 - (Y/D)]$$

Donde:

Ed = Uniformidad de distribución (por ciento)
 y = Desviación media de la lámina infiltrada almacenada con respecto a la lámina infiltrada promedio
 d = Lámina aplicada de riego

Merriam (1978) presentó una descripción de los términos de eficiencia aplicables a la evaluación del riego a nivel parcelario basadas en el concepto del cuarto inferior. Tomando como criterio que los términos de eficiencias mencionados por Merriam (1978) son para condiciones en las cuales las láminas infiltradas siguen una distribución semiparabólica, se pueden seleccionar los

criterios de riego mencionados por Israelsen para su empleo en la presente investigación.

Metodologías de Diseño

Colque (1980) estudiando las metodologías de diseño de sistemas de riego por melgas rectas, describe las suposiciones básicas de las metodologías del gasto unitario, quasi-racional y balance de volumen; y detalla paso por paso el procedimiento sintético del gasto unitario. Jensen (1980), describe detalladamente el procedimiento sintético del método quasi-racional. Walker y Skogerboe (1987), describen ampliamente el procedimiento sintético del método de balance de volumen.

CENAMAR (1981) y Colque (1980) describen los enfoques metodológicos del riego por superficie desglosándolos como a continuación se indica:

Mediciones Directas

Los parámetros de diseño y la combinación de variables hidráulicas más adecuadas, se obtienen mediante mediciones directas en el campo. La importancia de desarrollar las pruebas de riego es con el fin de observar en campo lo que sucede realmente cuando se aplica un gasto determinado a la melga de acuerdo a las condiciones de clima, topografía, suelo, preparación del terreno, contenido de humedad, velocidad de infiltración, retención de humedad del agua en el suelo, rugosidad, etc.; factores que influyen indiscutiblemente en el diseño y selección del

método de riego el cual esta íntimamente relacionada a las condiciones que prevalecen en cada región.

Los datos obtenidos en las pruebas de riego, en combinación con los análisis de fórmulas empíricas y teóricas son determinantes para que el diseño de riego sea el más eficiente en cuanto a la distribución y uniformidad de la humedad a lo largo de la melga.

Procedimientos Sintéticos

Como las pruebas de riego se aplican solo para las condiciones en que fueron obtenidos y el estudio de las diferentes condiciones implicaría la realización de muchas pruebas de campo, se emplean los procedimientos sintéticos con la finalidad de reducir el número de estas pruebas.

Modelos de Simulación

Walker y Skogerboe (1987) hicieron una amplia revisión de los modelos de riego por superficie. A continuación se describen estos, sus características y resultados obtenidos:

Modelo Hidrodinámico - Características de Acercamiento

Los autores describen este modelo argumentando que emplea las ecuaciones de Saint-Venant y afirmando que el tratamiento matemático de dichas ecuaciones es influenciado por varias características únicas del riego por superficie, las cuales son:

1. La pendiente del terreno es generalmente pequeña, tal que el seno de ángulo de la pendiente es esencialmente igual a la pendiente de la tierra.
2. El riego por superficie es considerado como un problema de flujo gradualmente inestable y especialmente variado, en la cual el interés particular se enfoca a la variación espacial debido a la infiltración.
3. Las aplicaciones del flujo terrestre, es el manejo del flujo y duración del flujo.

Por otra parte mencionan que para eventos de muchas horas, los máximos pasos de tiempo rara vez exceden los 20 a 30 segundos, causando los altos costos del método.

Finalmente concluyen que las características de acercamiento al modelado del riego por superficie son imprácticas, más sin embargo, estas pueden auxiliar el desarrollo de otros modelos.

Modelo Hidrodinámico - Integración Euleriana

La Integración Euleriana, según los autores, es una aproximación numérica de las ecuaciones de Saint-Venant basadas en el concepto de control de volumen deformable incluido en células deformantes individuales. La principal deformación, ocurre en el límite aguas abajo y las células son estacionarias.

Concluyen que el acercamiento del Control de Volumen Deformable tiene la ventaja sobre las Características de Acercamiento de ser más numéricamente estable y substancialmente menores costos de ejecución. Una desventaja es que una nueva celda aparece para cada paso de la fase de avance.

Modelo Zero-Inercia

Los autores mencionan que este modelo está basado en la asunción de que los términos inercial y de aceleración en las ecuaciones de momento deberán ser insignificantes en la mayoría de las condiciones de riego por superficie. Mencionan que varios investigadores sugirieron el refinamiento y verificaron el modelo sobre los datos de campo, encontrando que el modelo funcionó excepcionalmente bien.

Por último concluyen que cuando los datos de campo son usados para probar un modelo matemático, con frecuencia es difícil evaluar los valores de los parámetros de entrada del modelo. Adicionalmente, los parámetros considerados a ser constantes pueden actualmente exhibir una considerable variabilidad espacial, sin embargo, el modelo de Zero-Inercia, fue probado sobre un rango de condiciones de campo, indicando que el modelo es seguro.

Modelo Onda-Cinemática

Los autores argumentan que este modelo asume que existe una única relación que describe la descarga como una función del tirante hidráulico. El modelo fue inicialmente desarrollado para aplicaciones hidrológicas y entonces aplicado a melgas con pendiente y de libre drenaje, haciendo la extensión a surcos en el presente.

Concluyen que las asunciones de flujo uniforme, simplifican grandemente el análisis de la hidráulica del riego por surcos, dando buenos resultados; la relativa

seguridad de simulación del avance sobre distancias mucho mayores que las típicamente publicadas en la literatura es probablemente más indicativo de la utilidad del modelo.

Modelo Balance de Volumen

Los autores mencionan que los modelos de Zero-Inercia y Onda-Cinemática, descuidan los términos individuales de la ecuación de momento para desarrollar las soluciones más representativas a la solución numérica. El método de Balance de Volumen descuida la ecuación entera y reemplaza el comportamiento dinámico con asunciones gruesas en el sentido matemático. Estas asunciones están respaldadas en la literatura técnica y tiene generada una interesante discusión a su validez y aplicabilidad.

Por otro lado expresan que el modelo de Balance de Volumen ha sido la base para la mayoría de los diseños y procedimientos de evaluación en campo y ha sido probado con datos de campo y de laboratorio. Concluyen que el modelo predice generalmente bien las trayectorias del avance y la recesión.

Elliot et al. (1982) estudiaron el modelado del avance en surcos usando el modelo de Zero-Inercia y encontraron que el modelo simula efectivamente la hidráulica de la fase de avance del riego por surcos.

Holzapfel et al. (1984a) comprobando la capacidad de los modelos de Zero-Inercia, Onda-Cinemática y Balance de Volumen para predecir el avance y recesión en melgas de libre drenaje, encontraron que todos los modelos dan buenas

predicciones del avance. También encontraron que el modelo de Zero-Inercia y el de Balance de Volumen predicen bien la recesión y el modelo de Onda-Cinemática se desvía en grado menor de los datos observados. Por otra parte argumentan que si el tiempo de oportunidad es grande, los errores en el avance o curva de recesión, tendrán un efecto pequeño en la profundidad de infiltración, porque los índices de infiltración son pequeños a grandes tiempos.

Holzapfel et al. (1984b) comparando los modelos de riego para surcos, concluyen que la confiabilidad de predicción de los modelos depende en la precisión de las medidas y las estimaciones de los parámetros de entrada; encontrando una excelente predicción de las fases de avance y recesión con los modelos Hidrodinámico, Zero-Inercia y Onda Cinemática.

Modelo de Reddy

Reddy (1989) modificó las ecuaciones existentes para el cálculo de flujo en el riego por melgas para su aplicación al riego por surcos, y derivó las ecuaciones comunes para el cálculo del flujo en el riego superficial (surcos y melgas), con pendientes mayores del 0.1 por ciento. Discutió las soluciones en términos de ecuaciones integrales encontrando una relación aceptable entre los datos estimados y los observados en campo.

MATERIALES Y METODOS

Area General de la Localidad en Estudio.

El presente trabajo se implementó en el Distrito de Desarrollo Rural Integral "Anáhuac", el cual se encuentra ubicado en los Estados de Nuevo León y Coahuila, en la Latitud $27^{\circ} 14'$ y Longitud $100^{\circ} 09'$, con una altura sobre el nivel del mar de 187 m.

La fuente de agua para el Distrito es la presa "Venustiano Carranza", que tiene una capacidad total de 1,385 millones de m^3 , siendo su capacidad útil de 1,360 millones de m^3 y es alimentada por los ríos Sabinas y Nadadores con una cuenca de captación de $35,726 \text{ km}^2$.

La superficie dominada por el Distrito, es de 29,599 has y la superficie regable de 26,020 has. Dentro de esta superficie se siembran alrededor de 8,000 hectáreas en el ciclo de invierno con el cultivo del Trigo, irrigadas por el método de riego por melgas.

Lotes de Estudio

La selección de los lotes se hizo en base a las texturas predominantes en la región (arcilla y migajón). Estos se caracterizaron mediante el levantamiento altimétrico y muestreo del suelo. Las características de los lotes seleccionados se presenta en el Cuadro 3.1, donde

es posible observar que las texturas del lote A y C son muy similares (migajones). Esto obedece principalmente a que en el lote A no fue posible llevar un control adecuado de las melgas, como se detallará posteriormente.

Cuadro 3.1. Características de los lotes seleccionados.

LOTE	PROF. (cms)	PH (mmhos/cm)	C.E. (mmhos/cm)	TEXTURA	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS			
					C.C (%)	P.M.P. (%)	D _a (gr/cc)	HA (%)
A	0-30	8.1	1.3	M-ARC-ARE	24.2	13.0	1.23	4.2
	30-60	8.2	1.0	M-ARC	23.6	12.2	1.29	4.4
	60-90	7.5	1.4	ARC	27.1	13.3	1.31	5.4
B	0-30	8.3	0.7	ARC	29.1	19.6	1.15	3.3
	30-60	8.3	0.7	ARC	27.6	19.9	1.22	3.2
	60-90	8.3	0.8	ARC	27.5	17.5	1.29	3.9
	90-120	8.2	1.6	ARC	25.1	17.2	1.45	3.4
C	0-30	7.6	2.0	M-ARC	27.5	16.0	1.15	4.0
	30-60	7.9	1.8	M-ARC	26.6	15.3	1.21	4.1
	60-90	8.0	2.5	ARC	27.7	17.7	1.25	3.8
	90-120	7.7	2.6	M-ARC-ARE	27.5	19.7	1.39	3.3

En el Cuadro 3.2 se muestran las especificaciones de diseño para cada lote; estas especificaciones estuvieron en función de:

1. Las hipótesis planteadas: a mayor gasto y mayor pendiente se incrementa la eficiencia del riego.
2. Para corroborar esta información se manejaron diferentes pendientes y rangos de gastos unitarios desde 1.9 hasta 3.8 lps/100 m², variando el gasto unitario en cada lote, de acuerdo a la capacidad de la regadera.

Los anchos de melga se establecieron arbitrariamente, solo con el criterio de desperdiciar el menor terreno posible. No se empleó el criterio de establecer los anchos de las melgas en función del ancho de

la maquinaria agrícola, dado que en la región se acostumbra a sembrar los bordos y por lo tanto trillarlos.

Cuadro 3.2. Especificaciones de diseño empleadas en cada lote.

LOTE	GASTO UNITARIO (LP8/100 M ²)	PENDIENTE (%)	DIMENSIONES ANCHO (MTS) LARGO	
A	3.1	0.254	11.7	179
	2.1	0.268	12.3	178
B	3.3	0.019	15.0	200
	2.7	0.003	15.0	200
	1.9	0.003	15.0	180
C	3.8	0.305	13.0	260
	3.0	0.290	13.0	260
	2.1	0.272	13.0	260

Los perfiles longitudinales de las tres melgas, en los tres lotes, se presentan en el apéndice J; en este apéndice se observa que las pendientes proyectadas para cada lote fueron:

Lote A: alrededor del 0.25 por ciento.
 Lote B: alrededor del 0.00 por ciento.
 Lote C: alrededor del 0.30 por ciento.

Las pendientes planeadas para el caso de los lotes A y C, fueron de acuerdo a García (1982), que menciona que las pendientes óptimas para el caso del riego superficial fluctúan alrededor del 0.2 por ciento.

Las labores de preparación del terreno, así como las labores culturales, fechas de siembra, fechas de riego, fertilización y fechas de cosecha, se muestran en el apéndice B, en donde se observa que estas fueron similares en cuanto a la preparación del terreno para la siembra,

variando en la época de siembra, fechas de riego, fertilización y variedades utilizadas en cada lote.

Materiales Empleados

1. Nivel de presición, estatal y cinta métrica
2. Estacas
3. Cronómetro
4. Palas y lonas para el riego
5. Barreno agronómico
6. Bloques de Resistencia Eléctrica
7. Infiltrómetros, nivel de mano y tornillo micrométrico
8. Caballetees de nivelación
9. Tubos de aluminio de 2"
10. Formas para el registro de los datos

Metodologías Empleadas

A continuación se describen los procedimientos que se siguieron en la ejecución de cada uno de los parámetros medidos.

Humedad

Se utilizó el método gravimétrico y el de bloques de resistencia eléctrica para la cuantificación de la humedad en el suelo, teniendo como puntos de muestreo el centro de cada tercio de la melga, es decir tres puntos de muestreo por melga; a profundidades de 30 centímetros, siendo cuatro las profundidades sondeadas para cada punto de muestreo. Cada una de las curvas de calibración de los bloques de resistencia eléctrica (una para cada profundidad) son mostradas en el apéndice C.

Velocidad de Infiltración

Se empleó el método del doble cilindro para las pruebas de infiltración en cada lote de estudio, colocando tres cilindros a lo largo de la melga, uno en la mitad de cada tercio de la melga; en el caso del lote C, en el primero y segundo riegos de auxilio, se empleó el método de balance de volumen para la estimación de los coeficientes k y a de la ecuación de infiltración de Kostiakov.

Medición del Gasto

Se utilizaron sifones de 2 pulgadas de diámetro previamente calibrados (la curva de calibración para estos sifones se muestra en el apéndice D) y un aforador tipo Parshall el cual fue implementado de acuerdo a las normas de diseño establecidas por Walker y Skogerboe (1987). La estructura de aforo fue diseñada para gastos de 144 litros por segundo y su ecuación general de descarga libre es:

$$Q = 3.07 * hu^{1.53}$$

Donde:

$$Q = \text{Gasto (pies}^3\text{/seg)}$$

$$hu = \text{Carga hidráulica (pies)}$$

y la ecuación general para la condición de ahogamiento:

$$Q = \frac{2.51 * (hu - hd)^{1.53}}{[-(\log 0.63 + 0.0044)]^{1.06}}$$

Donde:

hu y hd = Cargas hidráulicas a dos tercios de la cresta de entrada del aforador y al final de la garganta respectivamente.

Selección de Gastos

Como una aproximación inicial, se empleó el nomograma del gasto unitario, en el lote A, para seleccionar los gastos a aplicar, haciendo esto mediante la selección de dos gastos más uno superior y otro inferior, a partir del resultante por el nomograma.

Variantes registradas en cada Lote

Antes de iniciar las pruebas de riego, se observó que era necesario tapar los surcos que se dejan al levantar los bordos melgeros; no cumpliendo con esta condición para los lotes A y B, en donde en el primero fue necesario establecer contra de tierra a cada 40 metros de longitud y en el segundo se consideró que la pendiente (aproximada a 0 por ciento) sería suficiente para generar tirantes hidráulicos que excedan la profundidad del surco y de esta forma cubrir la parte media de la melga. El lote que cumplió con esta condición, fue el del campo experimental y al que se le dio el seguimiento completo.

Pruebas de Riego

Se empleó la metodología de evaluación del Servicio de Conservación de Suelos del departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica, publicado por el Memorándum Técnico # 249 (1967) de la Secretaria de Recursos Hidráulicos actualmente SARH; esta metodología se describe en el apéndice E.

Procesamiento de la Información

Los criterios empleados para el procesamiento de la información, fueron los propuestos por Israelsen y Hansen (1965) en cuanto a la eficiencia de aplicación, eficiencia de almacenamiento y uniformidad de distribución.

Procedimientos Sintéticos

Se utilizaron tres metodologías de diseño para correlacionar los datos de campo:

Método de Gasto Unitario

Este método fue propuesto por Criddle, y se siguió el procedimiento descrito por Colque (1980). Los datos de entrada para esta metodología son los siguientes:

1. Lámina neta de riego (cms)
2. Infiltración básica (cm/hr)
3. Pendiente del terreno (por ciento)
4. Coeficiente de rugosidad de Manning

Método de la Función de Balance

Esta metodología de diseño fue propuesta por Hall, y se siguió el procedimiento descrito por Walker y Scogerboe (1987). Los parámetros de entrada son:

1. Lámina neta de riego (cms)
2. Infiltración Básica (cm/hr)
3. Constante de la ecuación de Infiltración (k en cm/hr)
4. Pendiente de la Ecuación de Infiltración (a)
5. Pendiente del Campo (%)
6. Coeficiente de Rugosidad de Manning
7. Eficiencia de Aplicación estimada
8. Tirante Permisible (mts)
9. Longitud de la Melga (mts)

Método Quasi-Racional

Esta metodología de diseño fue propuesta por el S.C.S.-U.S.D.A. y se siguió el procedimiento descrito por Jensen (1980). Los datos de entrada para este procedimiento son:

1. Exponente de la función de avance asumido (0.3-0.9)
2. Gasto unitario (lps/m)
3. Constante de la ecuación de infiltración (k cm/hr)
4. Pendiente de la función de infiltración (a)
5. Coeficiente de rugosidad de Manning
6. Pendiente de la melga (por ciento)
7. Longitud de la melga (mts)
8. Lámina Requerida (cms)
9. Tiempo requerido en minutos para que se infiltre la lámina de riego (asumido dentro de los límites prácticos)

Cada una de estas metodologías es descrita en el apéndice F.

Modelos de simulación

Se utilizó la metodología de Reddy (1989), dado que es un método que integra a la mayoría de los modelos de riego por superficie y además se contó con su metodología, la cual se describe en el apéndice G.

RESULTADOS Y DISCUSION

Parámetros Evaluados

Los resultados de la velocidad de infiltración obtenidos en campo antes de efectuar las pruebas, se presentan en el Cuadro 4.1; para el caso del lote C, en el primero y segundo riegos de auxilio, fue posible aplicar la metodología del Balance de Volumen para la determinación de los coeficientes de infiltración, dado que los datos de avance y recesión fueron uniformes. Los coeficientes encontrados se presentan en el apéndice H. Al determinar las láminas infiltradas por estos coeficientes estimados, se encontró una aproximación muy cercana a la lámina aplicada fluctuando esta aproximación entre 1 y 3 cms de desviación.

Pruebas de Riego

El desglose de las pruebas de riego se efectúa por lote haciendo la discusión pertinente en cada caso.

Lote A

Como se mencionó anteriormente, se utilizó la metodología del nomograma para estimar el gasto unitario, llegando a determinar el gasto de entrada, siendo este de 2.27 lps/100 m² y del cual se seleccionaron dos gastos más: uno inferior de 1.13 lps/100 m² y uno superior de 3.28

lps/100 m². Al llevar a cabo las pruebas, se observó que el gasto inferior necesitaba de tiempos de riego muy largos para alcanzar el extremo inferior de la melga, siendo estos impracticos para la longitud de la melga; por lo cual fue deshecho. Similarmente García (1982), empleando el nomograma del gasto unitario concluye que en algunos casos el gasto por melga resulta muy reducido para asegurar un total de cubrimiento del terreno. Entonces el gasto unitario puede variar entre el gasto mínimo que garantiza dicho cubrimiento y el gasto máximo no erosivo.

Cuadro 4.1. Parámetros de la ecuación de Kostiakov obtenidos en las pruebas de campo por medio de los cilindros infiltrómetros.

LOTE	K (cm/hr)	a
A	31.41	-0.5132
B	26.31	-0.4865
C	37.53	-0.3211

En la figura 4.1 y 4.2 se presenta el avance y recesión observados en esta parcela, para el riego de presiembra y en donde es posible observar que no existe una uniformidad tanto para el avance como para la recesión; esto debido principalmente a que no se taparon los surcos como se mencionó anteriormente.

En el apéndice I se pueden apreciar las eficiencias alcanzadas para cada gasto, siendo la mayor eficiencia de almacenamiento para el gasto de 2.27 lps/100 m², alcanzando también la mayor uniformidad de distribución y eficiencia de aplicación, lo cual se refleja en una mínima percolación

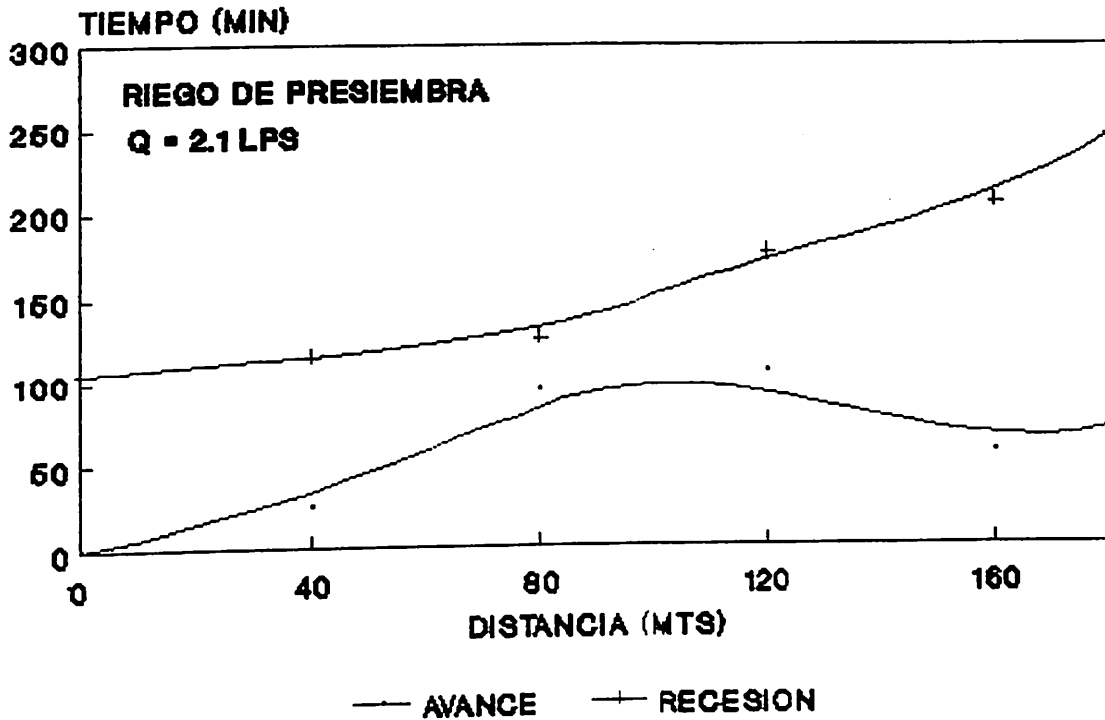


Figura 4.1. Avance y recesión en el riego de presiembra para el gasto de 2.1 lps/100 m² en el lote A.

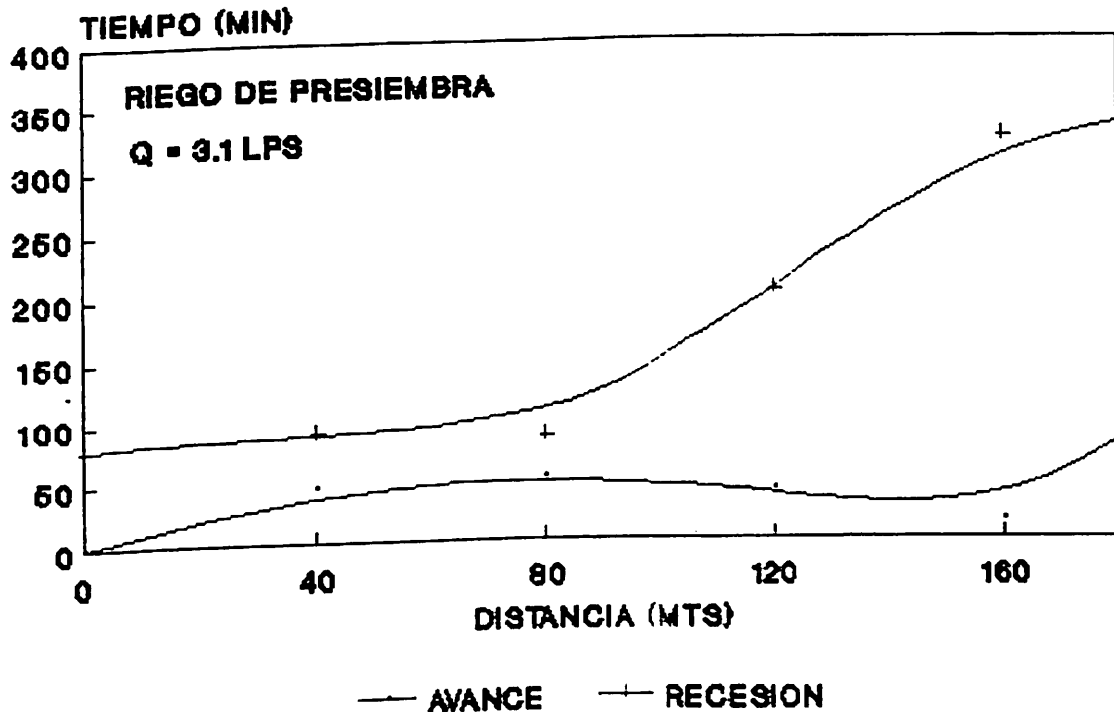


Figura 4.2. Avance y recesión en el riego de presiembra para el gasto de 3.1 lps/100 m² en el lote A.

profunda.

En el primer riego de auxilio (figuras 4.3 y 4.4 del apéndice A2) este mismo gasto obtiene las eficiencias más altas, excepto para la eficiencia en el almacenamiento, que es mayor para el gasto de 3.28 lps/100 m², esta ligera discrepancia en la dos riegos es debida principalmente a el efecto del surco; Es decir, al entrar el agua en la melga ésta sigue el camino del surco, siendo necesario establecer las contra de tierra para incrementar el tirante del agua y de esta forma venza el desnivel entre el surco y la melga, esparciéndose así sobre la longitud transversal de la misma. Esto en algunas ocasiones funciona adecuadamente y en otras rompe la contra de tierra establecida, dificultando el riego. Dadas estas características no es posible obtener un control eficiente de los gastos manejados. Más sin embargo, en general se obtienen buenas eficiencias con el manejo de estos mismos, dado que alcanzan a reponer el 90 por ciento y más del déficit de humedad del suelo. Si se quiere cubrir completamente el déficit de humedad del suelo, es necesario incrementar la longitud de la melga, aumentando de esta forma los tiempos de oportunidad y consecuentemente la lámina infiltrada de riego; o en su defecto programar los riegos con intervalos menores de acuerdo al déficit de humedad del suelo.

Lote B

Siguiendo la postulación de la hipótesis de que a pendientes mayores del 0.2 por ciento, mayores eficiencias

se obtienen; en este lote se proyectaron las pendientes cercanas a 0 por ciento, y de esta forma comprobar la veracidad de dicha hipótesis. por otro lado, se siguió el criterio de aplicar el gasto unitario de $3.3 \text{ lps}/100 \text{ m}^2$, dado que cumple con la hipótesis planteada de aplicar grandes gastos; teniendo de esta forma un gasto total a aplicar, para las dimensiones de este lote, de 100 lps; en base a este gasto se trató de seleccionar uno inferior y otro superior, pero en este caso la limitante fue la incapacidad de la regadera para conducir gastos mayores de 100 lps, por lo cual la selección de los gastos se hizo en forma descendente siendo los gastos seleccionados de 2.67 y $1.9 \text{ lps}/100 \text{ m}^2$.

En la figura 4.5, se aprecian el avance y la recesión observadas para esta parcela en el riego de presiembra. Según se puede apreciar que el gasto unitario de $3.3 \text{ lps}/100 \text{ m}^2$ no obtiene una recesión uniforme, debido a la pendiente al inicio de la melga (apéndice J); también se observan altos tiempos de oportunidad de infiltración, lo cual es una consecuencia de la pendiente. Estas pruebas obtienen bajas eficiencias de aplicación y altas eficiencias de almacenamiento (100 por ciento), lo cual es síntoma de pérdidas por percolación profunda (figuras 4.6 y 4.7 del apéndice A2).

Según estos resultados y en base a la eficiencia de aplicación (apéndice I), se puede seleccionar el gasto de $3.3 \text{ lps}/100 \text{ m}^2$ (Eficiencia de Aplicación igual a 74 por ciento) dado que se obtienen menores pérdidas por

percolación profunda, aunque obtiene menor uniformidad de distribución, probablemente debido a que no se llevó a cabo una nivelación satisfactoria en esta melga.

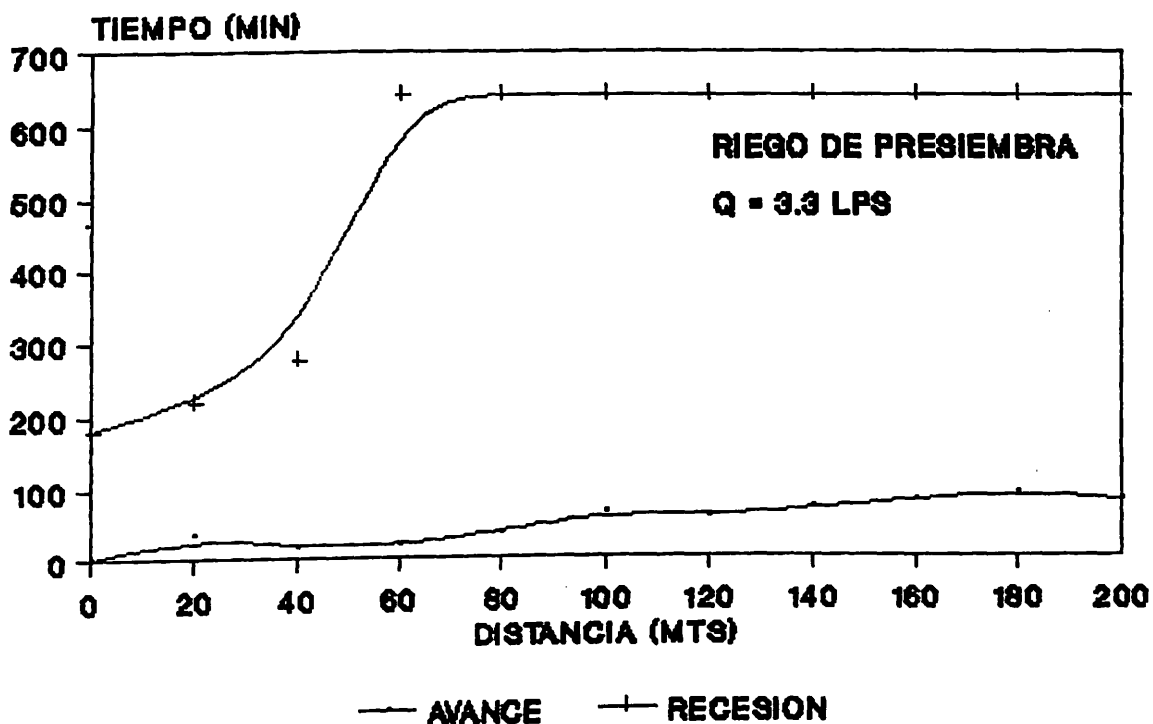


Figura 4.5. Avance y Recesión en el riego de presiembra, para el gasto de 3.3 lps/100 m² en el lote B.

Lote C

Empleando el gasto unitario de 3.3 lps/100 m² y las dimensiones de la melga de 13 metros de ancho por 260 metros de largo, resulta un gasto total a aplicar de 111 litros por segundo. Sin embargo, la regadera fue diseñada para conducir gastos mayores y siguiendo la postulación de la hipótesis de a mayores gastos mayor la eficiencia del riego, se optó por seleccionar un gasto mayor, pero menor al gasto máximo no erosivo, resultando ser de 3.8 lps/100

m^2 , del cual se seleccionaron dos gastos inferiores más de 3 lps/100 m^2 y de 2.1 lps/100 m^2 .

Como es posible observar en la figura 4.8, el gasto de 3.8 lps/100 m^2 obtiene la mayor uniformidad en este riego de presiembra tanto para el avance como para la recesión, en comparación con los gastos de 3 lps/100 m^2 y de 2.1 lps/100 m^2 (figuras 4.9 y 4.10 del apéndice A2), alcanzando también la mayor eficiencia de aplicación y la mayor uniformidad de distribución, como se aprecia en el apéndice I. Esto es debido principalmente a la velocidad de avance de la onda de llenado, disminuyendo la diferencia en los tiempos de oportunidad de infiltración, concordando con Pissani (1976) y García (1982); Estos autores mencionan que al aumentar la velocidad de onda de llenado, disminuye la diferencia en los tiempos de oportunidad de infiltración, logrando esto por medio de la aplicación de grandes gastos.

En las pruebas de riego para el primero y segundo riego de auxilio, según se aprecia en las figuras 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 y 4.15 del apéndice A2, el avance y la recesión tienen una uniformidad mayor a causa del coeficiente de rugosidad que incrementa el tirante de flujo y por consecuencia se obtiene una mayor uniformidad.

También se aprecia que alcanzan pérdidas por percolación mayores, cuestión lógica al incrementarse los tiempos de oportunidad por efecto del coeficiente de rugosidad. Estando en total acuerdo con Pissani (1976) y García (1982); estos autores mencionan que al aumentar la rugosidad, se disminuye la velocidad de avance del agua y

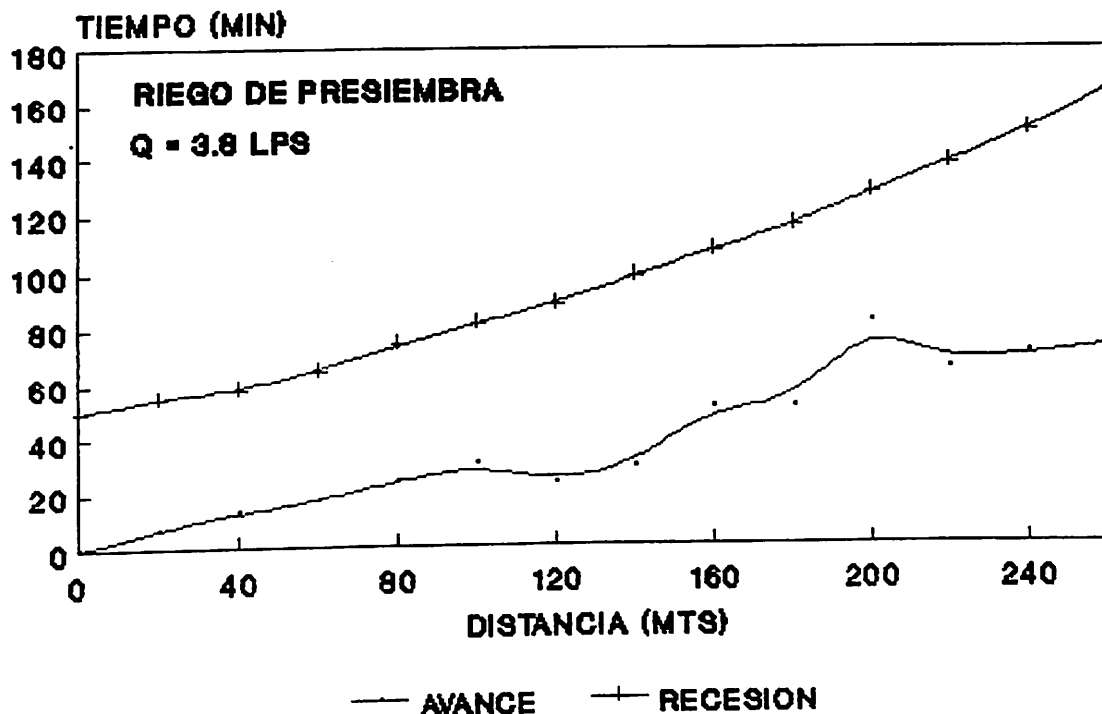


Figura 4.8 Avance y recesión en el riego de presiembra para el gasto de 3.8 lps/100 m² en el lote C.

se aumenta el tirante hidráulico, propiciando de este modo un aumento en las pérdidas por percolación profundas, debido al aumento en la diferencia del tiempo del contacto al principio y al final del surco o melga.

En base a los resultados anteriores se puede seleccionar como especificación de diseño el gasto de 3.8 lps/100 m², dado que es una especificación con la cual se pueden obtener las mayores eficiencias de aplicación y si se manejan adecuadamente las eficiencias de almacenamiento por medio de los intervalos de riego, potencialmente es una de las especificaciones de diseño que mayor contribuyen a elevar la eficiencia en el uso del agua de riego. Llegando de esta manera el logro del objetivo general planteado.

Similarmente, Luna (1987), evaluando la uniformidad y eficiencia del riego de presiembra en melgas rectas, concluye que el más alto índice de eficiencia en aprovechamiento de agua para cualquier nivel de referencia de profundidad del suelo, se obtiene cuando se aplica el máximo gasto unitario equivalente a 4 lps/100 m².

Con respecto a estas altas eficiencias de aplicación también se concuerda con Merriam (1978), que menciona que los valores de eficiencia de aplicación de diseño esperados para melgas rectas son del orden del 50 al 80 por ciento, pero que se puede obtener valores del 90 por ciento para condiciones ideales si el escurrimiento del agua es rehusado (los datos observados de avance y recesión en todas las pruebas efectuadas se presentan en el apéndice M).

Rendimientos

En el Cuadro 4.2 y 4.3 se presentan los rendimientos obtenidos por las diferentes especificaciones de diseño y las características de rendimiento para cada uno de los lotes en estudio, respectivamente (apéndice A1).

En resumen, las especificaciones de diseño seleccionadas de acuerdo a lo anteriormente escrito, es:

1. Gasto unitario de 3.8 lps/100 m²
2. Pendiente: 0.2 a 0.3 por ciento
3. Textura: migajones

En suelos de textura arcillosa, en donde la velocidad de infiltración es menor, se pueden seleccionar cualquiera de la siguientes opciones:

1. Gasto unitario de 3.8 lps/100 m² y pendientes entre el 0.2 y 0.3 por ciento, longitudes entre 260 y 300 metros; programando los riegos a intervalos más cortos en las primeras etapas de desarrollo del cultivo.
2. Las mismas características anteriores excepto para la longitud, la cual deberá ser mayor de 300 metros para seguir los calendarios actualmente establecidos en la Región.

Análisis Volumétrico

El análisis volumétrico se hace en base a las especificaciones de diseño seleccionadas, teniendo como punto de comparación las variables actualmente empleadas (aprox.):

Riego de Presiembra

Especificaciones de diseño:

$$\begin{aligned}
 Q &= 130 \text{ lps} & \text{Tiempo de Riego} &= 50 \text{ minutos} \\
 \text{Volumen} &= Q * T \\
 \text{Volumen} &= 130 * 50 * 60 = 390,000 \text{ lts} \implies 390 \text{ m}^3 \\
 \text{Area} &= \text{Largo} * \text{Ancho} = 260 * 13 \text{ mts} \implies 3,380 \text{ m}^2 \\
 \text{Area} &= 3380 \text{ m}^2 * 3 \text{ melgas} = 10,140 \text{ m}^2 \implies 1 \text{ hectárea} \\
 \text{Volumen/hectárea} &= 390 \text{ m}^3 * 3 \text{ melgas} = 1,170 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Testigo Usuario

$$\begin{aligned}
 Q &= 100 \text{ lps} & \text{Tiempo de Riego} &= 120 \text{ minutos} \\
 \text{Volumen} &= 100 * 120 * 60 = 720,000 \text{ lts} \implies 720 \text{ m}^3 \\
 \text{Area} &= \text{Largo} * \text{Ancho} = 340 * 10 \text{ mts} \implies 3,400 \text{ m}^2 \\
 \text{Area} &= 3400 \text{ m}^2 * 3 \text{ melgas} = 10,200 \text{ m}^2 \implies 1 \text{ hectárea} \\
 \text{Volumen/hectárea} &= 720 \text{ m}^3 * 3 \text{ melgas} = 2,160 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Riegos de Auxilio

Especificaciones de diseño

$$\begin{aligned}
 Q &= 130 \text{ lps} & \text{Tiempo de Riego} &= 80 \text{ minutos} \\
 \text{Volumen} &= Q * T \\
 \text{Volumen} &= 130 * 80 * 60 = 624,000 \text{ lts} \implies 624 \text{ m}^3 \\
 \text{Volumen/hectárea} &= 624 \text{ m}^3 * 3 \text{ melgas} = 1,872 \text{ m}^3 \\
 \text{Volumen de 2 riegos/hectárea} &= 1,872 \text{ m}^3 * 2 = 3,744 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Testigo Usuario

$Q = 100 \text{ lps}$ $\text{Tiempo de Riego} = 180 \text{ minutos}$
 $\text{Volumen} = 100 * 180 * 60 = 1,080,000 \text{ lts} \Rightarrow 1,080 \text{ m}^3$
 $\text{Volumen/hectárea} = 1,080 \text{ m}^3 * 3 \text{ melgas} = 3,240 \text{ m}^3$
 $\text{Volumen de 2 riegos/hectárea} = 3,240 \text{ m}^3 * 2 = 6,480 \text{ m}^3$

Volúmenes Totales Aplicados

Volumen Total Utilizado en los tres riegos:

Especificaciones de Diseño:

$$\text{Vol. Tot.} = 1,170 \text{ m}^3 + 3,744 \text{ m}^3 = 4,914 \text{ m}^3$$

Testigo Usuario:

$$\text{Vol. Tot.} = 2,160 \text{ m}^3 + 6,480 \text{ m}^3 = 8,640 \text{ m}^3$$

Lo cual significa un ahorro global del 40 por ciento de los volúmenes actualmente utilizados para este cultivar; realizándose de esta forma el primer objetivo particular planteado, que es el de disminuir los volúmenes actualmente empleados.

Procedimientos Sintéticos

Se elaboraron programas de cómputo para cada uno de los procedimientos sintéticos en uso, presentándose éstos en el apéndice K. La discusión de estos resultados es en base al riego de presiembra del lote C, por ser este el primordial en el diseño, describiéndose a continuación:

Gasto Unitario

Entrando con los datos de campo al programa se encontró, en los gastos unitarios de $3.8 \text{ lps}/100 \text{ m}^2$ ($10 \text{ lps}/\text{m}$), $3 \text{ lps}/100 \text{ m}^2$ ($7.7 \text{ lps}/\text{m}$) y de $2.1 \text{ lps}/100 \text{ m}^2$ ($5.4 \text{ lps}/\text{m}$), que predice aproximadamente bien la longitud de la

melga y sobrestima en un promedio del 30 por ciento el tiempo de riego (apéndice L).

Quasi-Racional

Entrando con los datos de campo al programa, se encuentra que subestima el gasto unitario (20 lps/m), siendo el de campo de 10 lps/m. Eliminando la infiltración básica del programa, el resultado del gasto unitario (9.4 lps/m) es más cercano al utilizado. Esto da pauta para esclarecer que la infiltración básica de campo (6 cm/hr) es realmente mucho menor. En cuanto a la predicción de los tiempos, se encontró que obtiene una aproximación casi idéntica en el tiempo de corte para este mismo gasto. Sin embargo, para los gastos de 7.7 y 5.4 lps/m, se observó que con las mismas variables de entrada se obtienen diferentes gastos (14.3 y 11.2 lps/m respectivamente), dado por lo cual también son diferentes los tiempos de corte.

Balance de Volumen

Entrando con los datos de campo al programa, se encontró que subestima el tiempo de corte y el tiempo de avance para el gasto unitario de 10 lps/m (aproximadamente en un 50 por ciento). En los gastos de 7.7 y 5.4 lps/m se observó que predice bien el tiempo de corte, sobrestimando los tiempos de avance y las eficiencias de aplicación. Cabe mencionar que este programa también fue modificado en la infiltración básica.

Resumiendo para los procedimientos sintéticos y en base a los resultados anteriores es posible afirmar que con ninguna de las metodologías anteriores es posible diseñar, estrictamente hablando, ya que en todas estas metodologías no se obtienen estimaciones precisas del comportamiento del sistema en campo. Sin embargo, existe una cierta aproximación de estas metodologías a las condiciones de campo, por lo cual pueden ser utilizadas (con las deficiencias anteriormente señaladas) con fines de planeación en regiones donde se deba mejorar este método de riego. En este aspecto se concuerda con Colque y Palacios (1984), que menciona que el procedimiento es útil en la obtención de criterios para condiciones donde no se disponga de información básica de diseño; este autor deshecha los procedimientos sintéticos Quasi-Racional y Balance de Volumen, argumentando que no predicen las observaciones en campo, y menciona que el método del gasto unitario se puede utilizar en algunos casos porque proporciona especificaciones aproximadas a las condiciones reales.

Modelo de Simulación

Siguiendo la metodología propuesta por Reddy (1989), se elaboró un programa de cómputo en lenguaje pascal agilizando de esta forma los cálculos de la metodología que de otra forma son muy laboriosos (este programa se describe en el apéndice LL). Empleando esta metodología, para el caso del primero y segundo riegos de

auxilio del lote C, se encontró que el avance, en los dos casos, tuvo un alto grado de correlación, según se aprecia

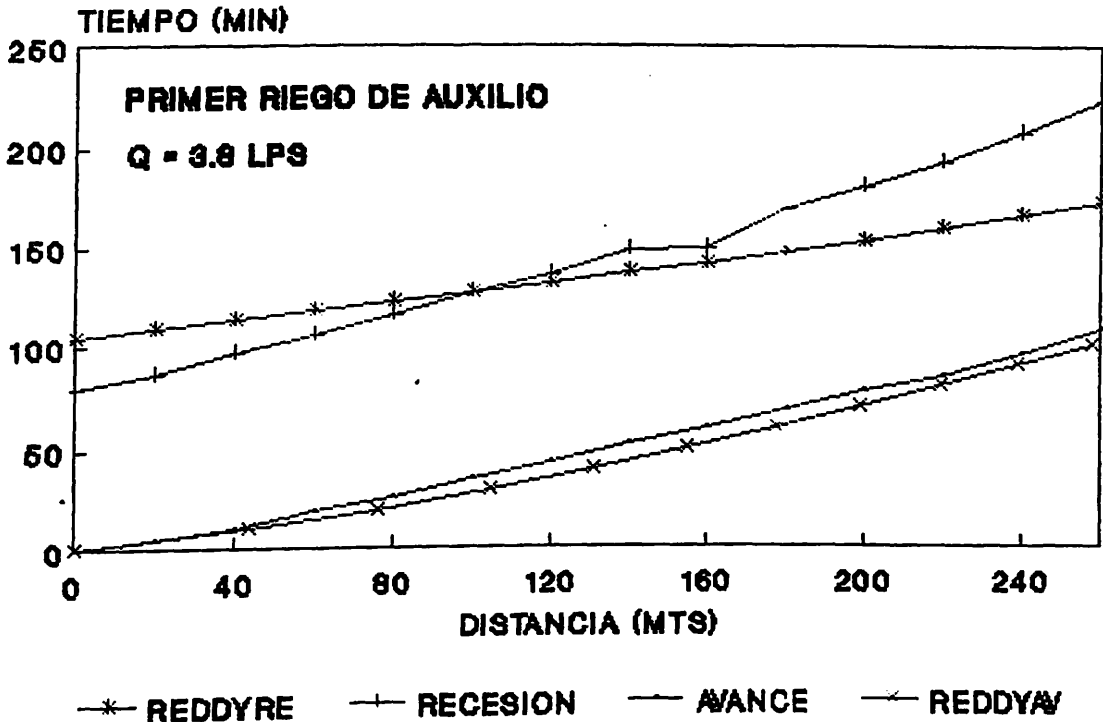


Figura 4.16. Comparación de los datos observados del avance y recesión, para el primer riego de auxilio en el lote C, con los datos estimados mediante la metodología por Reddy (1989).

en la figura 4.16 correspondiente al primer riego de auxilio (para el gasto unitario de 3.8 lps/100 m²); sin embargo, para el caso de la recesión, se observa que no concuerdan fielmente los resultados observados con los estimados (fig. 4.17, 4.18, 4.19 y 4.20 del apéndice A). Esta discrepancia puede ser debida principalmente a que el método fue desarrollado para el caso de melgas con libre drenaje en donde la recesión es diferente para el caso de melgas cerradas; por estos motivos la metodología sobrestima el tiempo de recesión (lag), al inicio de la

melga, por lo cual se modificó esta ecuación (tiempo de recesión lag), de acuerdo a Fangmeier y Strelkoff (1979) quienes proponen la siguiente ecuación:

$$t_{lag} = \frac{q^{0.2}}{478 * (1/n)^{0.2} * S_o^{1.6}}$$

Donde:

t_{lag} = Tiempo de recesión lag (min)
 n = Coeficiente de rugosidad de Manning
 q = Gasto unitario (lps)
 S_o = Pendiente (m/m)

Aplicando esta ecuación dentro de la metodología se encuentra que en algunos casos es muy aceptable la estimación; sin embargo, en otros casos se desvía en mayor grado de los datos observados (fig 4.21, 4.22 y 4.23 del apéndice A). Evaluando las láminas infiltradas para las dos condiciones, se encontró que la metodología de Reddy, tiene una mayor aproximación a las láminas aplicadas, que la modificación propuesta, fluctuando su aproximación entre 1 y 3 cms, por lo que es posible afirmar que la desviación de datos estimados, mediante la metodología de Reddy, con respecto a los datos observados en campo, es mínima, comprobando de esta forma la validez de dicha metodología. Al hacer esta aseveración, se concuerda con Holzapfel et al. (1984) en el sentido de que los errores en la curva de recesión tendrán un efecto pequeño en la profundidad de infiltración a medida que se incrementa el tiempo de oportunidad; porque los índices de infiltración son pequeños a mayores tiempos de oportunidad. Por otra parte

si se requiere de exactitud en las estimaciones de la recesión, es necesario seguir la experimentación y modificación de las ecuaciones integrales para el caso de melgas cerradas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Las especificaciones de diseño que cumplen con los objetivos inicialmente planteados, así como con las primeras tres hipótesis son:
 - Gasto unitario de 3.8 lps/100 m²
 - Pendiente: 0.2 a 0.3 por ciento
 - Textura: migajones

En suelos de textura arcillosa, en donde la velocidad de infiltración es menor, se pueden seleccionar cualquiera de la siguientes opciones:

- Gasto unitario de 3.8 lps/100 m² y pendientes entre 0.2 y 0.3 por ciento, longitudes entre 260 y 300 metros; programando los riegos a intervalos más cortos en las primeras etapas de desarrollo del cultivo.
 - Las mismas características anteriores excepto para la longitud, la cual debiera ser mayor de 300 metros para seguir los calendarios actualmente establecidos en la Región.
2. Los volúmenes que se alcanzan a ahorrar con la aplicación de dicha especificación de diseño son del orden del 40 por ciento para este

cultivar; los cuales pueden ser simplemente ahorrados para auxiliar en las épocas de estiaje; y en las épocas lluviosas, podrán ser utilizados para incrementar la superficie de siembra de dicho cultivo, o en su defecto para su aplicación en un segundo cultivo.

3. En base a los resultados obtenidos se deduce que los procedimientos sintéticos pueden ser empleados con fines de aproximación al mejoramiento en regiones donde se obtengan bajas eficiencias parcelarias de riego; estando también en condiciones para su utilización con fines de planeación en regiones nuevas (esto con las deficiencias de los procedimientos anteriormente descritas). Cabe mencionar que uno de las características que mayor influyen la eficiencia del riego superficial, lo es el trazo de riego y la nivelación del terreno; si estos son bien hechos y con las pendientes recomendadas, se estará en condiciones de mejorar la eficiencia del sistema.
4. La metodología presentada por Reddy (1989), es factible de emplearse para la simulación del avance y la recesión, ya que predice excelentemente bien el avance y, las desviaciones de la recesión son mínimas enfocándose desde un punto de vista práctico.

Se sugieren las siguientes recomendaciones:

- 1). Para lograr una uniformidad adecuada en el avance y recesión es necesario modificar las labores de presiembra, realizando primero el levantamiento de los bordos melgeros y posteriormente hacer la nivelación respectiva, dentro de cada melga, con el fin de eliminar los surcos que se dejan al levantar dichos bordos.
- 2). Al utilizar las especificaciones de diseño, el tiempo de corte debe hacerse cuando el frente de avance alcance el 70 por ciento de la longitud total de la melga, en el caso del riego de presiembra, y para el caso de los riegos de auxilio se recomienda hacer el corte cuando el frente de avance del agua haya alcanzado el 80 por ciento de la longitud total de la melga.
- 3). Si se requiere de una mayor exactitud en la metodología de Reddy, en cuanto a la precisión de la recesión se recomienda seguir la experimentación y modificación de las ecuaciones integrales para la situación de melgas rectas cerradas.

LITERATURA CITADA

- Centro Nacional de Metodos Avanzados de Riego, 1981. Memorias del III Curso Sobre Métodos de Riego. Tomo III. Dirección General de Distritos y Unidades de Riego. SARH. Representación en la Región Lagunera Coah. y Dgo.
- Colque G., L.E. 1980. Estudio de Metodologías de Diseño de Sistemas de Riego Por Melgas Rectas. Tesis. Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. pp. 167.
- Colque G., L.E. y V.E. Palacios. 1984. Estudio de Metodologías de Diseño de Sistemas de Riego Por Melgas Rectas. Centro de Hidrociencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. pp. 81 - 93.
- De Tarr, W.R. 1989. Infiltration Function From Furrow Stream Advnce. J. Irrigation and Drainage Engineering. 115(4): 722 - 730.
- Domínguez, G. 1971. El Riego. Su Implantación Y su Técnica. ed. Dossat, S.A. Madrid.
- Elliot, L.R., R.W. Walker and V.G. Skogerboe. 1982. Zero-Inertia Modeling of Furrow Advance. J. Irrigation Drainage Division. 108(IR3): 179 - 195. United States of America.
- Fangmeier, D.D. and T. Strelkoff. 1979. Mathematical Models and Border Irrigation Design. Transactions of the ASAE. pp. 93 - 99.
- García, A.D. 1982. Guia Para la Elaboración e Interpretación de Resultados de Pruebas de Riego en Campo. Programa Nacional de Pruebas de Riego. Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego. SARH. Gómez Palacio, Durango, México.
- Holzapfel, E.A., M.A. Mariño and J. Chavez M. 1984a. Comparison and Selection of Furrow Irrigations Models. Agr. Water Manage. 9: 105 - 125. Netherlands.

BANCO DE TESIS

U.A.A.A.N

1984b.

Border Irrigation Model Selection. Transactions of the ASAE. 27(6): 1811 - 1816. United States of America.

Israelsen, O.W. and V.E. Hansen. 1965. Principios y Aplicaciones del Riego. Tercera Edición. John Wiley and Sons, Inc. Nueva York. p. 275 - 285.

Jensen, M.E. 1980. Design and Operation of Farm Irrigation System. The American Society of Agr. Engineers. United States of America.

Lal, R. and A.C. Pandya. 1972. Volume Balance Method for Computing Infiltration Rates in Surface Irrigation. Transactions of the ASAE. pp. 69 -72.

Luna, D.E. 1987. Evaluación de la Eficiencia y Uniformidad del Riego de Presiembra en Melgas en la Región Lagunera (Coah. y Dgo.). Tesis. Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Buenavista, Saltillo, Coah., México. pp. 126.

Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1967. Memorándum Técnico No 249. Procedimientos Para Evaluar Métodos de Riego. Soil Conservation Service. del Depto de Agricultura de los Estados Unidos Americanos. Editado en 1952. México.

Merriam, J.L. 1978. Irrigation Systems Evaluation. A Guide For Mangement. United States of America. pp. 225.

Pissani Z., J.F. 1976. Ingeniería de Sistemas de Riego. Riego de Superficie. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah., México. pp. 226.

Reddy, J.M. 1989. Integral Ecuations Solutions to Surface Irrigation. J. Agr. Engineering Rese. 42: 251 - 265.

Walker, R.W. and G.V. Skogerboe. 1987. Surface Irrigation. Theory and Practice. United States of America. pp. 386.

Withers, B. and S. Vipond. 1978. El Riego. Diseño y Práctica. Primera Edición. Ed. Diana, México.

APENDICE A1

Cuadro 4.3. Características de rendimiento para cada uno de los lotes en estudio.

LOTE	GASTO (LPS/100 M ²)	PENDIENTE (%)	RENDIMIENTO	
			ENCONTRADO	15 % DE HUM. (KG/HA)
A	3.1	0.254	3964	4572
	2.1	0.263	4197	4961
	TESTIGO	3.0	0.060	3678
B	3.3	0.019	2566	3062
	2.7	0.003	3263	3862
	TESTIGO	1.9	0.003	2800
C	2.5	0.210	2377	2953
	3.8	0.306	4996	6541
	3.0	0.290	3664	4606
	2.1	0.272	3969	4308

APENDICE A2

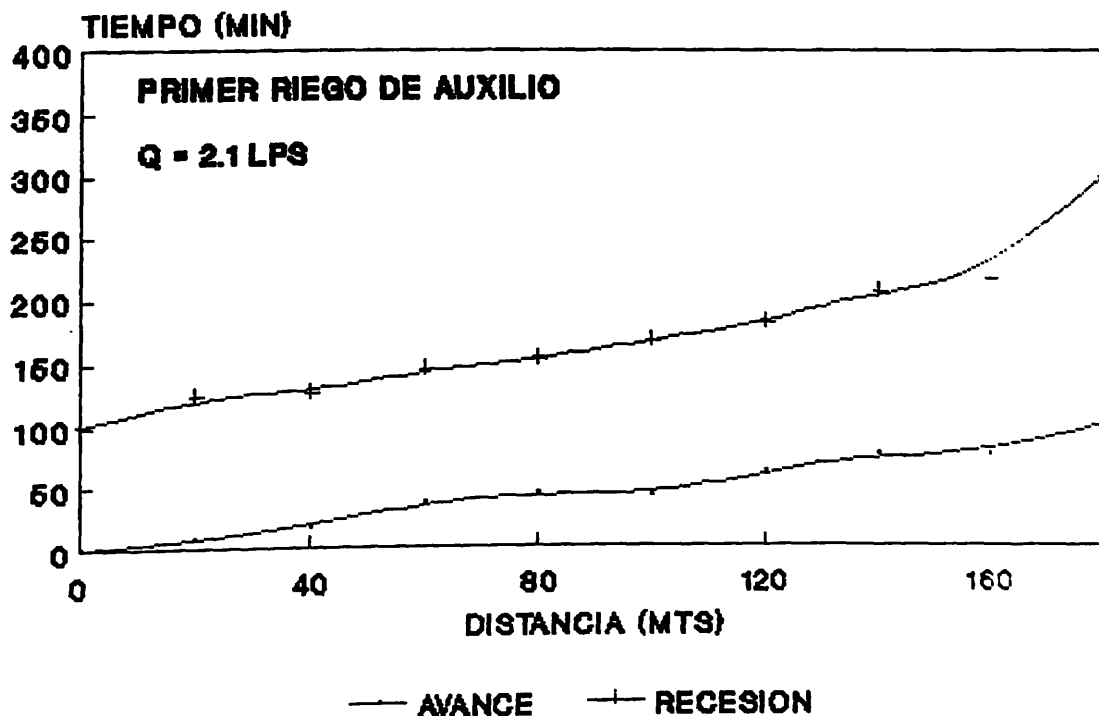


Figura 4.3. Avance y recesión en el primer riego de auxilio para el gasto de 2.1 lps/100 m² en el lote A.

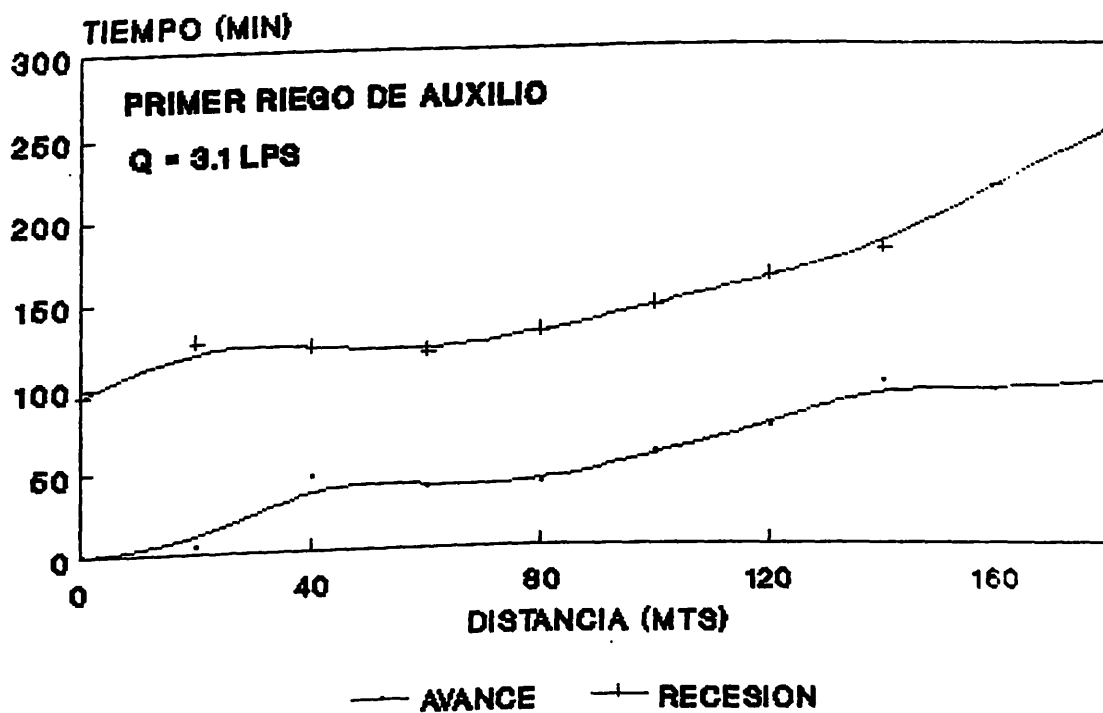


Figura 4.4. Avance y recesión en el primer riego de auxilio para el gasto de 3.1 lps/100 m² en el lote A.

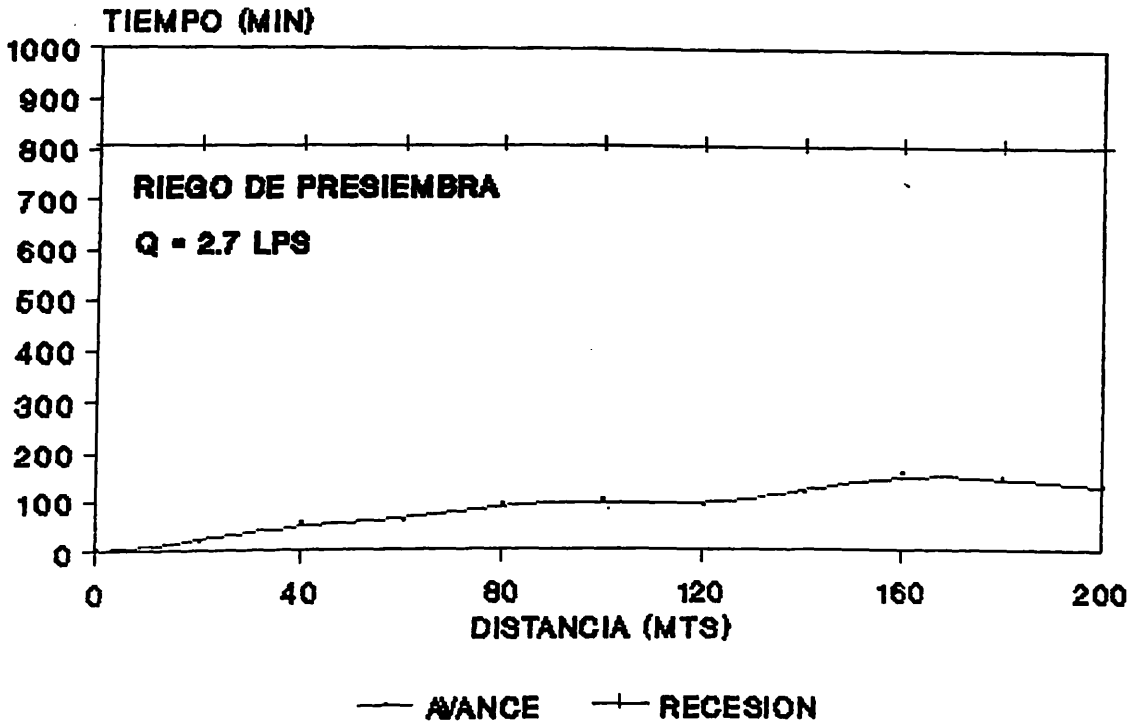


Figura 4.6. Avance y recesión en el riego de presiembra para el gasto de 2.7 lps/100 m² en el lote B.

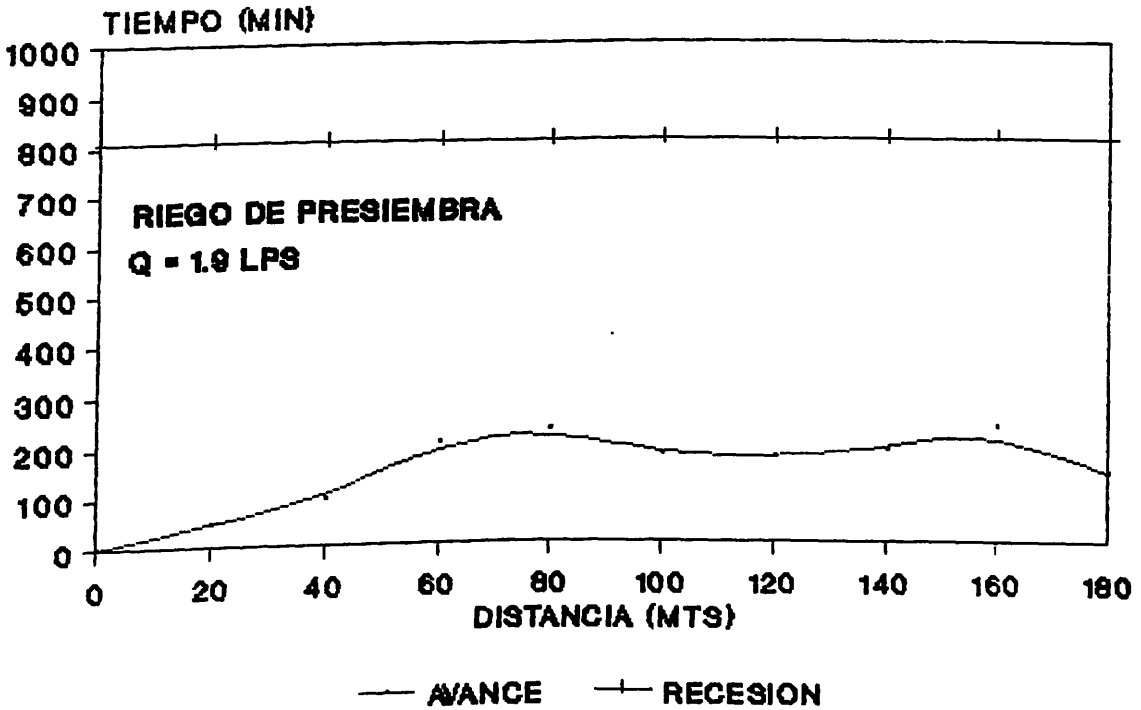


Figura 4.7. Avance y recesión en el riego de presiembra para el gasto de 1.9 lps/100 m² en el lote B.

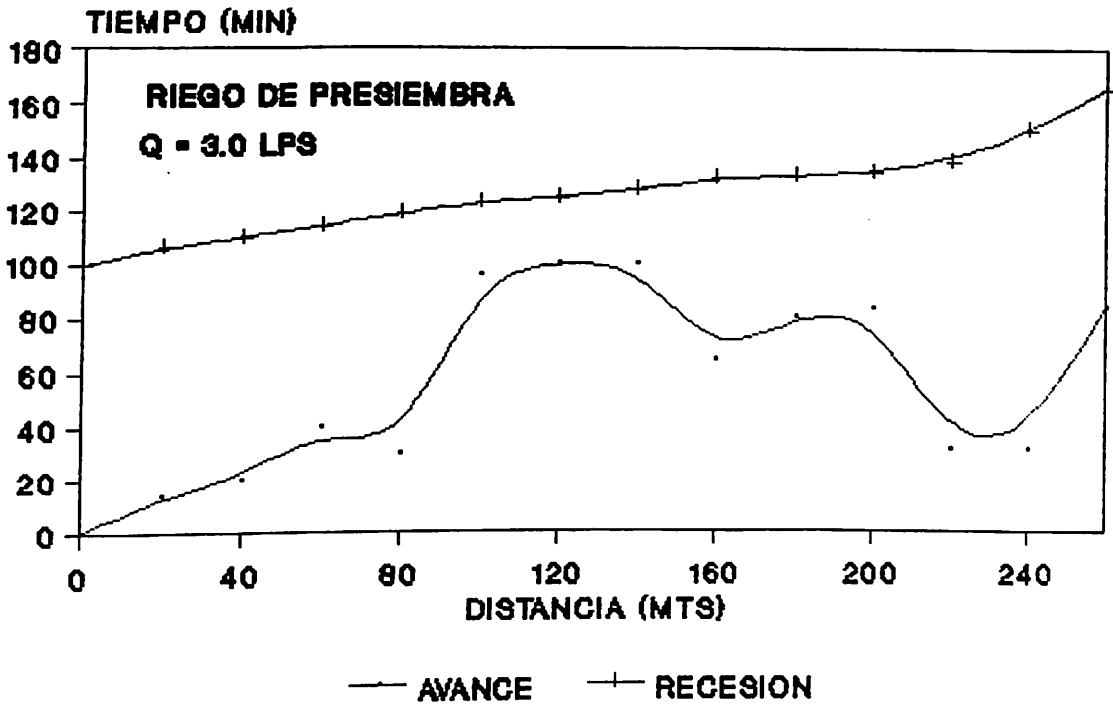


Figura 4.9. Avance y recesión en el riego de presiembra para el gasto de 3.0 lps/100 m² en el lote C.

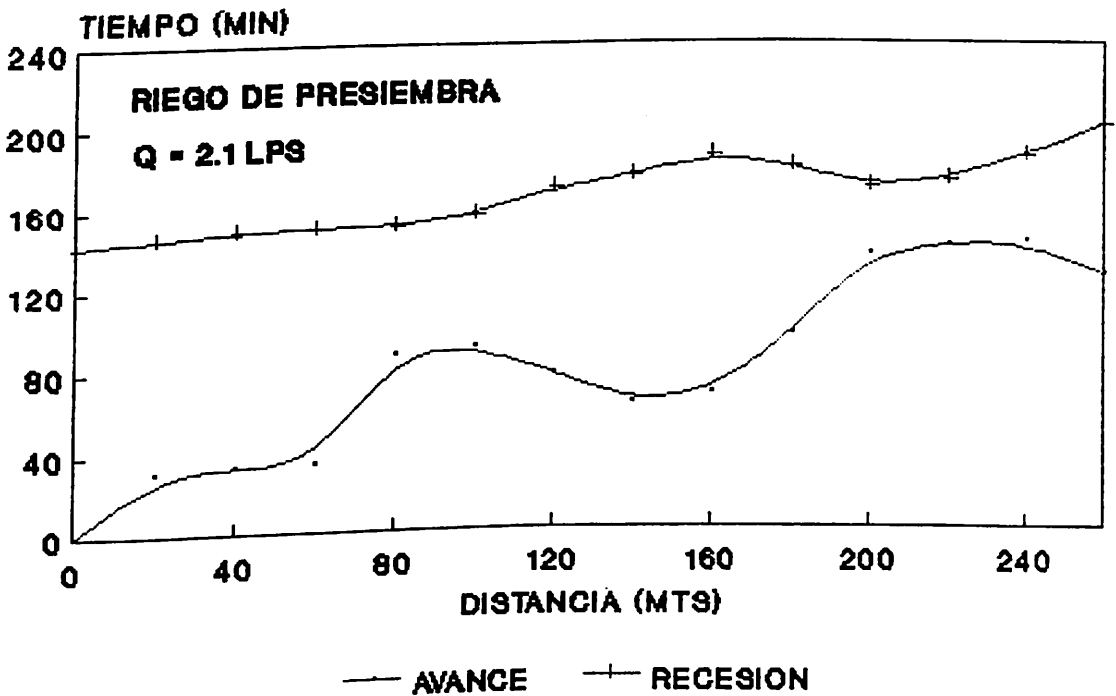


Figura 4.10. Avance y recesión en el riego de presiembra para el gasto de 2.1 lps/100 m² en el lote A.

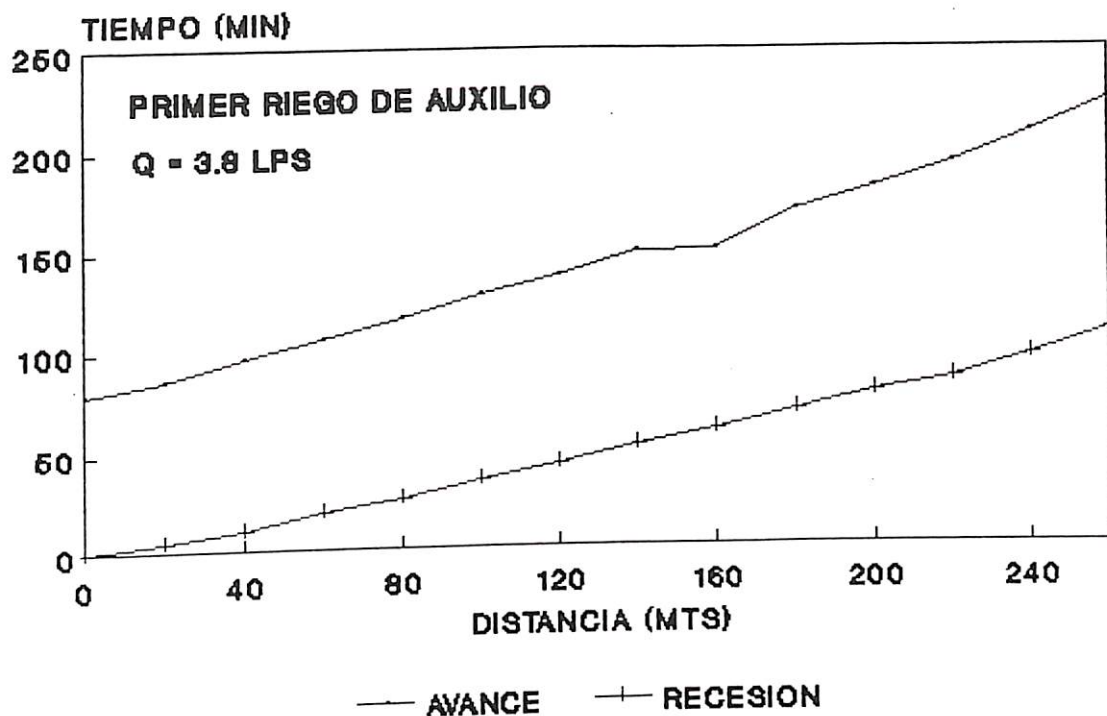


Figura 4.11. Avance y recesión en el 1^{er} riego de auxilio para el gasto de 3.8 lps/100 m² en el lote C.

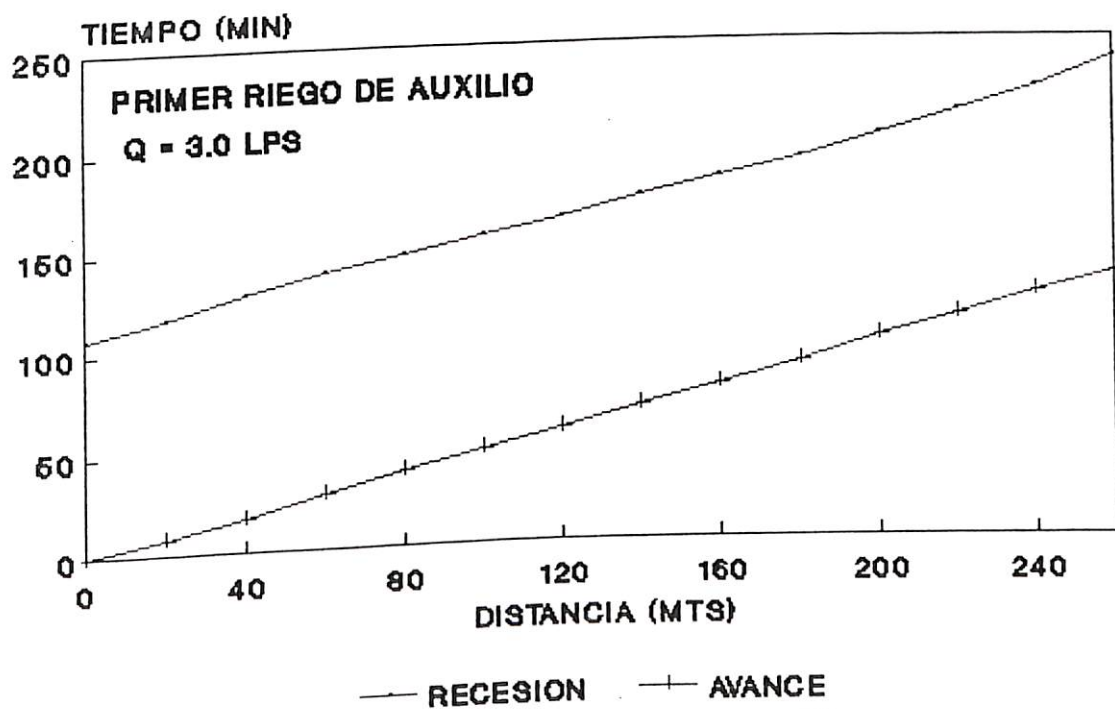
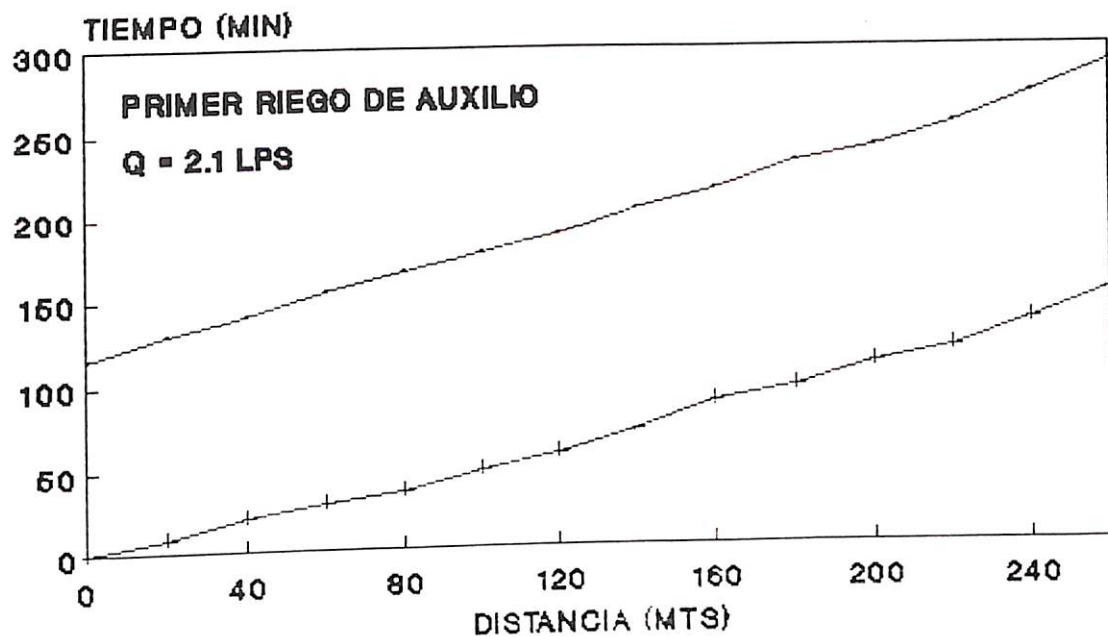
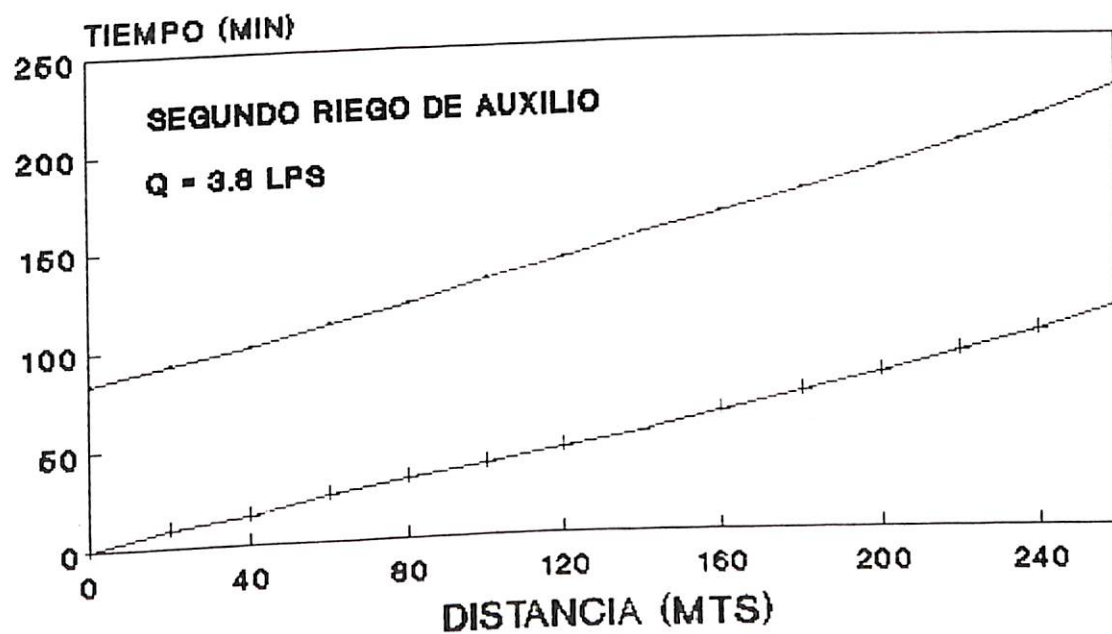


Figura 4.12. Avance y recesión en el 1^{er} riego de auxilio para el gasto de 3.0 lps/100 m² en el lote C.



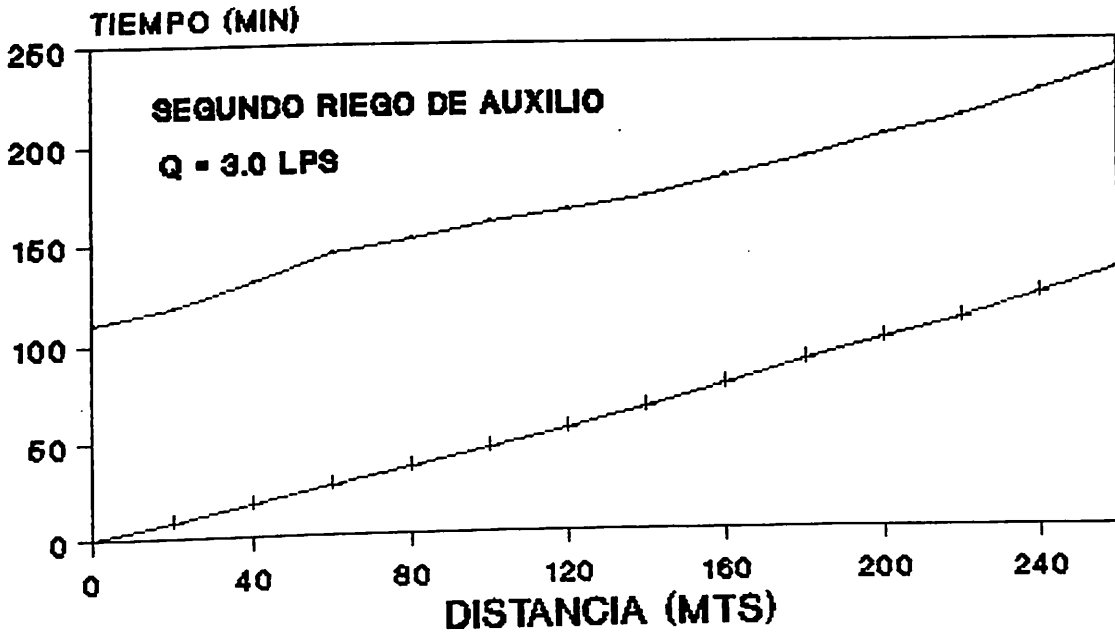
— RECESION — AVANCE

Figura 4.13. Avance y recesión en el 1^{er} riego de auxilio para el gasto de 2.1 lps/100 m² en el lote C.



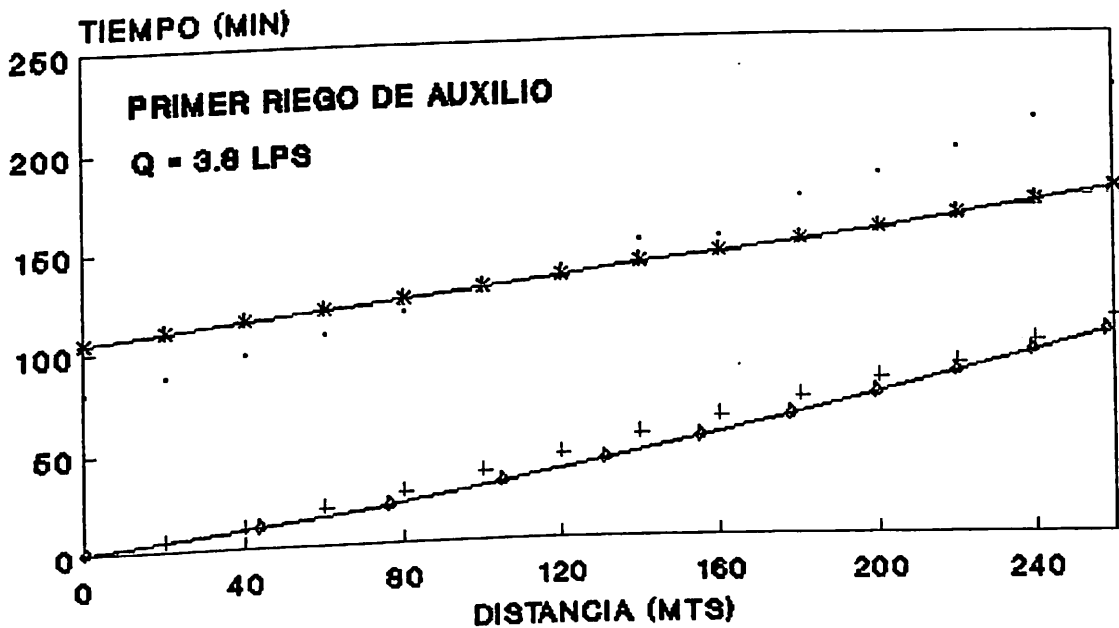
— RECESION — AVANCE

Figura 4.14. Avance y recesión en el 2^{do} riego de auxilio para el gasto de 3.8 lps/100 m² en el lote C.



— RECESION + AVANCE

Figura 4.15. Avance y recesión en el 2^{do} riego de auxilio para el gasto de 3.0 lps/100 m² en el lote C.



* RECESION R · OBSERVADOS + AVANCE

Figura 4.17. Resultados de Modelo de Reddy. 1^{er} riego aux. gasto de 3.8 lps/100 m² en el lote C.

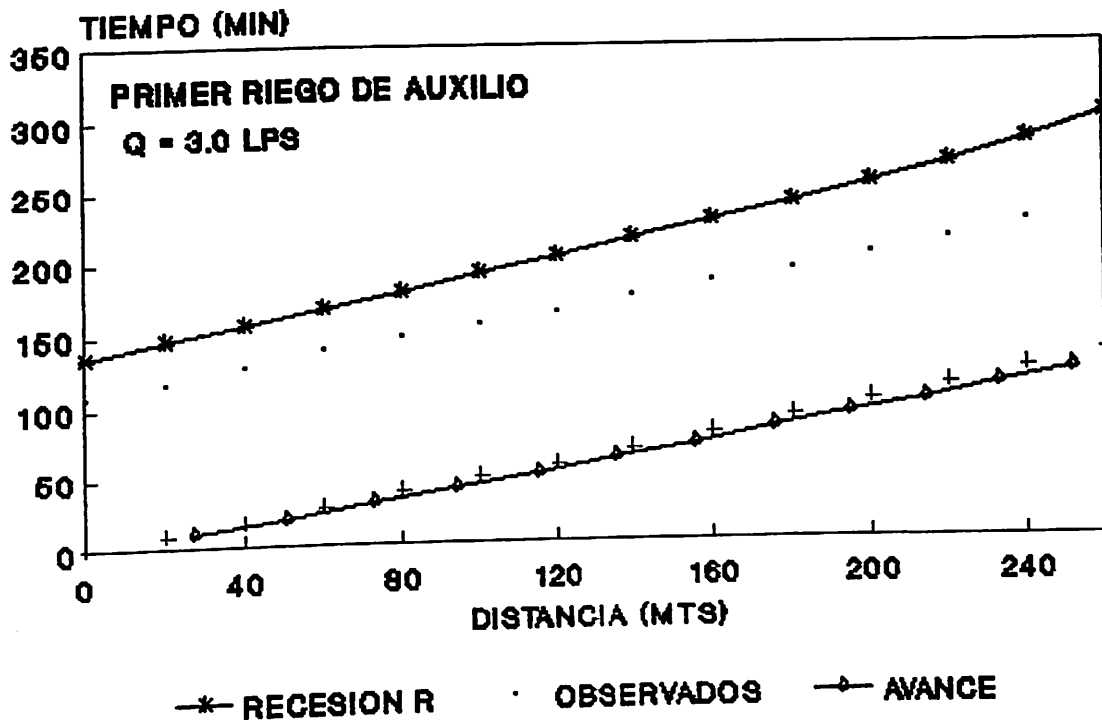


Figura 4.18. Resultados de Modelo de Reddy. 1^{er} riego aux. gasto de 3.0 lps/100 m² en el lote C.

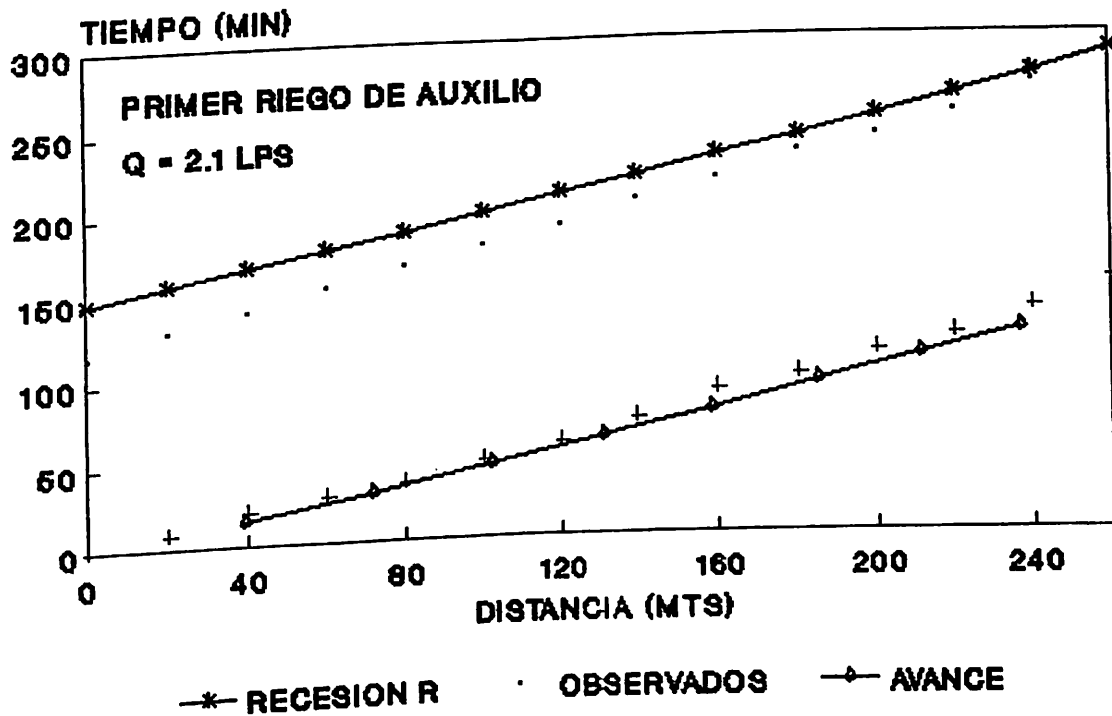


Figura 4.19. Resultados de Modelo de Reddy. 1^{er} riego aux. gasto de 2.1 lps/100 m² en el lote C.

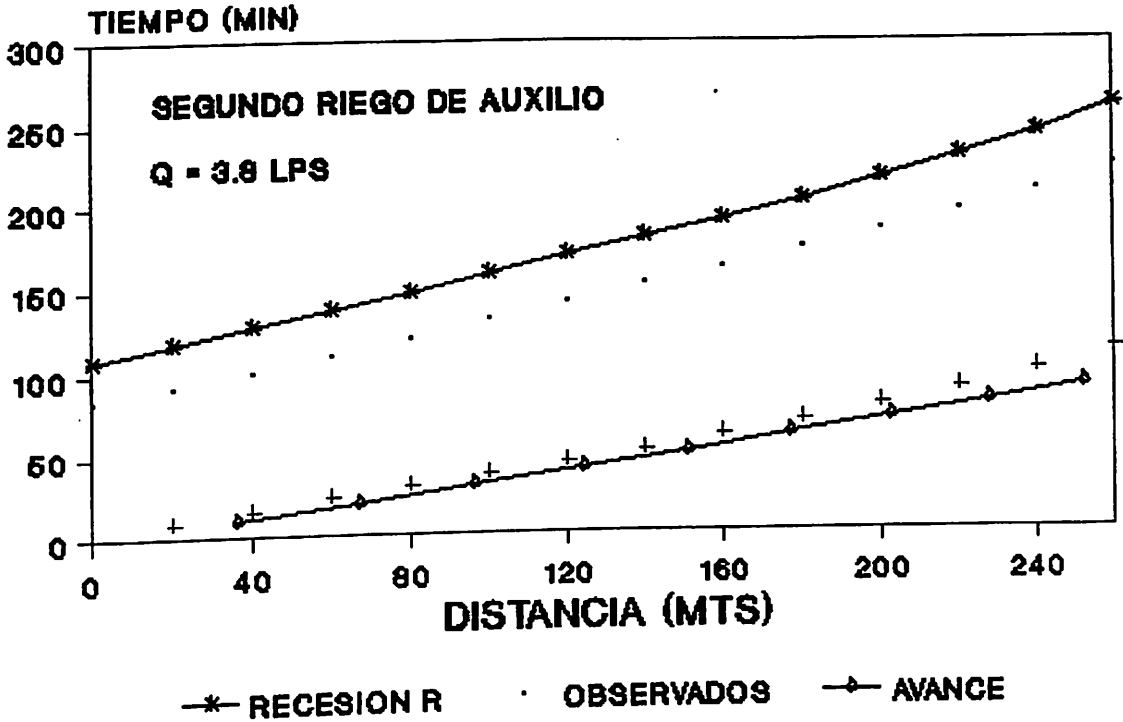


Figura 4.20. Resultados de Modelo de Reddy. 2^{do} riego aux. -
gasto de 3.8 lps/100 m² en el lote C.

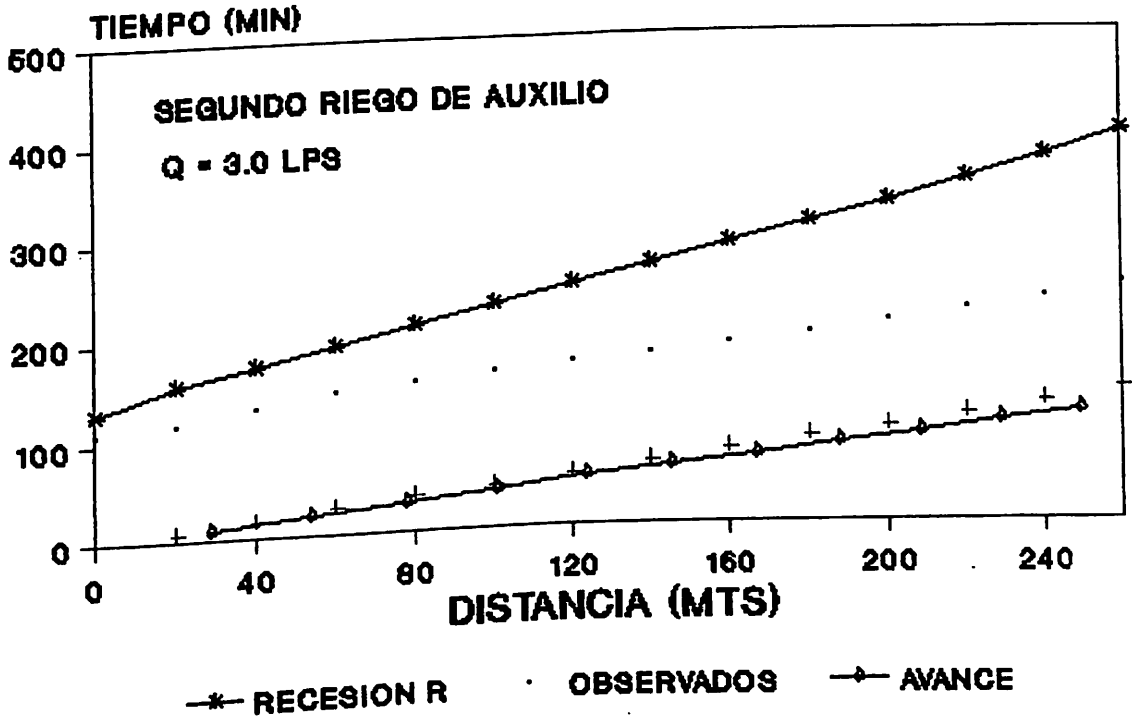
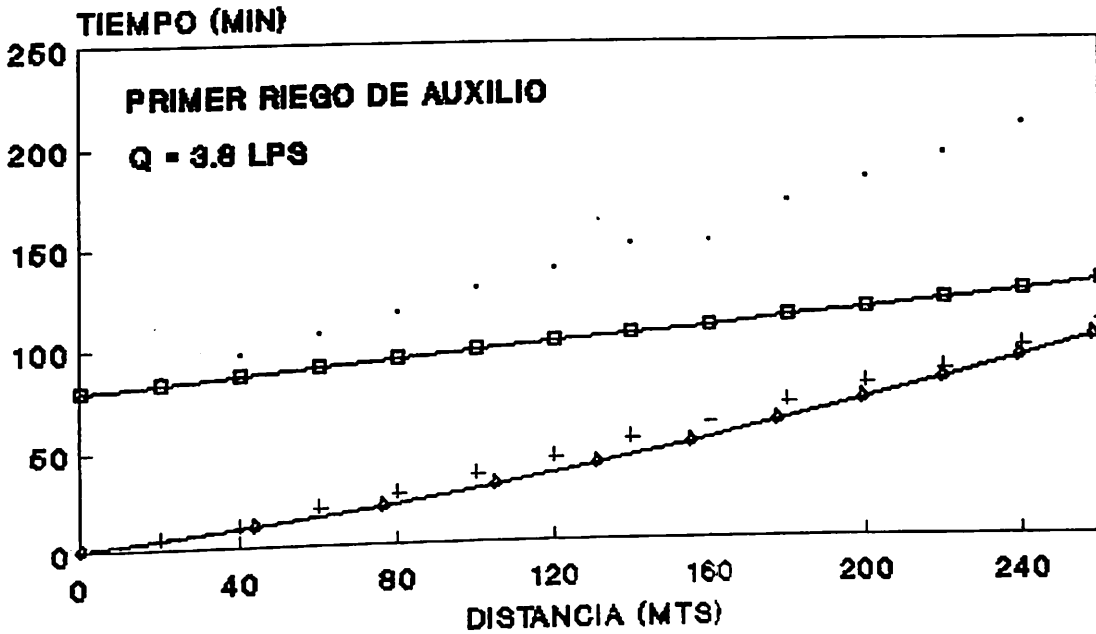
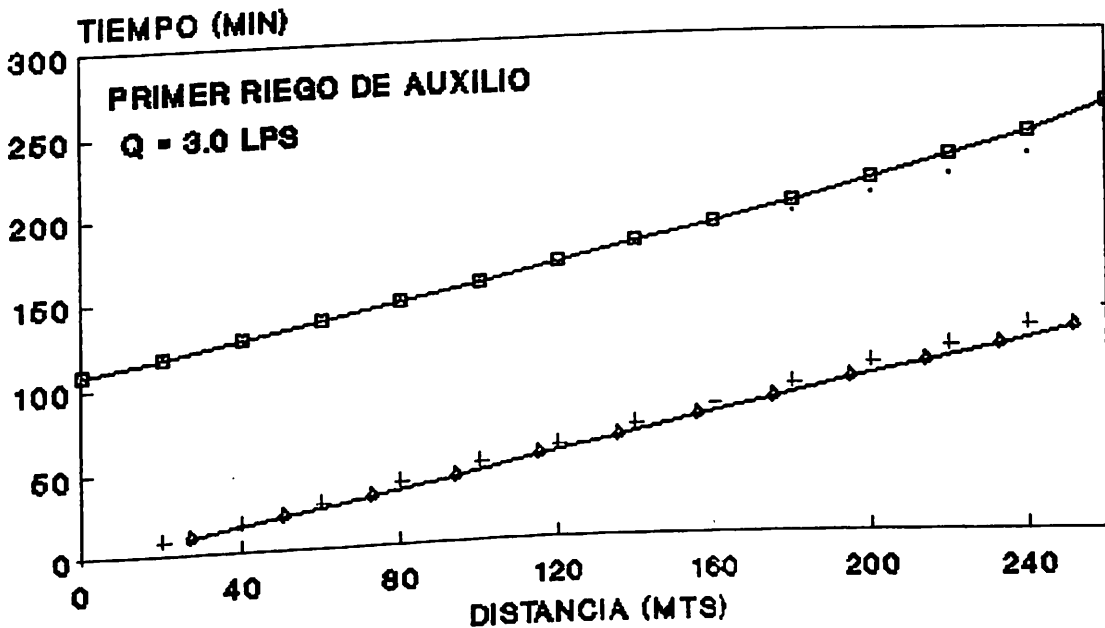


Figura 4.21. Resultados del Modelo de Reddy. 2^{do} riego aux. -
gasto de 3.0 lps/100 m² en el lote C.



—■— RECESION M · OBSERVADOS —△— AVANCE

Figura 4.22. Resultados de Modelo de Modificado. 1^{er} riego aux. gasto de 3.8 lps/100 m² en el lote C.



—■— RECESION M · OBSERVADOS —△— AVANCE

Figura 4.23. Resultados de Modelo de Modificado. 1^{er} riego aux. gasto de 3.0 lps/100 m² en el lote C.

APENDICE B

Lote A:**Labores de preparación del terreno**

- 1 Barbecho
- 2 Rastras
- 1 Nivelación de primer grado
- 1 Rastra

Siembra

Fecha de siembra: 15/Dic/1989

Variedad: Ocoroni

Densidad de siembra: 180 Kg/ha

Fertilización

Urea (46-00-00): 150 kg

Fosfato de amonio (18-46-00): 150 kg

Labores culturales:

Aplicación de herbicida en la etapa de amacollamiento

Fecha de riegos

Primer auxilio: 16/Feb/1990

Segundo auxilio: no se evaluó

Cosecha

Fecha: Mayo/1990

por ciento de humedad del grano: 10.8

Lote B:**Labores de preparación del terreno****1 Barbecho****2 Rastras****Siembra****Fecha de siembra: 15/Ene/1990****Variedad: Papagos 86****Densidad de siembra: 220 Kg/ha****Fertilización****En etapa de amacollamiento, se
desconoce cantidad****Labores culturales:****Aplicación de herbicida en la etapa de
amacollamiento****Fecha de riegos****Primer y segundo auxilios: no se
evaluaron****Cosecha:****Fecha: Mayo/1990****por ciento de humedad del grano: 11.0**

Lote C:**Labores de preparación del terreno**

1 Rastra

1 Barbecho

1 Rastra

1 Nivelación de primer grado

Siembra

Fecha de siembra: 5/Ene/1990

Variedad: Ciano

Densidad de siembra: 200 Kg/ha

Fertilización

Urea (46-00-00): 200 kg

Fosfato de amonio (18-46-00): 150 kg

Labores culturales:

Ninguna

Fecha de riegos

Primer auxilio: 19/Feb/1990

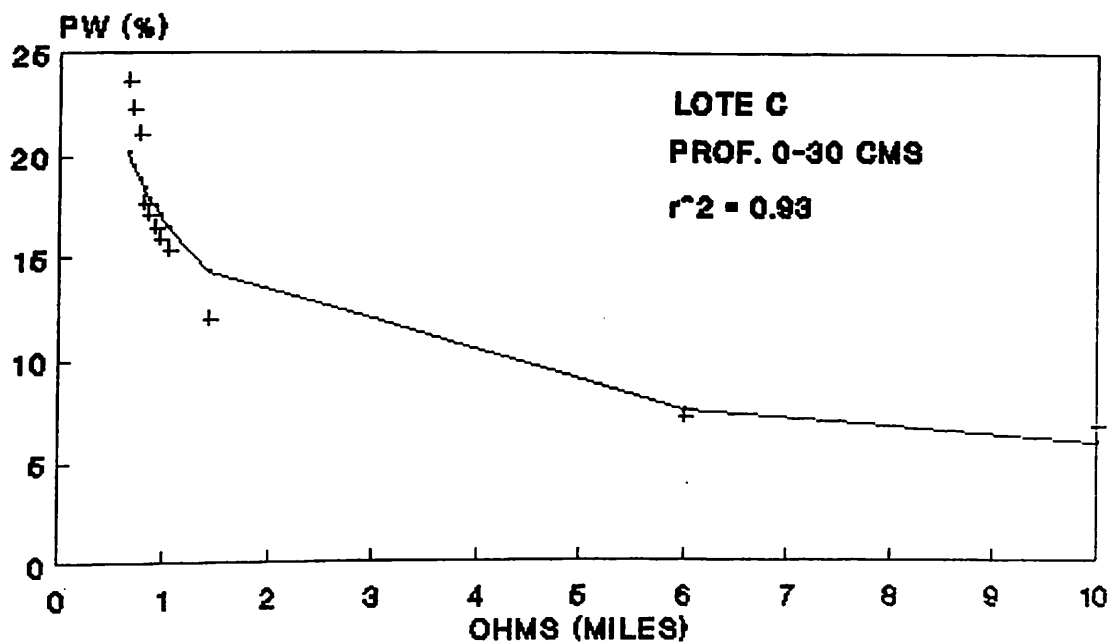
Segundo auxilio: 26/Mar/1990

Cosecha:

Fecha: Mayo/1990

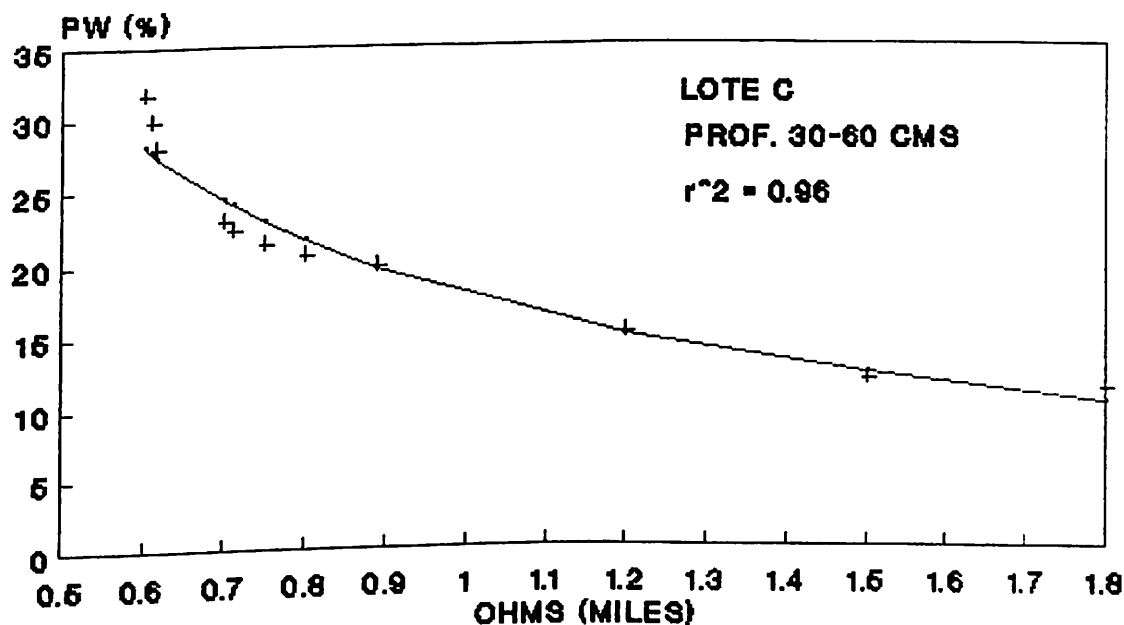
por ciento de humedad del grano: 11.5

APENDICE C



+ **OBSERVADOS** — **ESTIMADOS**

Figura 3.9 Curva de calibración del bloque de resistencia a la profundidad 0-30 cms, para el lote C.



+ **OBSERVADOS** — **ESTIMADOS**

Figura 3.10 Curva de calibración del bloque de resistencia a la profundidad 30-60 cms, para el lote C.

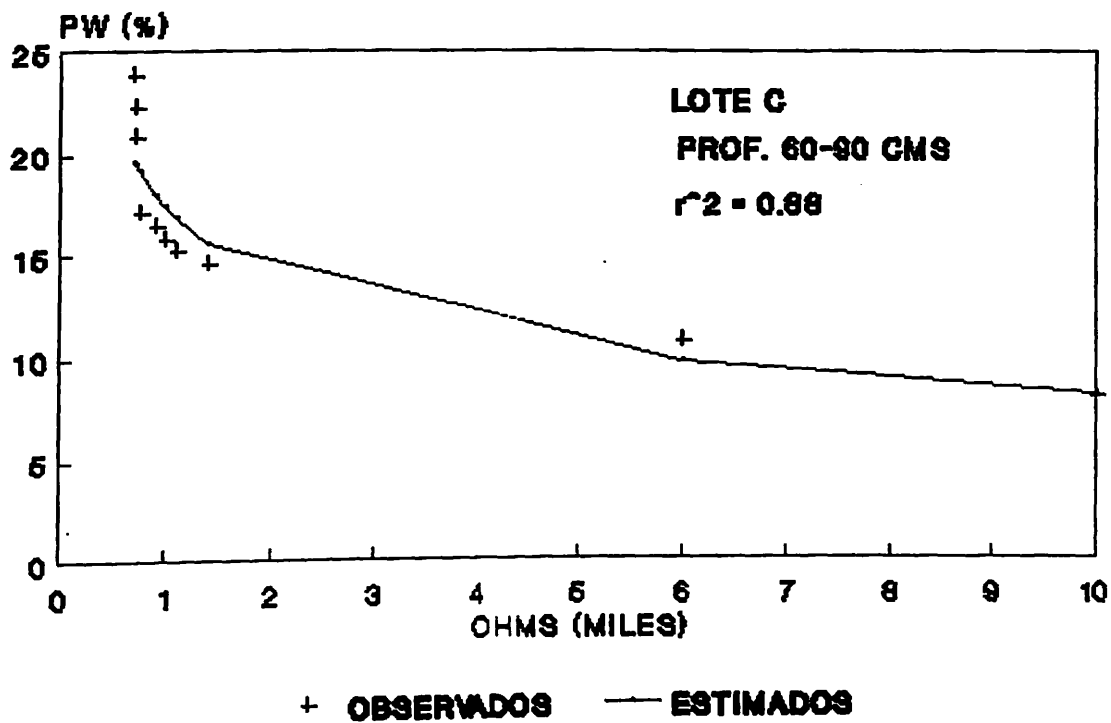


Figura 3.11 Curva de calibración del bloque de resistencia a la profundidad 60-90 cms, para el lote C.

APENDICE D

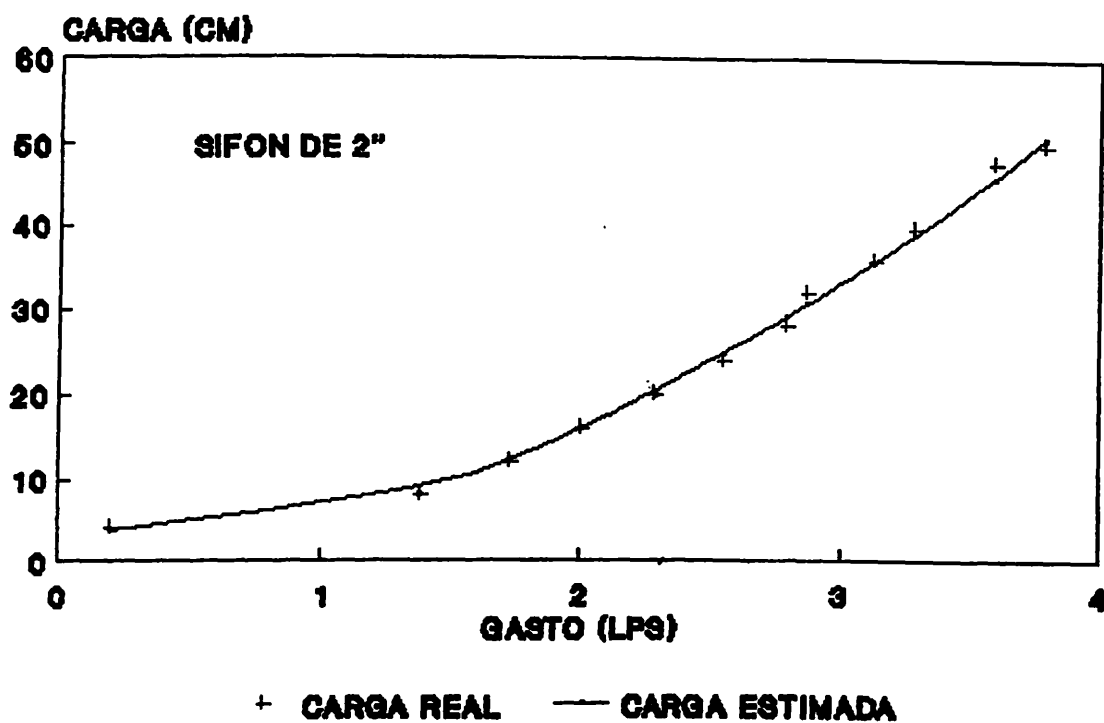


Figura 3.12 Curva de calibración para sifón de dos pulgadas de diámetro.

APENDICE E

Procedimientos para Evaluar Métodos de Riego

Procedimiento.

Determinación de la infiltración básica y la capacidad de retención de humedad del suelo en la zona radicular. Entonces se deriva un gasto de magnitud previamente determinada a la melga y se anota la longitud cubierta por el agua y el tiempo en que se alcanza dicha longitud. Se calcula la lámina aplicada y se determina la uniformidad con que el agua fue absorbida.

Actividades antes de derivar el agua a la melga.

- a). Selección de una melga para la aplicación de un gasto constante
- b). Medición del largo y ancho de la melga.
- c). Nivelación del perfil longitudinal a lo largo del centro de la melga, estacando cada 20 mts. para ubicar las estaciones de control.
- d). Muestreo del suelo por capas de 30 cms. hasta la profundidad de 90 cms., por lo menos en dos sitios de la melga empleando la barrena holandesa y determinación de sus características físicas.
- e). Muestreo del suelo con la barrena vehimeyer por capas de 30 cms. hasta la profundidad de 1 m. para determinar el contenido de humedad antes del riego.
- f). Ejecución de tres pruebas de velocidad de infiltración utilizando los infiltrómetros de cilindro, procurando mantener una carga hidráulica de aprox. 10 cms., evitando que las variaciones sean más de 5 cms. y tomando lecturas por lo menos durante 4 hrs. a intervalos constantes.
- g). En cuanto a La magnitud del gasto a utilizar, se empleo el nomograma del gasto unitario.

Actividades después de derivar el agua a la melga.

- h). Aforo del gasto mediante el uso de reglas graduadas y control de las altura de carga cada vez que el frente de agua llega a una estación de control.
- i). Registro de la hora de inicio de la evaluación, de los tiempos de llegada del agua a cada estación y del tiempo de aplicación empleado.
- j). Observación y del grado de erosión causada por el agua.
- k). Registro de los tiempos de recesión para cada estación.
- l). Muestreo del contenido de humedad, en la forma indicada anteriormente, 3-5 días antes de la aplicación del riego y evaluación de la eficiencia de distribución del agua.
- ll). Se dibujan las curvas del grado de avance y las curvas de recesión de la lámina de agua de riego.
- M). Se determinan las láminas infiltradas y las eficiencias obtenidas en el riego.

APENDICE F

Procedimiento de Cálculo

Método del Gasto Unitario

La metodología básicamente consiste en los siguientes pasos:

- 1.- Determinar de los datos básicos como pendiente, velocidad de infiltración básica, lámina neta de riego, tirante de flujo máximo, coeficiente de rugosidad y eficiencia de aplicación.
- 2.- Aplicando la ecuación que determina el gasto unitario apropiado para una pendiente, tipo de suelo y lámina de riego, la cual es la siguiente:

$$q_u = 0.295 I_b e^{-0.119 L_r}$$

Donde:

- q_u = Gasto unitario (Lps/10 m²)
- L_r = Lámina neta de riego (Cm)
- e = Base se los logaritmos naturales
- I_b = Infiltración básica (Cm/Hr)

Esta ecuación es para una pendiente de 0.5 % Para otras pendientes debe ajustarse multiplicando por un factor de corrección:

$$F = 0.859 S_o^{-.220}$$

$$r^2 = 0.998$$

Donde:

- F = Factor de corrección
- S_o = Pendiente en por ciento
- r^2 = Coeficiente de determinación

- 3.- Calcular el gasto máximo no erosivo considerando el tipo de cultivo mediante la siguiente ecuación.

$$Q_{umax} = 5.58 S_o^{-0.75}$$

Donde:

- Q_{umax} = Gasto máximo (Lps/Mt)
- S_o = Pendiente en por ciento

- 4.- Determinar el gasto requerido para producir un flujo cuyo tirante, según la ecuación de Manning sea igual al tirante máximo

- 5.- Definición del factor limitante del gasto mediante la comparación de los resultados de los puntos 3 y 4 y determinar el gasto máximo permisible por unidad de ancho de la melga
- 6.- Calcular la longitud máxima de la melga la cual resulta de dividir el gasto máximo permisible por unidad de ancho de melga entre el gasto unitario requerido.
- 7.- Calcular el gasto por melga mediante la multiplicación del gasto unitario requerido por la longitud de la melga en unidades de 10 metros y por el ancho de la melga.

$$Q_m = q_u L A / 10$$

- 8.-.Cálculo del tiempo de aplicación requerido para reponer una lámina de riego a partir de los gastos unitarios.

$$T_a = L_r / 36 q_u E$$

Donde:

T_a = Tiempo de aplicación (hr)
 E = Eficiencia de aplicación estimada (decimal)
 L_r = Lámina neta de riego (Cm)
 q_u = Gasto unitario (lps/10 m²)

- 9.- Determinar el gasto mínimo mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{min} = 0.122 S_o^{0.5}$$

Donde :

Q_{min} = Gasto mínimo (Lps/10 m²)
 S_o = Pendiente de la melga en por ciento

Procedimientos Sintéticos

Método Quasi Racional.

Ecuación de diseño para gasto unitario (Q_u , m²/seg):

$$Q_u = \frac{0.00167 L_r L}{(T_n - T_l) E_a}$$

Donde:

- L_r = Lámina de riego neta (mm)
 L = Longitud de la melga (mts)
 T_n = Tiempo de oportunidad requerida para aplicar la lámina de riego (min)
 T_l = Es el tiempo de recesión que el agua permanece al final de la cabecera después del tiempo de corte (min)
 E_a = Eficiencia de aplicación (%). El radio de la lámina de riego neta a el total de la lámina de riego aplicada.

Como el tiempo de recesión es una función del Q_u , una solución directa no es posible, a menos que la pendiente exceda del 0.4 por ciento y el tiempo de recesión viene siendo insignificante. Se requiere de una solución a prueba y error cuando la pendiente es menor de 0.4 por ciento.

Tiempo de Recesión Melgas Pendiente Moderada

El tiempo de recesión es significativo en melgas con pendientes de 0.4 % o menores, en dichas pendientes el tirante del flujo puede no alcanzar el tirante normal.

El tiempo de recesión para tales melgas de pendientes moderadas puede ser calculado por la siguiente ecuación:

$$T_l = \frac{n^{1.2} Q_u^{0.2}}{120 \left[S_o + \left(\frac{0.0094 n Q_u^{0.75}}{T_n^{0.88} S_o^{0.5}} \right) \right]}$$

Donde:

- T_l = Tiempo de recesión (min)
 T_n = Tiempo de oportunidad de infiltración requerido para aplicar la lámina deseada (min)

Esta ecuación ha sido desarrollada desde cálculos del perfil superficial del agua utilizando valores de incremento de Q_u , S_o , n y L_r .

Tiempo de Entrada. El tiempo de entrada (T_a) puede ser determinado restando el tiempo de recesión para el valor específico de Q_u , S_o , y n de el tiempo de oportunidad (T_n) requerido para que se infiltre la lámina de riego (L_r), expresado por la siguiente ecuación:

$$T_a = T_n - T_l$$

Diseño de la Eficiencia de Aplicación.

La Eficiencia de aplicación es definida como el radio de la lámina de riego neta entre la lámina de riego total aplicada, podría ser seleccionada por el diseñador basado en un sitio particular bajo un conjunto de condiciones de manejo dadas. La sobrestimación de la eficiencia podría ser evitada. Para un nivel dado de manejo, las condiciones del sitio tienen un efecto significativo en la eficiencia alcanzable en el riego por melgas.

Las mejores eficiencias pueden ser esperadas en pendientes suaves y en suelos que tienen un índice de infiltración de moderado a moderadamente alto, sucediendo lo contrario en pendientes pronunciadas y en suelos que tienen un índice de infiltración de bajo a extremadamente alto.

Limitaciones de Diseño

En el diseño los valores de Q_u , L_r , S_o , y Longitud, no deberán exceder las limitaciones establecidas.

Q_u Máximo (no erosivo):

Para cultivos que no forman césped, tales como alfalfa y granos pequeños.

$$Q_{u\max} = (1.765 \times 10^{-4}) S_o^{-0.75}$$

Para cultivos bien establecidos, cultivos densos, césped:

$$Q_{u\max} = (3.53 \times 10^{-4}) S_o^{-0.75}$$

Donde:

$$Q_{u\max} = m^2/\text{seg}$$

$$S_o = m/m$$

Máximo Tirante Hidráulico. El tirante hidráulico en la cabecera de la melga no debe exceder la altura del bordo, menos una reducción para el bordo libre del 25 por ciento de la altura del mismo. El tirante del flujo podría generalmente no exceder los 150 mm. Mayores alturas son prácticas en algunos suelos, pero los tirantes hidráulicos de 200 o 250 mm raramente son consideradas.

Tirante Hidráulico - Melgas con Pendientes Suaves

El tirante hidráulico (mm) en la cabecera de las melgas con pendientes de 0.4 por ciento o menores puede ser calculada por la siguiente ecuación:

$$d = 2454 T_l^{3/16} Q_u^{9/16} n^{3/8}$$

Donde:

$$\begin{aligned} d &= \text{Tirante hidráulico (mm)} \\ T_l &= \text{T tiempo de recesión (min)} \\ Q_u &= \text{m}^2/\text{seg.} \end{aligned}$$

Gasto Mínimo. El gasto mínimo deberá ser tan grande para espaciarse sobre la melga entera. Un gasto mínimo pequeño es necesario en melgas con alta rugosidad, entonces se requiere de una adecuada nivelación y, en melgas lisas el Qumin por unidad de ancho puede ser calculado por la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{umin}} = (5.95 \times 10^{-6} L S_o^{0.05}) / n$$

Pendiente Máxima

La máxima pendiente permisible, para aplicar una lámina de riego neta, y utilizando las familias de infiltración, se puede estimar por la siguiente ecuación:

$$S_{\text{omax}} = \left(\frac{n}{0.0117 E_a} \frac{L_r}{T_n} \right)^2$$

Esta ecuación está basada en el criterio del tirante mínimo hidráulico y no incluye limitaciones de pendiente impuestas por el diseño de erosión debido al escurrimiento por lluvia. En pendientes mayores de 4 por ciento, la erosión es un peligro extremo.

Longitud Máxima. La longitud máxima teórica para melgas abiertas está limitada por Qumax permisible, limitada por el peligro de erosión en pendientes pronunciadas o por el tirante del bordo en pendientes planas.

La longitud de melga permisible en suelos de bajo índice de infiltración y bajas pendientes se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$L_{\text{max}} = \frac{Q_u E (T_n - T_l)}{0.00167 L_r}$$

Esta ecuación puede exceder los límites prácticos. El tiempo requerido para recorrer grandes longitudes y las dificultades en determinar y hacer los ajustes necesarios del gasto unitario con frecuencia hacen estas longitudes imprácticas. Las longitudes de melgas raramente exceden los 400 metros.

Diseño de Melgas Sin Esgurrimiento

Altas eficiencias de aplicación y eliminación del escurrimiento superficial pueden ser alcanzados modificando el diseño de la melga. Esto puede ser acompañado cerrando el final de la melga y reducir el gasto unitario, o extendiendo la longitud de la melga y encerrar el escurrimiento en una extensión de longitud.

Dimensiones de la melga. La longitud de extensión está limitada por los pormenores de :

- 1.- La longitud, L_e (M), que puede ser cubierta por un embalsamiento cuya profundidad máxima es igual a la lámina de aplicación neta (L_r) deseada. $L_r = \text{mm}$, $S_o = \text{m/m}$

Se utiliza la siguiente ecuación:

$$L_e = L_r / 1000 S_o$$

- 2.- La longitud que puede ser adecuadamente regada con el volumen de escurrimiento de una melga abierta:

$$L_e = (1 - E / 1000 r_i r_n L)$$

Donde :

- L_e = Extensión de longitud permisible con melgas cerradas (mt)
- E_a = Eficiencia de aplicación (por ciento)
- r_i y r_n = Factores que expresan el efecto de la infiltración y rugosidad en el escurrimiento.
- L = Longitud normal de diseño (mt)

Melgas Cerradas. (Sin extensión). En el campo, donde la longitud de la melga es fijada, el uso de bordos terminales y la eliminación del escurrimiento permite la reducción del gasto unitario.

La reducción del gasto unitario requerido puede ser estimado con la siguiente ecuación:

$$Q_{ue} = \frac{Q_u}{1 + r_i r_n (1 - E/100)}$$

Donde :

Q_{ue} = Gasto unitario por unidad de ancho de melga usando bordos terminales (m^2/seg)
 Q_u = Gasto unitario determinado por la longitud de la melga abierta (m^2/seg)
 E = Eficiencia de aplicación (por ciento)
 r_i y r_n = Factores empíricos

Diseño de Campo Utilizando el Método de Balance de Volumen

La metodología de diseño se basa en lo siguiente:

- Tiempo de Oportunidad de Infiltración.

El modelo matemático básico empleado es la relación de Kostiaikov-Lewis con la siguiente ecuación:

$$Z_{req} = K T_{req}^a + F_o T_{req}$$

Donde:

Z_{req} = Volumen infiltrado requerido por unidad de longitud (es igual al déficit de humedad del suelo en unidades similares) m^3/m .

T_{req} = Tiempo de oportunidad de infiltración de diseño min.

K y a = Parámetros empíricos.

F_o = Infiltración básica $m^3/min/m$

T_{req} = Trecesión - T_l (avance)

Para expresar la infiltración como una lámina de aplicación Z se divide por la unidad de ancho (melgas = 1 metro).

Los valores de K , a y F_o y unidades de ancho son datos de entrada del diseño, así como el volumen por unidad de longitud requerida para llenar la zona radicular (Z_{req}).

El procedimiento de diseño requiere que el tiempo de oportunidad de infiltración asociado con Z_{req} sea conocido. Este tiempo, representado por T_{req} , requiere una solución no lineal. Un método conveniente es el procedimiento de Newton - Raphson:

1.- Haga una estimación inicial de T_{req} y etiquételo como $(T_{req})_i$.

2.- Calcule la estimación revisada, $(T_{req})_{i=1}$, basada en la siguiente fórmula:

$$(T_{req})_{i=1} = (T_{req})_i + \frac{Z_{req} - K (T_{req})_i^a - F_o (T_{req})_i}{a K (T_{req})_i^{1-a} + F_o}$$

3.- Compare los valores de la estimación revisada y la inicial. Si hay igualdad entre una y otra, o dentro de una tolerancia aceptable, el valor de T_{req} es determinado. Si no existe igualdad, reemplace el valor inicial de T_{req} con el valor revisado, $(T_{req})_i = (T_{req})_{i+1}$ y repetir los pasos 2 y 3.

Tiempo de Avance

Cálculo del tiempo de avance.

El primer paso es determinar el área del corte seccionar del flujo a la entrada del campo (A_o). Para terrenos con pendiente, utilizando la ecuación de Manning como sigue:

$$A_o = C_1 \left(\frac{Q_o^n}{60 S_o^{0.5}} \right) C_2$$

$$C_1 = 1, \quad C_2 = 3/5$$

Donde:

Q_o = Gasto unitario ($m^3/\text{min}/\text{unidad de ancho}$)
 n = Coeficiente de rugosidad de Manning
 S_o = Pendiente (m/m)

Los datos de entrada de diseño en este punto son: longitud del campo (L), S_o , n , y Q_o . Esta información puede ser usada para resolver la ecuación de balance volumen, para el tiempo de avance, T_1 :

$$Q_o T_1 - 0.77 A_o L - \hat{f}_z K T_1^a L - \hat{f}_z^1 F_o T_1 L = 0$$

Donde:

\hat{f}_z = Factor de forma subsuperficial, definida como:

$$\hat{f}_z = \frac{a + r (1 - a) + 1}{(1 + a)(1 + r)}$$

$$\hat{f}_z^1 = 1/(1 + r)$$

Esta ecuación contiene dos variables desconocidas, T_1 y r , las cuales están relacionadas. Para resolver este problema, del tiempo de avance en 2 puntos es definido en el siguiente procedimiento:

1.- El exponente de la ecuación de avance r típicamente posee valores de 0.3 a 0.9. El primer paso es hacer una estimación inicial de este valor y etiquetar a este valor como r_i . Entonces la anterior asunción es calculada y comparada como sigue:

2.- Calcular \hat{f}_z y \hat{f}_z^1

3.- Calcular el tiempo de avance, T_1 , usando el procedimiento de Newton Raphson:

$$a).- (T_1)_i = 5.0 (A_o L / Q_o)$$

$$b).- (T_1)_{i+1} = (T_1)_i - \dots$$

$$\frac{Q_o (T_1)_i - 0.77 A_o L - \hat{f}_z^2 K (T_1)_i^a L - \hat{f}_z^1 F_o (T_1)_i L}{Q_o - \frac{a K \hat{f}_z L}{(T_1)_i^{1-a}} - \hat{f}_z^1 F_o L}$$

c).- Comparar la estimación inicial del tiempo de avance, $(T_1)_i$, con la estimación revisada $(T_1)_{i+1}$. Si son casi iguales continúe con el paso 4. Si no defina $(T_1)_i = (T_1)_{i+1}$ y repita los pasos b y c.

Si nota que el flujo de entrada, Q_o , es pequeño para la longitud del campo, este procedimiento podría llegar a converger. Esto es una indicación de que el Q_o puede ser incrementado o la longitud (L) reducida.

d).- Calcular el tiempo de avance en el punto medio de la longitud ($t_{0.5L}$) de la misma forma para calcular T_1 reemplazando L por $0.5L$ y T_1 con $t_{0.5L}$. La ecuación del inciso b es usada con L y $0.5L$ para encontrar los valores apropiados de T_1 y $t_{0.5L}$ respectivamente.

4.- Calcular la estimación revisada de r como sigue:

$$r_{i+1} = \frac{\ln 2}{\ln(T_1 / t_{0.5L})}$$

5.- Comparar la estimación inicial con la estimación revisada si existe similitud, el procedimiento concluye. Si no, $r_i = r_{i+1}$ y se repiten los pasos del 2 al 4.

La determinación de T_1 es el cálculo básico del balance de volumen. Este es usado al principio del diseño para asegurar que el máximo flujo pueda estar disponible para completar la fase de avance adecuadamente. Simplemente es usado para encontrar el mínimo gasto de entrada. Así como también la disminución del gasto es usada en el diseño.

Los cálculos de T_1 son usadas repetidamente en la optimización del diseño o sus operaciones.

Cuando se diseña manualmente o con algún programa, con frecuencia se emplea al inicio un máximo flujo y se incrementa descendientemente con el procedimiento de T_1 hasta que el mínimo es alcanzado. Entonces Q_0 vs T_1 puede ser graficado, para referencias posteriores en el procedimiento de diseño

APENDICE G

Metodología de Reddy (1989)

La ecuación de avance de la metodología es:

$$X(t) = qt/\beta A + [\zeta (Kt^a + ct)]$$

Donde:

$X(t)$ = Distancia de avance por el elemento líder a un tiempo (min)

q = Gasto unitario (m^3/seg)

t = Tiempo (seg)

β = Factor de encharcamiento superficial

A = Area transversal (m^2)

ζ = Factor de forma superficial

K = Parámetro de la ecuación de infiltración (m^3/min)

a = pendiente de la ecuación de infiltración (por ciento)

c = velocidad de infiltración básica

La ecuación de recesión de la metodología es:

Estas ecuaciones son integrales no lineales que no tienen en si mismas una solución analítica, dado por lo cual se emplea la técnica de la Cuadratura Gaussiana:

$$J = \sum_{j=1}^n W_j P(\check{S}_j)$$

Donde:

$P(\check{S}_j)$ = Valor de la función dada a la variable (\check{S}_j)

J = Valor de la función de integración

W_j = Factor de ponderación

n = Número de puntos de cuadratura

La ecuación para la recesión resultante es:

$$t(l) = t_R + \frac{M}{I} \frac{(L-1)}{2} \sum_{j=1}^n W_j P_j \left[\frac{l}{\check{S}_j^m + (C * \check{S}_j^{\check{A}})} \right]$$

Donde:

$t(l)$ = Tiempo estimado de recesión

t_R = Tiempo de inicio de la recesión aguas arriba

M y C = constantes

I = Velocidad promedio de infiltración

m y \check{A} = Exponentes

L = longitud del surco

l = porción inundada de la longitud

\check{S}_j = Se calcula mediante la siguiente fórmula

$$\check{s}_j = \left[\frac{\bar{o}_j (L - 1) + L + 1}{2} \right]$$

Donde

\bar{o}_j = Punto de cuadratura

\check{s}_j se calcula para diferentes valores de $L-1$.

APPENDICE H

Cuadro 4.4. Coeficientes de ecuación de infiltración (k y a) obtenidos a partir de los datos de avance por el método de balance de volumen.

RIEGO	GASTO (LPS/100 M ²)	COEFICIENTES DE INFILTRACION	
		k (Cm/Hr)	a (%)
PRIMER	3.8	73.8	-0.5789
AUXILIO	3.0	88.8	-0.8453
	2.1	65.4	-0.7757
SEGUNDO	3.8	87.0	-0.8019
AUXILIO	3.0	81.6	-0.8350
	2.1	43.2	-0.9115

APENDICE I

Cuadro 4.5. Eficiencias de riego obtenidas en todas las pruebas de riego para los tres lotes en estudio.

LOTE	GASTO (LPS/100M ²)	RIEGO	EF. APL (%)	EF. ALM. (%)	U.D. (%)
A	3.1	PRESIEMBRA	83.7	74.8	74.5
	3.1	1ER AUX.	94.5	93.1	90.8
	2.1	PRESIEMBRA	90.4	82.0	79.6
	2.1	1ER AUX.	99.3	85.0	92.9
B	3.3	PRESIEMBRA	73.7	96.1	81.8
	2.7	PRESIEMBRA	53.8	100.0	91.6
	1.9	PRESIEMBRA	59.9	100.0	87.0
C	3.8	PRESIEMBRA	98.5	82.1	86.3
	3.8	1ER AUX.	81.1	100.0	96.1
	3.8	2DO AUX.	76.2	100.0	98.1
C	3.0	PRESIEMBRA	73.5	94.8	74.4
	3.0	1ER AUX.	68.2	100.0	99.7
	3.0	2DO AUX.	71.0	100.0	99.4
C	2.1	PRESIEMBRA	74.8	95.4	75.9
	2.1	1ER AUX.	74.4	100.0	99.2
	2.1	2DO AUX.	-----	-----	-----

APENDICE J

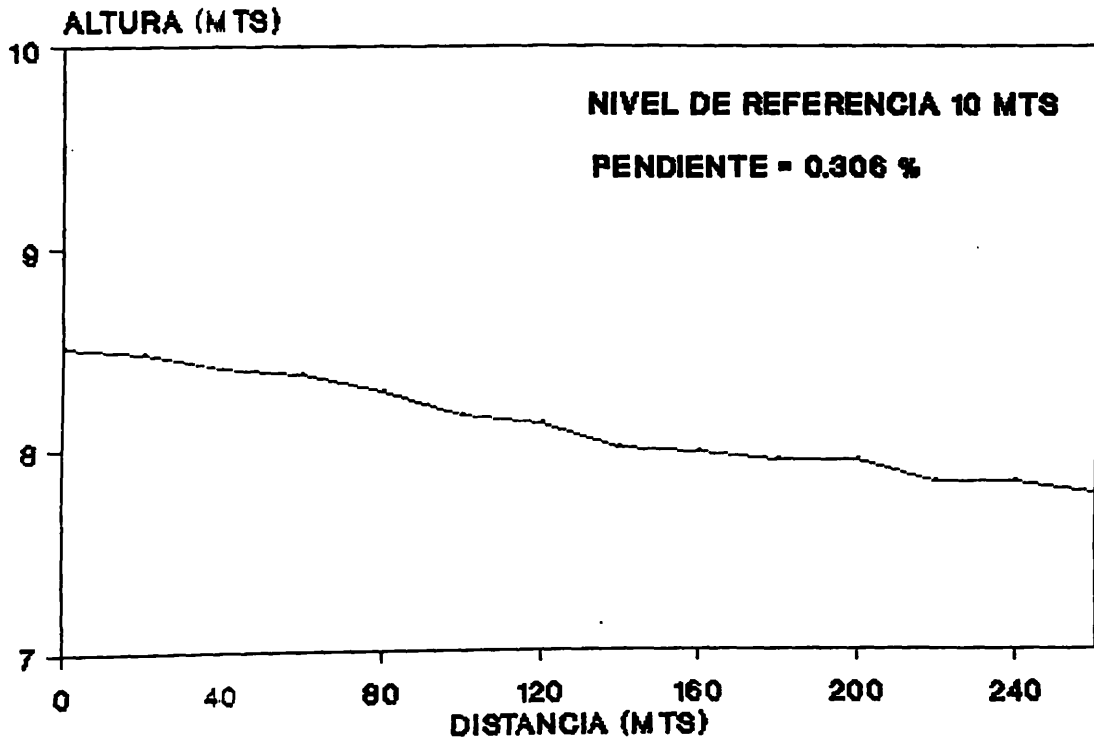


Figura 3.1. Pendiente longitudinal en el lote C, para el gasto de 3.8 lps/100 m².

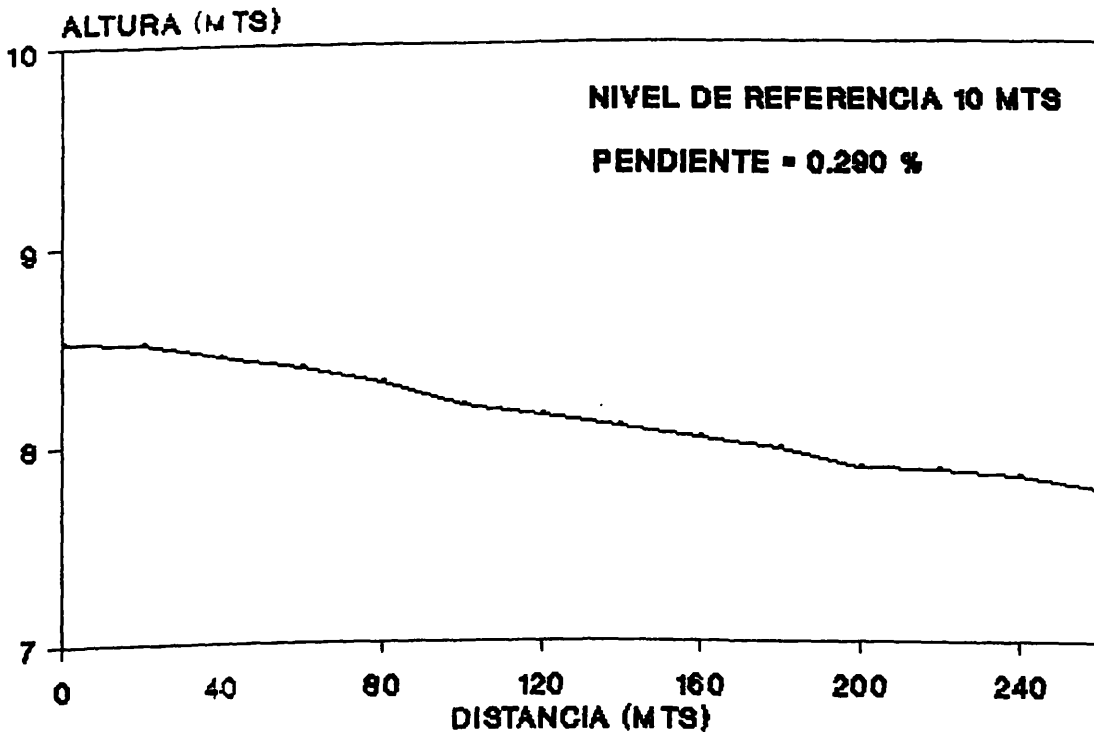


Figura 3.2. Pendiente longitudinal en el lote C, para el gasto de 3.0 lps/100 m².

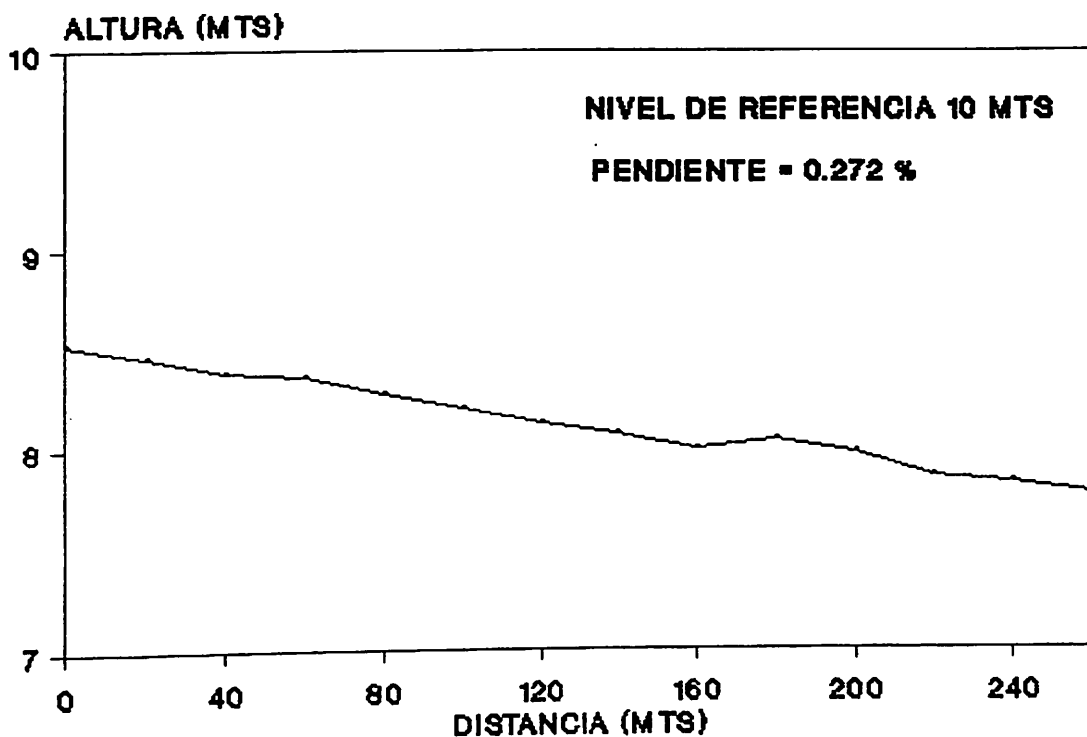


Figura 3.3. Pendiente longitudinal en el lote C, para el gasto de 2.1 lps/100 m².

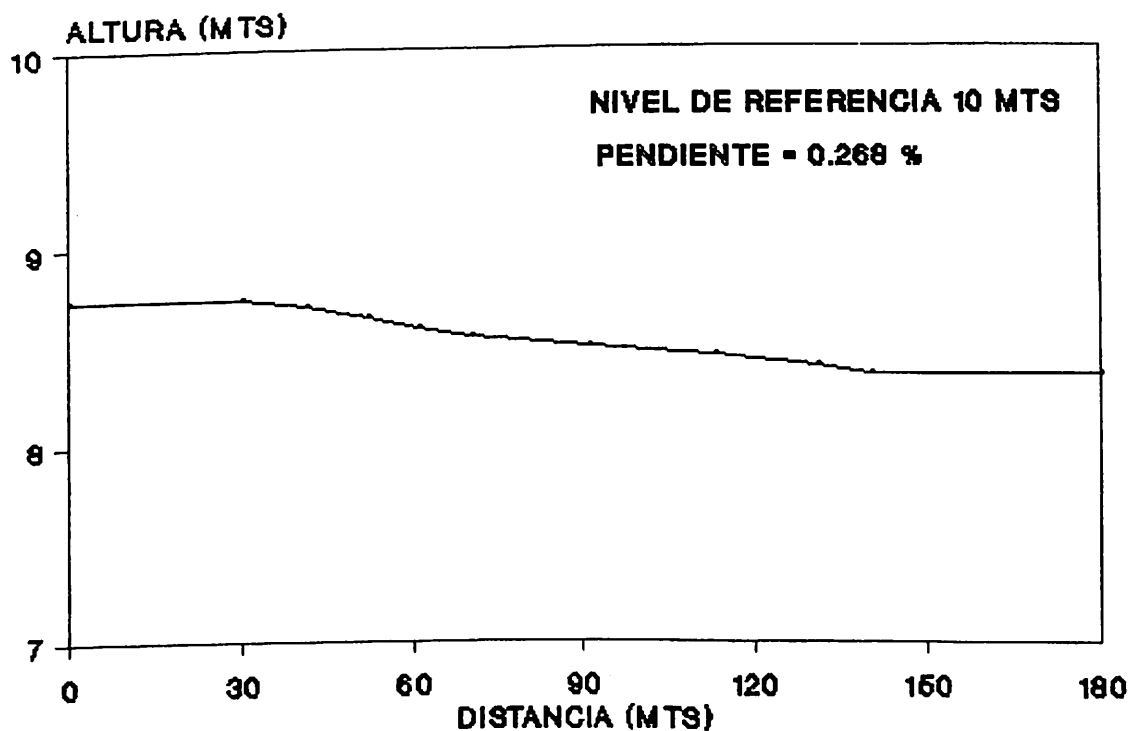


Figura 3.4. Pendiente longitudinal en el lote A, para el gasto de 3.1 lps/100 m².

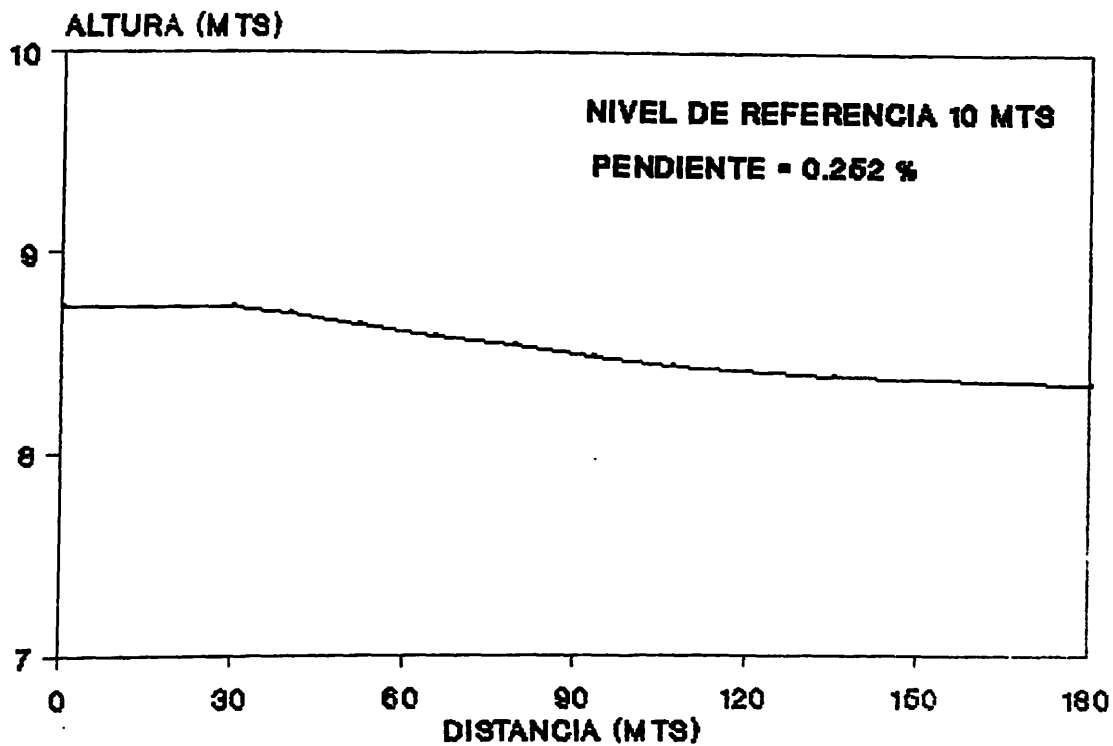


Figura 3.5. Pendiente longitudinal en el lote A, para el gasto de 2.1 lps/100 m².

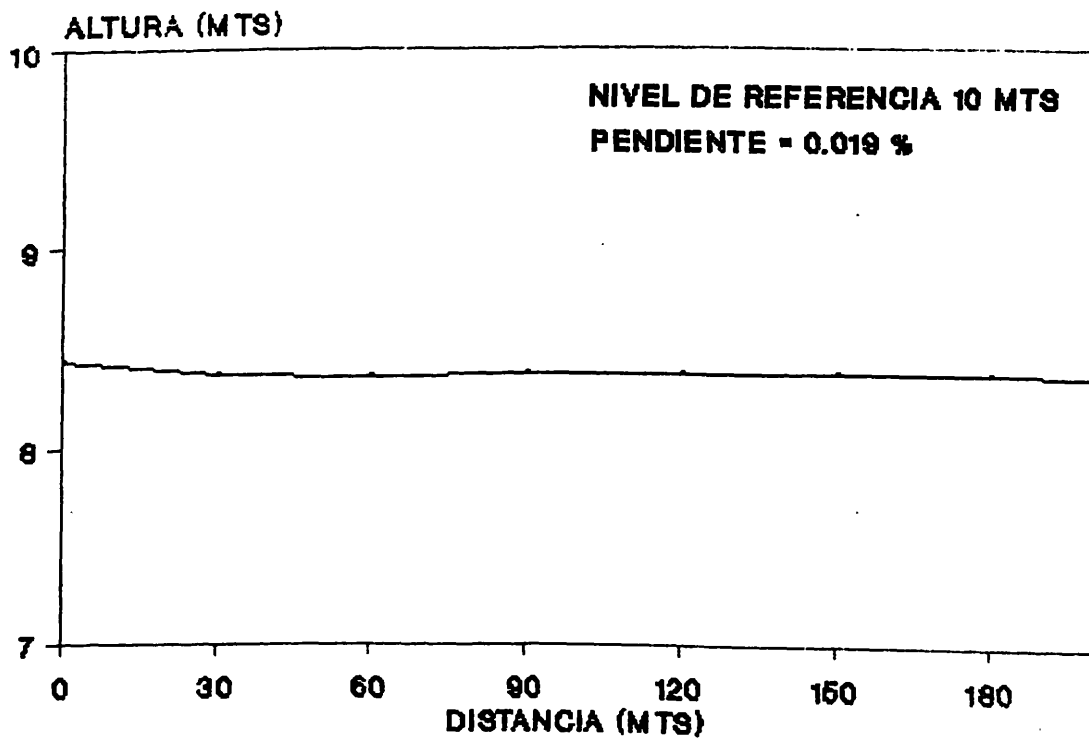


Figura 3.6. Pendiente longitudinal en el lote B, para el gasto de 3.3 lps/100 m².

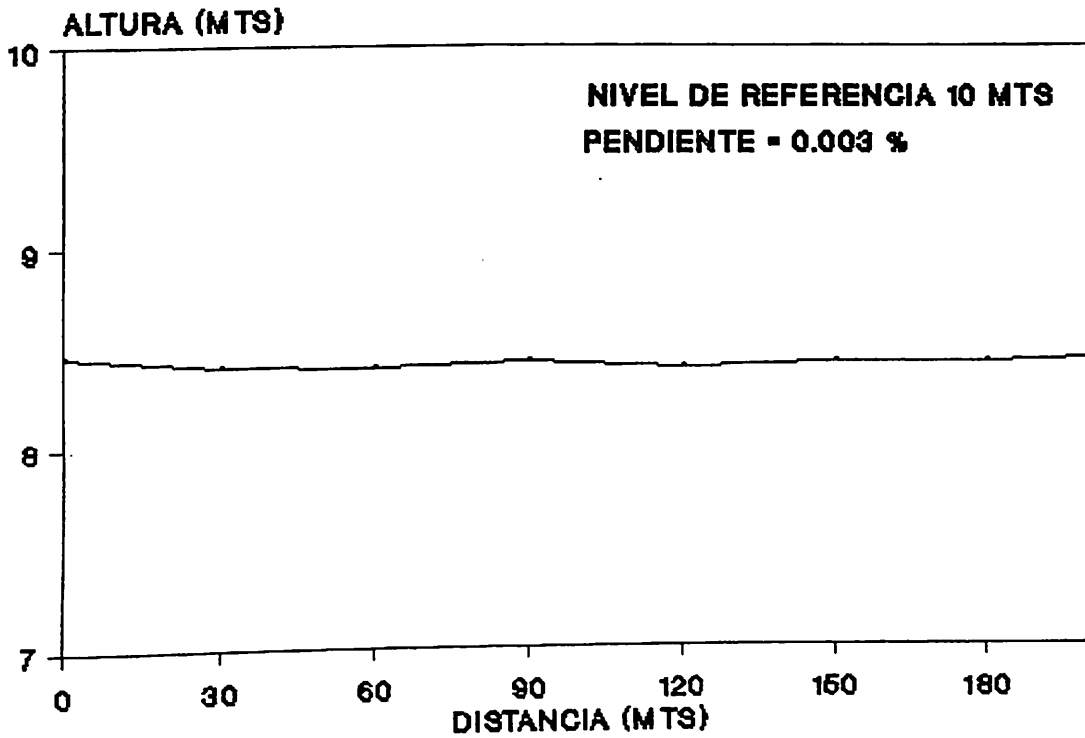


Figura 3.7. Pendiente longitudinal en el lote B, para el gasto de 2.7 lps/100 m².

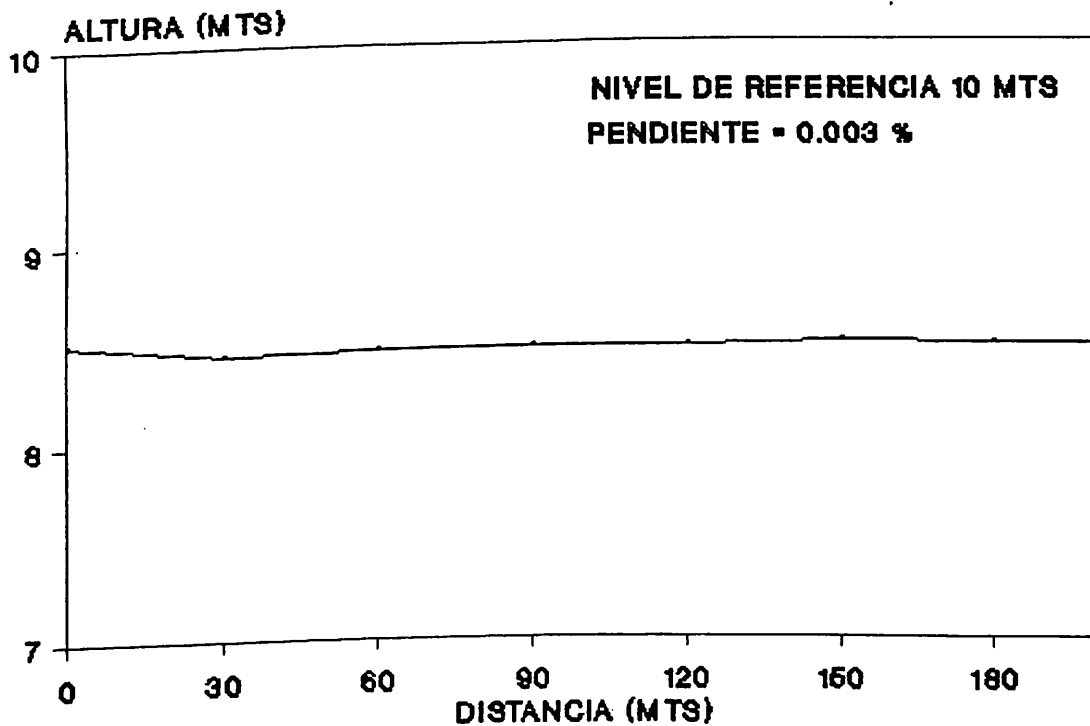


Figura 3.8. Pendiente longitudinal en el lote B, para el gasto de 1.9 lps/100 m².

APENDICE K

```
PROGRAMA GASTO_UNITARIO;
```

```
USES CRT;
```

```
TYPE ARREGLO = ARRAY [1..50] OF INTEGER;
```

```
VAR
```

```
LAMN, IB, So, B, N, N1, QU, QU1, YI, PEND, QUMAX, AREA, PM, RH, VEL, QREQ,
AREA1, PM1 : REAL;
QPER, LONG, QXM, ANCHO, TA, EF, QMIN : REAL;
LETRA : CHAR; I, T : INTEGER;
Y : ARREGLO;
```

```
FUNCTION POT (X, Y: REAL): REAL;
BEGIN
  POT := EXP (Y * LN (ABS(X)));
END;
```

```
PROCEDURE DATOS;
BEGIN
  WRITELN;
  WRITELN;
  WRITELN ('PROGRAMA PARA EL DISEÑO DEL RIEGO POR
MELGAS');
  WRITELN (' MEDIANTE EL METODO DEL GASTO
UNITARIO');
  WRITELN;
  WRITELN;
  WRITELN ('PROPORCIONE LOS SIGUIENTES
DATOS...:');
  WRITELN;
  WRITELN;
  WRITELN;
  WRITE ('LAMINA NETA DE RIEGO (Cm)... ');
  READLN (LAMN);
  WRITE ('INFILTRACION BASICA (Cm/Hr)... ');
  READLN (IB);
  WRITE ('PENDIENTE DEL TERRENO (%)... ');
  READLN (So);
  WRITELN;
END;
```

```
PROCEDURE COEFRUG;
BEGIN
  WRITELN;
  WRITELN;
  WRITELN ('DE ACUERDO A LOS SIGUIENTES DATOS
SELECCIONE EL VALOR DEL COEFICIENTE');
```

```

WRITELN ('DE RUGOSIDAD DE ACUERDO A LAS
          CONDICIONES DE VEGETACION...');
WRITELN;
WRITELN;
WRITELN ('SIN VEGETACION.....      n = 0.001');
WRITELN ('BAJA VEGETACION.....      n = 0.005 A
          0.010');
WRITELN ('MEDIA VEGETACION.....     n = 0.010 A
          0.025');
WRITELN ('ALTA VEGETACION.....       n = 0.025 A
          0.050');
WRITELN ('MUY ALTA VEGETACION...     n = 0.050 A
          0.100');

WRITELN;
WRITELN;
WRITE ('VALOR DE RUGOSIDAD SELECCIONADO... ');
READLN (N1);
N := 0.02+N1;
END;

```

```

PROCEDURE GASTOUNIT;
BEGIN
  QU1 := 0.295 * IB * EXP(-0.119 * LAMN);
  PEND := 0.859 * POT(So,-0.220);
  QU := QU1 * PEND;
  QUMAX := 5.58 * POT(So,-0.75);
  {AREA := 1 * YI;
  PM := 1 + (2 * YI);
  RH := AREA/PM;
  So := So/100;
  VEL := (1/N) * POT(RH,(2/3)) * POT(So,0.5);
  QREQ := (AREA * VEL)*1000;}
  WRITELN;
  WRITELN ('GASTO UNITARIO = ',QU:2:2,' LPS/M');
  WRITELN ('GASTO MAXIMO = ',QUMAX:2:2,' LPS/M');
END;

```

```

PROCEDURE GASTO;
BEGIN
  WRITELN;
  WRITELN ('SI EL TIRANTE HIDRAULICO DEL GASTO
          MAXIMO NO REBASA LA ALTURA');
  WRITELN ('DE LOS BORDOS CONSIDERESE EL MISMO
          COMO GASTO DE DISEÑO; SI NO');
  WRITELN ('SELECCIONE EL TIRANTE CON EL GASTO
          ADECUADO. ');

  WRITELN;
  WRITELN;
  WRITELN;
  WRITE ('PROPORCIONE EL TIRANTE MAXIMO (# ENTERO
          EN Cms)... ');

  READLN (T);
  AREA := 0; PM := 0; RH := 0; I := 0;

```

```
FOR I := 1 TO T DO
```

```
  BEGIN
```

```
    AREA1 := 100 * I;
```

```
    AREA := AREA1/10000;
```

```
    PM1 := (2 * AREA1);
```

```
    PM := 1+(PM1/10000);
```

```
    RH := AREA/PM;
```

```
    VEL := (1/N) * POT(RH, (2/3)) *
```

```
POT(So, 0.5);
```

```
    QREQ := AREA * VEL*1000;
```

```
    Writeln;
```

```
    Writeln ('TIRANTE = [', I, ']' Cm ', ' GASTO
```

```
REQUERIDO [', I, ']' = ', QREQ:2:2, ' LPS/M');
```

```
    IF I = 10
```

```
      THEN BEGIN
```

```
        Writeln;
```

```
        Writeln;
```

```
        Writeln ('PRESIONE RETURN PARA  
CONTINUAR...');
```

```
        Readln;
```

```
      END
```

```
      ELSE BEGIN
```

```
        IF I = 20
```

```
          THEN BEGIN
```

```
            Writeln;
```

```
            Writeln;
```

```
            Writeln ('PRESIONE RETURN PARA  
CONTINUAR...');
```

```
            Readln;
```

```
          END;
```

```
        END;
```

```
    END;
```

```
  END;
```

```
PROCEDURE DISEÑO;
```

```
  BEGIN
```

```
    Writeln;
```

```
    Writeln;
```

```
    Write ('GASTO MAXIMO PERMISIBLE DE ACUERDO AL  
TIRANTE... ');
```

```
    Readln (QPER);
```

```
    Write ('PROPORCIONE EL VALOR DEL ANCHO DE LA  
MELGA... ');
```

```
    Readln (ANCHO);
```

```
    LONG := QPER/(QU/10);
```

```
    Writeln;
```

```
    Writeln;
```

```
    Writeln ('LONGITUD MAXIMA DE LA MELGA =  
, LONG:2:2, ' Mts');
```

```
    Writeln;
```

```
    QXM := (QU * LONG * ANCHO)/10;
```

```
    Writeln;
```

```
    Writeln;
```

```
    Writeln ('GASTO POR MELGA = ', QXM:2:2, ' LPS');
```

```

WRITELN;
WRITE ('PROPORCIONE EL VALOR DE LA EFICIENCIA
      DE APLICACION DEL SISTEMA (%)... ');
READLN (EF);
EF := EF/100;
TA := LAMN/(36 * QU * EF);
WRITELN;
WRITELN;
WRITELN ('TIEMPO DE APLICACION REQUERIDO POR
      MELGA = ',TA:2:2,' HRS');

WRITELN;
So := So * 100;
QMIN := 0.122 * POT(So,0.5);
WRITELN;
WRITELN;
END;

```

```

BEGIN
  REPEAT
    CLRSCR;
    WRITELN;
    WRITELN;
    DATOS;
    COEFRUG;
    GASTOUNIT;
    GASTO;
    DISENIO;
    WRITELN;
    WRITELN;
    WRITELN;
    WRITE ('DESEA OTRO CALCULO (S/N)... ');
    READLN (LETRA);
    UNTIL LETRA <> 'S'
  END.

```



```

PROGRAM QUASIRACIONAL;

USES CRT;

CONST   Ri = 0.8;   Rn = 0.75;

VAR     FN, So, N, Ea, TP, L, Tn, M, TLA, Qu, W, TL, D1, KP, a1 : REAL;
        QUe, LeSo, LeESC, LeMASESC, QUMAX, D, QUMIN, SoMAX, LMAX :
REAL;
        Fo, K, a, TN1, FN1, Fo1, So1, Qu1, QUe1, QUMAX1, QUMIN1, SoMAX1
: REAL;
        LETRA : CHAR;

FUNCTION POT (X, Y:REAL):REAL;
    BEGIN
        POT := EXP (Y * LN(ABS(X)));
    END;

PROCEDURE LEER;
    BEGIN
        WRITELN;
        WRITELN ('   PROGRAMA PARA EL DISEÑO DEL METODO
DE RIEGO           POR MELGAS ');
        WRITELN ('           METODO QUASIRACIONAL
');
        WRITELN;
        WRITELN;
        WRITELN;
        WRITE ('                               PRESIONE RETURN
PARA                               INICIAR... ');
        READLN;
        CLRSCR;
        WRITELN;
        WRITELN ;
        WRITELN ;
        WRITELN ;
        WRITELN ('                               PROPOCIONE LOS SIGUIENTES
DATOS...:');
        WRITELN ;
        WRITELN;
        WRITE ('                               LAMINA NETA DE RIEGO
(Cm) ... ');
        READLN (Fn1);
        WRITE ('                               INFILTRACION BASICA
(Cm/Hr) ...                               ');
        READLN (Fo);
        WRITE ('                               CONSTANTE DE LA
ECUACION DE                               INFILTRACION (K)...
');
        READLN (K);
    
```

```

WRITE ('
ECUACION DE
');
READLN (a);
WRITE ('
(%)... ');
READLN (So1);
WRITE ('
RUGOSIDAD DE
');
READLN (N);
WRITE ('
APLICACION
');
READLN (Ea);
WRITE ('
(Cm)... ');
READLN (TP);
WRITE ('
(MTS)... ');
READLN (L);
END;

PROCEDURE ITERACION;
BEGIN
  FN := FN1*10;
  TN1 := (FN-Fo)/K;
  TN := POT(TN1, (1/a));
  So := So1/100;
  WRITELN;
  WRITELN ('ESTIMACION DEL TIEMPO DE RECESION');
  WRITELN;
  WRITELN;
  WRITE ('PROPORCIONE EL VALOR DEL TIEMPO DE
ESTIMADO... ');
RECESION
  READLN (TLA);
  REPEAT
    Qu := (0.00167 * Fn * L)/((Tn - TLA) * Ea);
    W := So + ((0.0094 * N *
POT(Qu, 0.175))/(POT(Tn, 0.88) *
POT(So, 0.5)));
    TL := (POT(N, 1.2) * POT(Qu, 0.2))/(120 *
POT(W, 1.6));
  M := TL/TLA;
  IF ( M > 0.999) AND ( M < 1.09)
  THEN BEGIN
    WRITELN ('TL = ', TL);
  END
  ELSE BEGIN
    TLA := TL;
  END;
  UNTIL ( M > 0.999) AND ( M < 1.1);
  Qu1 := Qu*1000;
END;

```

EXPONENTE DE LA
INFILTRACION (a)...

PENDIENTE DE LA MELGA

COEFICIENTE DE
MANNING... ');

EFICIENCIA DE
ESTIMADA (%)...

TIRANTE PERMISIBLE

LONGUITUD DE LA MELGA
');

```

PROCEDURE CALCULOS;
BEGIN
  TP := TP*10;
  Qu := Qu / (1 + (Ri*Rn*(1 - (Ea/100))));
  LeSo := Fn / (1000*So);
  LeESC := (1 - (Ea/100))*Ri*Rn*L;
  LeMASEESC := L + LeESC;
  QUMAX := 1.765E-4*POT(So, -0.75);
  D :=
2454*POT(TL, (3/16))*POT(Qu, (9/16))*POT(N, (3/8));
  QUMIN := (5.95E-6*L*POT(So, 0.5))/N;
  SoMAX := SQR((N/(0.0117*Ea))*(Fn/Tn));
  LMAX := (QUMAX*Ea*(Tn-TL))/(0.00167*Fn);

  QUe1 := QUe*1000;
  QUMAX1 := QUMAX*1000;
  SoMAX1 := SoMAX*100;
  QUMIN1 := QUMIN*1000;
  D1 := D/10;
END;

```

```

PROCEDURE RESULTADOS;
BEGIN
  WRITELN          RESULTADOS          ');
  WRITELN ('TIEMPO DE OPORTUNIDAD DE INFILTRACION
           ', Tn:10:2, ' MIN          ');
=
  WRITELN (' GASTO UNITARIO = ', Qu1:10:2, ' LPS/M
           ');
  WRITELN (' TIEMPO DE RECESION = ', TL:10:2, ' MIN
           ');
  WRITELN (' GASTO UNITARIO EN MELGAS CERRADAS =
           ', QUe1:10:2, ' LPS/M
           ');
  WRITELN (' EXTENCION DE LONGUITUD DE ACUERDO A
           PENDIENTE = ', LeSo:10:2, ' MTS
LA
           ');
  WRITELN (' EXTENCION DE LONGUITUD DE ACUERDO AL
           ESCURRIMIENTO = ', LeESC:10:2, '
MTS ');
  WRITELN (' GASTO MAXIMO NO EROSIVO =
           LPS/M
           ', QUMAX1:10:2, '
           ');
  WRITELN (' TIRANTE MAXIMO PERMISIBLE =
           ', D1:10:2, ' Cm ');
  WRITELN (' GASTO MINIMO PERMISIBLE =
           LPS/M
           ', QUMIN1:10:2, '
           ');
  WRITELN (' PENDIENTE MAXIMA PERMISIBLE =
           %
           ', SoMAX1:10:2, '
           ');

```

```
ABiertas = WRITELN (' LONGUITUD MAXIMA PARA MELGAS
                    ',LMAX:10:2,' MTS
');
ESCURRIMIENTO WRITELN (' LONGUITUD TOTAL MAS LONGUITUD DE
                    = ',LeMASESC:10:2,' MTS
');
                END;
```

```
BEGIN
  REPEAT
    CLRSCR;
    LEER;
    ITERACION;
    CALCULOS;
    RESULTADOS;
    WRITELN;
    WRITELN;
    WRITELN;
    WRITE ('DESEA OTRO CALCULO (S/N)...');
    READLN (LETRA);
    UNTIL (LETRA = 'N') OR (LETRA = 'n');
END.
```

```

PROGRAM BALANCE_DE_VOLUMEN;

USES CRT;

VAR

A, B, H, AZ, APZ, Fo, Fo1, TAV, K, R1, Pa, R2, G, WF, LP5, AP5, BP5, HP5, XP5
, X : REAL;
  Qo, QT, FY, N, L, TL, So, C1, C2, Ao, RP, R, VP5L, VL, FZ : REAL;
  QMAX, QMAX1, QMIN, Yo3, Yo2, Yo1, Yo, Qo1, TRX, ZREQ, Z, V, M :
REAL;
  TREQ, T1, T11, T2, I, Sy1, Sy, TD, SI, TAVX, TAVP5 : REAL;
  Tco, Ea, Zo, TR, ZL, Wo, Pa1, KP, PRU1, PRU2, PRUEBA : REAL;
  LETRA : STRING[1];

FUNCTION POT(X, Y:REAL):REAL;
  BEGIN
    POT := EXP (Y * LN(ABS(X)));
  END;

FUNCTION FX (X, AZ, APZ:REAL):REAL;    {X = TAVANCE}
  BEGIN
    FX := (Qo*X) - (0.77*Ao*L) - (AZ*K*POT(X, Pa)*L) -
(APZ*Fo*X*L);
  END;

FUNCTION FPX (X, AZ, APZ:REAL):REAL;
  BEGIN
    FPX := Qo - ((Pa*K*AZ*L)/POT(X, (1-Pa))) - (APZ*Fo*L);
  END;

FUNCTION FXP5 (XP5, AZ, APZ:REAL):REAL;    {X = TAVANCE}
  BEGIN
    FXP5 := (Qo*XP5) - (0.77*Ao*LP5) -
(AZ*K*POT(XP5, Pa)*LP5) -
(APZ*Fo*XP5*LP5);
  END;

FUNCTION FPXP5 (XP5, AZ, APZ:REAL):REAL;
  BEGIN
    FPXP5 := Qo - ((Pa*K*AZ*LP5)/POT(XP5, (1-Pa))) -
(APZ*Fo*LP5);
  END;

FUNCTION FXTRX (TRX:REAL):REAL;
  BEGIN
    FXTRX := ZREQ - (K * POT(TRX, Pa)) - (Fo * TRX);
  END;

```

```

FUNCTION FPXTRX (TRX:REAL):REAL;
BEGIN
    FPXTRX:=((Pa * K)/POT(TRX,(1-Pa))) + Fo;
END;

PROCEDURE LEER;
BEGIN
    DE
        Writeln (' ':5,'ESTE PROGRAMA CALCULA EL TIEMPO
                AVANCE. ');
    NECESARIOS:');
        Write (' ':5,'        PROPORCIONE LOS DATOS
                ');
        Writeln;
        Writeln;
        Writeln;
        ASUMIDO (0.3 >
                WRITE ('EXPONENTE DE LA ECUACION DE AVANCE
                        r < 0.9)... ');
        READLN (R1);
        WRITE ('GASTO DE ENTRADA (LPS/M)... ');
        READLN (QT);
        WRITE ('INDICE DE INFILTRACION BASICA
                (Cm/Hr)... ');
        READLN (Fo1);
        WRITE ('CONSTANTE DE LA FUNCION DE INFILTRACION
                (K)... ');
        READLN (KP);
        WRITE ('PENDIENTE DE LA FUNCION DE INFILTRACION
                (a)... ');
        READLN (Pa1);
        WRITE ('COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING
                (n)... ');
        READLN (N);
        WRITE ('PENDIENTE DE LA MELGA (%)... ');
        READLN (So);
        WRITE ('LONGITUD DE LA MELGA (MTS)... ');
        READLN (L);
        WRITE ('ANCHO DE LA MELGA (MTS)... ');
        READLN (WF);
        WRITE ('LAMINA REQUERIDA (Cms)...? ');
        READLN (ZREQ);
        WRITE ('TIEMPO REQUERIDO PARA LA INFILTRACION
                LAMINA [MIN] (ASUMIDO)...? ');
    DE LA
        READLN (TRX);
    END;

PROCEDURE CALCULOS;
BEGIN
    ZREQ := ZREQ/100;
    Pa := (Pa1+1);
    K := KP/(60*Pa);
    K := K/100;
    LP5 := L/2;
    Qo := ((QT * 60)/1000);

```

```

Fo := Fo1/60/100;
AZ := (Pa+(r1*(1-Pa))+1)/((1+Pa)*(1+r1));
APZ := 1/(1+r1);
So := So/100;
C2 := 3/5;
C1 := POT(1,C2);
Ao := C1*((Qo * N)/(60 * SQRT(So)));
Ao := POT(Ao,C2);
QMAX := 0.01059/POT(So,0.75);
QMAX1 := QMAX/60*1000;
QMIN := (0.000357*L*SQRT(So))/n;
Yo1 := (QMAX*n)/(60*POT(So,0.5));
Yo := POT(Yo1,0.6);
Yo2 := (Qo*n)/(60*POT(So,0.5));
Yo3 := POT(Yo2,0.6);
TAV := 5.0 * ((Ao * L)/Qo);
END;

```

```
PROCEDURE TAVANCEP5;
```

```

BEGIN
TAVP5 := 5.0 * ((Ao * LP5)/Qo);
XP5 := TAVP5;
AZ := (Pa+(R1*(1-Pa))+1)/((1+Pa)*(1+R1));
APZ := 1/(1+R1);
REPEAT
AP5:=FXP5(XP5,AZ,APZ);
BP5:=FPXP5(XP5,AZ,APZ);
HP5:= AP5/BP5;
IF (ABS (HP5)) < 0.00001
THEN BEGIN
END
ELSE BEGIN
XP5 := XP5-HP5;
END;
UNTIL (ABS (HP5)) < 0.00001;
END;

```

```
PROCEDURE TAVANCE (VAR R1:REAL);
```

```

VAR X,APZ,AZ,RP: REAL;
BEGIN
TAVX := TAV;
REPEAT
AZ := (Pa+(R1*(1-Pa))+1)/((1+Pa)*(1+R1));
APZ := 1/(1+R1);
REPEAT
A := FX(TAVX,AZ,APZ);
B:=FPX(TAVX,AZ,APZ);
H:= A/B;
IF (ABS (H)) < 0.00001
THEN BEGIN
END
ELSE BEGIN

```

BANCO DE TESIS

U.A.A.A.N.

```

        TAVX := TAVX-H;
        END;
    UNTIL (ABS (H)) < 0.00001;
    TAVANCEP5;
    R2 := LN(2)/LN(TAVX/XP5);
    G := R1/R2;
    IF (ABS(G) > 0.999) AND (ABS(G) < 1.09)
    THEN BEGIN
        END
    ELSE BEGIN
        R1 := R2;
    END;
    UNTIL (ABS(G) > 0.999) AND (ABS(G) < 1.09);
END;

```

```

PROCEDURE TREQUERIDO;
BEGIN
    REPEAT
        Z:=FXTRX(TRX);
        V:=FPXTRX(TRX);
        M:= Z/V;
        IF (ABS (M)) < 0.00001
        THEN BEGIN
            END
        ELSE BEGIN
            TRX := TRX+M;
        END;
    UNTIL (ABS (M)) < 0.00001
END;

```

```

PROCEDURE TDEFLEXION;
BEGIN
    TREQ := TRX + TAVX;
    T1 := TREQ;
    REPEAT
        T11 := T1-TAVX;
        I := (((Pa*K)/2)*(POT(T1,(a-1)+POT(T11,(a-
1)))))))+Fo;
        Sy1 := ((Qo-(I*L))*n)/(60*POT(So,0.5));
        Sy := (1/L)*POT(Sy1,0.6);
        T2 := TREQ -
            ((0.095*POT(n,0.47565)*POT(Sy,0.20735)*POT(L,0.6829))
            / (POT(I,0.52435)*POT(So,0.237825)));
        SI := T1/T2;
        IF (SI > 0.999) AND (SI < 1.09)
        THEN BEGIN
            TD := T2;
        END
    ELSE BEGIN
        T1 := T2;
    END
    UNTIL (SI > 0.999) AND (SI < 1.09);
END;

```

END;


```

PROCEDURE CALCULT;
BEGIN
    Tco := TD-((Ao*L)/(2*Qo));
    Ea := ((ZREQ*L)/(Tco*Qo))*100;
    WRITELN (' ':5,'TIEMPO DE CORTE S/C :
',Tco:2:3,' MIN');
    WRITELN;
    WRITELN (' ':5,'EFICIENCIA DE APLICACION S/C :
',Ea:2:1,' %');
    WRITELN;
    Zo := (K*POT(TD,Pa))+(Fo*TD);
    IF Zo >= ZREQ
    THEN BEGIN
        WRITELN;
        WRITELN ('RIEGO COMPLETO');
        WRITELN;
        WRITELN (' ':5,'TIEMPO DE CORTE :
',Tco:2:3,' MIN');
        WRITELN;
        WRITELN (' ':5,'EFICIENCIA DE APLICACION :
',Ea:2:1,' %');
        WRITELN;
    END
    ELSE BEGIN
        WRITELN ('EXISTE DEFICIT DE RIEGO, POR LO
TANTO...');
        Tco := TREQ-((Yo*L)/(2*Qo));
        T11 := TREQ-TAVX;
        I := (((Pa*K)/2)*(POT(TREQ,(a-
1)+POT(T11,(a-
        Sy1 := ((Qo-(I*L))*n)/(60*POT(So,0.5));
        Sy := (1/L)*POT(Sy1,0.6);
        TR := TREQ +
            ((0.095*POT(n,0.47565)*POT(Sy,0.20735)*POT(L,0.6829))
/(POT(I,0.52435)*POT(So,0.237825)));
        ZL := (K*(TR-TAVX))+(Fo*(TR-TAVX));
        Ea := ((ZREQ*L)/(Tco*Qo))*100;
        WRITELN;
        WRITELN (' ':5,'TIEMPO DE CORTE :
',Tco:2:3,' MIN');
        WRITELN;
        WRITELN (' ':5,'EFICIENCIA DE APLICACION :
',Ea:2:1,' %');
        WRITELN;
        WRITELN (' ':5,'TIEMPO REQUERIDO :
',TR:2:3,' MIN');
        WRITELN;
        WRITELN (' ':5,'PROFUNDIDAD INFILTRADA :
',ZL:2:3,' M');
        WRITELN;
    END;
END;

```

```

PROCEDURE RESULTADOS;
  BEGIN
    CLRSCR;
    WRITELN;
    WRITELN (' ':5,'AREA DE CORTE SECCIONAL DE
FLUJO EN LA ENTRADA = ',A0:2:5,'
M^2');
    WRITELN;
    WRITELN (' ':5,'EXPONENTE DE LA FUNCION DE
AVANCE ENCONTRADO = ',R2:2:2);
    WRITELN;
    WRITELN (' ':5,'TIEMPO DE AVANCE ENCONTRADO
ES: ',TAVX:2:2,' MIN');
    WRITELN;
    WRITELN (' ':5,'TIEMPO DE AVANCE A LA MITAD DE
LA MELGA: ',XP5:2:2,' MIN');
    WRITELN;
    WRITELN (' ':5,'GASTO MAXIMO NO EROSIVO:
',QMAX:2:5,'
M^3/MIN/M');
    WRITELN;
    WRITELN (' ':5,'GASTO MAXIMO NO EROSIVO:
',QMAX1:2:5,'
LPS/M');
    WRITELN;
    WRITELN (' ':5,'GASTO MINIMO PERMISIBLE:
',QMIN:2:5,'
M^3/MIN/M');
    WRITELN;
    WRITELN (' ':5,'GASTO EMPLEADO: ',QT:2:3,'
LPS/M');
    WRITELN;
    WRITE ('PRESIONE RETURN PARA CONTINUAR...');
    READLN;
    WRITELN;
    WRITELN (' ':5,'TIRANTE MAXIMO: ',Yo:2:2,'
M');
    WRITELN;
    WRITELN (' ':5,'TIRANTE OBTENIDO: ',Yo3:2:2,'
M');
    WRITELN;
    WRITELN (' ':5,'EL TIEMPO REQUERIDO ENCONTRADO
ES: ',TRX:4:1,' MIN');
    WRITELN;
    WRITELN (' ':5,'TIEMPO DE DEFLEXION :
',TD:2:3,' MIN');
    WRITELN;
    CALCULT;
  END;

BEGIN
  REPEAT
    CLRSCR;
    WRITELN;
    WRITELN;
    LEER;

```

```
CALCULOS;  
TAVANCE(R1);  
TREQUERIDO;  
TDEFLEXION;  
RESULTADOS;  
  WRITELN;  
  WRITE ('DESEA OTRO CALCULO (S/N)... ');  
  READLN (LETRA);  
  UNTIL (LETRA ='N') OR (LETRA ='n')  
END.
```

APENDICE L

Cuadro 4.6. Especificaciones de diseño obtenidos mediante los procedimientos sintéticos y de campo, para el lote C. riego de presiembra.

METODO	Q	LR	LONG	EFAPL	TCO	TAV	LAM	INF
CAMPO	10.0	11.5	260	98.5	50	82		11.3
GASTO UNITARIO			199		39			
QUASI-RACIONAL	9.4				53			10.7
BALANCE DE VOL				192.5	26	46		8.4
CAMPO	7.7	17.1	260	73.5	100	100		17.5
GASTO UNITARIO			295		149			
QUASI-RACIONAL	14.3				61			16.3
BALANCE DE VOL				104.5	92	134		23.5
CAMPO	5.4	17.8	260	74.8	142	142		17.4
GASTO UNITARIO			222		163			
QUASI-RACIONAL	11.2				80			17.0
BALANCE DE VOL				96.2	148	239		27.6

APENDICE LL

```

PROGRAM MODELO DE REDDY (1989);

USES CRT;

CONST      {Q = 0.00114;
            So = 0.0044;
            NRU = 0.02;
            KP = 0.018;
            K = 0.0004;
            FURROW IRRIGATION = BENSON-
221
            A = 0.02;
            IB = 0.0001;
            KA = 1.05;
            BETA = 0.69;
            MIU = 0.58;
            LAM = 2.91;}
            FACT = 0.75;

VAR
FLA, NZ, AR, ARD, ARE, AREA, AREAD, THY, THYD, Z, LAM2, LAM1, TI, ITCO,
                                NUM : REAL;

AMIN, KP, TCO, TL, RES, QR, L, VYTCO, TR, ITR, ITREC, IPROMTR, QTR, ARTR
                                , RES1 : REAL;

THYTR, SY, VYTR, ZTR, ZTRES, VZTR, VRR, M, MMIN, ALFA, LMIN, X, XT, O, TT
                                : REAL;

GAUSS1, GAUSS2, GAUSS3, GAUSS4, P1, P2, P3, P4, S1, S2, S3, S4, SUMA, TL
MIN, KA : REAL;

VTCO, IPROMTCOLPS, AREATR, C, IPROMTCO, ITL, Q, So, NRU, K, A, IB, BETA
, MIU, LAM : REAL;
I, T, J : INTEGER;
RESPUESTA, N : CHAR;

FUNCTION POT (X, Y:REAL):REAL;
BEGIN
    POT := EXP(Y * (LN(ABS(X))));
END;

PROCEDURE LEER;
BEGIN
    WRITELN;
    WRITELN;
    WRITELN;
    WRITELN (' ':3, ' UNIVERSIDAD AUTONOMA
                                AGRARIA "ANTONIO NARRO" ');
    WRITELN (' ':3, ' DIVISION DE INGENIERIA ');

```

```

WRITELN ( ' ' :3, ' DEPARTAMENTO DE RIEGO Y
           DRENAJE ' );
WRITELN ( ' ' :3, ' PROGRAMA DE GRADUADOS ' );
WRITELN ( ' ' :3, ' PROGRAMA PARA EL CALCULO DEL
           AVANCE Y RECESION ' );
WRITELN ( ' ' :3, ' POR MEDIO DE LAS ECUACIONES
           INTEGRALES DE J. MOHAN REDDY ' );
WRITELN ( ' ' :3, ' POR: MARCO A. ARELLANO
           GARCIA' );
WRITELN ( ' WRITELN;
WRITELN;
WRITE ( ' ' :3, ' PRESIONE RETURN PARA
           INICIAR... ' );

READLN;
CLRSCR;
WRITELN;
WRITELN;
WRITELN;
WRITELN;
WRITELN;
WRITELN ( ' ' :3, ' »»»»»»»»»»»»»»»»»»»»»»»»»
           PROPORCIONE LOS SIGUIENTES VALORES ' );
WRITELN;
WRITE ( ' ' :3, ' »»»»»»»»»»»» GASTO UNITARIO (LPS). ' );
READLN (Q);
WRITE ( ' ' :3, ' »»»»»»»»»»»» PENDIENTE (%)... ' );
READLN (So);
WRITE ( ' ' :3, ' »»»»»»»»»»»» COEFICIENTE DE RUGOSIDAD
           DE MANNING (n)... ' );

READLN (NRU);
WRITE ( ' ' :3, ' »»»»»»»»»»»» CONSTANTE DE LA ECUACION
           DE INFILTRACION (K EN Cm/Hr)... ' );
READLN (K);
WRITE ( ' ' :3, ' »»»»»»»»»»»» PENDIENTE DE LA ECUACION
           DE INFILTRACION (a)... ' );
READLN (A);
WRITE ( ' ' :3, ' »»»»»»»»»»»» INFILTRACION BASICA
           (Cm/Hr)... ' );

READLN (IB);
WRITE ( ' ' :3, ' »»»»»»»»»»»» CONSTANTE DE FORMA
           (k)... ' );

READLN (KA);
WRITE ( ' ' :3, ' »»»»»»»»»»»» CONSTANTE DE FORMA (BETA
            $\beta$ )... ' );

READLN (BETA);
WRITE ( ' ' :3, ' »»»»»»»»»»»» CONSTANTE DE FORMA (MIU
            $\hat{i}$ )... ' );

READLN (MIU);
WRITE ( ' ' :3, ' »»»»»»»»»»»» CONSTANTE DE FORMA
           (LAMBDA Ó)... ' );

READLN (LAM);
END;

```



```

IF I = 20
THEN BEGIN
WRITELN;
WRITELN;
WRITE ( ' ' :3, ' »»»»»»»»»»»»»»»»»»»» PRESIONE RETURN PARA
CONTINUAR.' );

WRITELN;
WRITELN;
READLN;
END
ELSE BEGIN
IF I = 40
THEN BEGIN
WRITELN;
WRITELN;
WRITE ( ' ' :3, ' »»»»»»»»»»»»»»»»»»»» PRESIONE RETURN PARA
CONTINUAR.' );

READLN;
WRITELN;
END
ELSE BEGIN
IF I > 60
THEN BEGIN
WRITELN;
WRITELN;
WRITE ( ' ' :3, ' »»»»»»»»»»»»»»»»»»»» PRESIONE RETURN PARA
CONTINUAR.' );

READLN;
WRITELN;
WRITELN;
END;
END;
END;
UNTIL XT >= L;
WRITELN;
WRITELN;
WRITE ( ' ' :3, ' »»»»»»»»»»»»»»»»»»»» PRESIONE RETURN PARA
CONTINUAR.' );

READLN;
WRITELN;
WRITELN;
END;

```

```

PROCEDURE INFILTRACION;
BEGIN
AMIN := A-1;
CLRSCR;
WRITELN;
WRITELN;
WRITELN;
WRITELN;
WRITELN;

```



```

PROCEDURE RESULTADOS;
BEGIN
  CLRSCR;
  WRITELN;
  WRITELN;
  WRITELN;
  WRITELN (' ':3,'*****
          RESULTADOS ');
  WRITELN;
  WRITELN (' ':3,'TIRANTE HIDRAULICO =
          ',THY:2:3,' MTS');
  WRITELN;
  WRITELN (' ':3,'INFILTRACION PROMEDIO =
          ',IPROMTCOLPS,' LPS/SEG/MT');
  WRITELN;
  WRITELN (' ':3,'GASTO ESCURRIDO = ',QR,'
          M^3/SEG');
  WRITELN;
  WRITELN (' ':3,'VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO
          SUPERFICIAL = ',VYTCO:2:4,' M^3');
  WRITELN;
  WRITELN (' ':3,'TIEMPO DE RECESION = ',TR:2:2,'
          MIN');
  WRITELN;
  WRITELN (' ':3,'INFILTRACION PROM AL TIEMPO DE
          RECESION = ',IPROMTR,' M^3/SEG/MT');
  WRITELN;
  WRITELN (' ':3,'GASTO ESCURRIDO AL TR = ,QTR,'
          M^3/SEG');
  WRITELN;
  WRITELN (' ':3,'VOLUMEN DE ALMAC SUPERF AL
          INICIO DE LA RECESION = ',VYTR:2:4,' M^3');
  WRITELN;
  WRITELN (' ':3,'VOLUMEN INFILTRADO ARRIBA DE TR
          ',VZTR:2:4,' M^3');
  WRITELN;
  WRITELN (' ':3,'VOLUMEN DE ESCURRIMIENTO ARRIBA
          DE TR = ',VRR:2:4,' M^3');
  WRITELN;
END;

```

```

BEGIN
  REPEAT
    CLRSCR;
    LEER;
    CALCULOS;
    AVANCE;
    INFILTRACION;
    QESCURR;
    RECESION;
    GUASSIAN_QUADR;
    RESULTADOS;
    WRITELN;
    WRITELN;

```

```
WRITELN;  
WRITE (' ':3, '»»»»»»»»»»»»»»»» DESEA OTRO CALCULO (S/N)... ');  
READLN (RESPUESTA);  
UNTIL (RESPUESTA = 'N') OR (RESPUESTA = 'n');  
END.
```

APPENDICE M

Cuadro 4.7. Datos observados de avance y recesión en campo. para el riego de presiembra en lote C. Gasto de 3.8 lps/100 m².

ESTACION (MTS)	AVANCE (MIN)	RECESION (MIN)	TIEMPO DE OPORTUNIDAD (MIN)
0	0	50	50
20	7	55	48
40	13	58	45
60	17	65	48
80	24	74	50
100	30	82	52
120	23	88	65
140	29	98	69
160	51	107	56
180	51	116	65
200	82	127	45
220	65	138	73
240	70	150	80
260	73	165	92

Cuadro 4.8. Datos observados de avance y recesión en campo. Para el riego de presiembra en lote C. Gasto de 3.0 lps/100 m².

ESTACION (MTS)	AVANCE (MIN)	RECESION (MIN)	TIEMPO DE OPORTUNIDAD (MIN)
0	0	100	100
20	14	106	92
40	20	110	90
60	40	114	74
80	30	119	89
100	96	123	27
120	100	125	25
140	100	128	28
160	64	132	68
180	80	133	53
200	83	135	52
220	32	139	107
240	32	150	118
260	84	165	81

Cuadro 4.9. Datos observados de avance y recesión en campo. para el riego de presiembra en lote C. Gasto de 2.1 lps/100 m².

ESTACION (MTS)	AVANCE (MIN)	RECESION (MIN)	TIEMPO DE OPORTUNIDAD (MIN)
0	0	142	142
20	31	145	114
40	33	148	115
60	34	150	116
80	87	151	64
100	90	156	66
120	76	169	93
140	61	175	114
160	65	185	120
180	95	180	85
200	135	169	34
220	140	173	33
240	142	185	43
260	125	200	75

Cuadro 4.10. Datos observados de avance y recesión en campo. Para el primer riego de auxilio en lote C. Gasto de 2.1 lps/100 m².

ESTACION (MTS)	AVANCE (MIN)	RECESION (MIN)	TIEMPO DE OPORTUNIDAD (MIN)
0	0	145	145
20	8	158	150
40	28	169	149
60	29	183	154
80	36	195	159
100	48	206	158
120	57	216	159
140	71	231	160
160	87	243	156
180	95	259	164
200	108	269	161
220	118	283	165
240	133	300	167
260	151	319	168

Cuadro 4.11. Datos observados de avance y recesión en campo. Para el primer riego de auxilio en lote C. Gasto de 3.8 lps/100 m².

ESTACION (MTS)	AVANCE (MIN)	RECESION (MIN)	TIEMPO DE OPORTUNIDAD (MIN)
0	0	80	80
20	5	87	82
40	11	97	86
60	19	106	87
80	26	116	90
100	35	127	92
120	43	136	93
140	52	148	96
160	60	158	99
180	69	170	101
200	78	181	103
220	85	193	108
240	96	208	112
260	108	224	116

Cuadro 4.12. Datos observados de avance y recesión en campo. Para el primer riego de auxilio en lote C. Gasto de 3.0 lps/100 m².

ESTACION (MTS)	AVANCE (MIN)	RECESION (MIN)	TIEMPO DE OPORTUNIDAD (MIN)
0	0	108	108
20	8	117	109
40	17	128	111
60	28	138	110
80	38	146	108
100	47	155	108
120	56	163	107
140	67	173	106
160	77	182	105
180	88	191	103
200	100	202	102
220	110	213	103
240	122	225	103
260	132	239	107

Cuadro 4.13. Datos observados de avance y recesión en campo. Para el segundo riego de auxilio en lote C. Gasto de 3.8 lps/100 m².

ESTACION (MTS)	AVANCE (MIN)	RECESION (MIN)	TIEMPO DE OPORTUNIDAD (MIN)
0	0	84	84
20	9	92	83
40	15	100	85
60	24	110	86
80	31	119	88
100	37	130	93
120	44	140	96
140	51	151	100
160	60	161	101
180	69	173	104
200	78	184	106
220	88	197	109
240	99	209	110
260	111	224	113

Cuadro 4.14. Datos observados de avance y recesión en campo. Para el segundo riego de auxilio en lote C. Gasto de 3.0 lps/100 m².

ESTACION (MTS)	AVANCE (MIN)	RECESION (MIN)	TIEMPO DE OPORTUNIDAD (MIN)
0	0	110	110
20	8	118	110
40	17	130	113
60	27	144	117
80	36	151	115
100	45	159	114
120	54	165	111
140	64	172	108
160	76	182	106
180	87	191	104
200	97	202	105
220	108	212	104
240	120	224	104
260	133	237	104

Cuadro 4.15. Datos observados de avance y recesión en campo. Para el riego de presiembra en lote A. Gasto de 2.1 lps/100 m².

ESTACION (MTS)	AVANCE (MIN)	RECESION (MIN)	TIEMPO DE OPORTUNIDAD (MIN)
0	0	105	105
40	25	115	90
80	95	125	30
120	105	175	70
160	55	205	150
180	70	245	175

Cuadro 4.16. Datos observados de avance y recesión en campo. Para el riego de presiembra en lote A. Gasto de 3.1 lps/100 m².

ESTACION (MTS)	AVANCE (MIN)	RECESION (MIN)	TIEMPO DE OPORTUNIDAD (MIN)
0	0	80	80
40	45	90	45
80	50	85	35
120	40	200	160
160	15	320	305
180	80	330	250

Cuadro 4.17. Datos observados de avance y recesión en campo. Para el primer riego de auxilio en lote A. Gasto de 2.1 lps/100 m².

ESTACION (MTS)	AVANCE (MIN)	RECESION (MIN)	TIEMPO DE OPORTUNIDAD (MIN)
0	0	101	101
20	7	124	117
40	17	126	109
60	37	144	107
80	44	151	107
100	42	166	124
120	61	180	119
140	76	206	130
160	76	216	140
180	101	301	200

Cuadro 4.18. Datos observados de avance y recesión en campo. Para el primer riego de auxilio en lote A. Gasto de 3.1 lps/100 m².

ESTACION (MTS)	AVANCE (MIN)	RECESION (MIN)	TIEMPO DE OPORTUNIDAD (MIN)
0	0	96	96
20	5	126	121
40	45	122	77
60	37	118	81
80	38	128	90
100	55	143	88
120	71	160	89
140	96	177	81
160	90	216	126
180	96	250	154