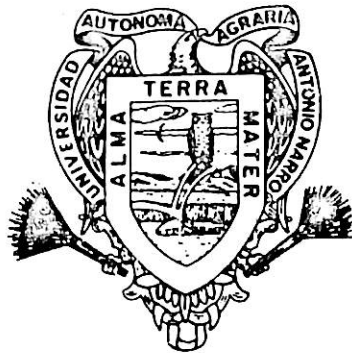


UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"

PROGRAMA DE GRADUADOS



DETERMINACION DEL GASTO DE RIEGO DE PRESIEMBRA
EN SURCOS PARA EL CULTIVO DEL ALGODONERO
EN LA REGION LAGUNERA

POR:

DAVID GARCIA ARELLANO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS
ESPECIALIDAD EN RIEGO Y DRENAJE

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO

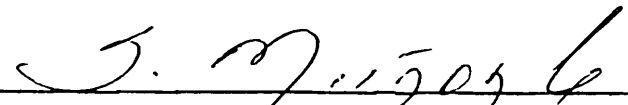
MAYO DE 1984

TESIS ELABORADA BAJO LA SUPERVISION DEL COMITE PARTICULAR
DE ASESORIA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL, PARA OPTAR
AL GRADO DE:

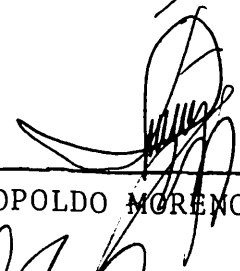
MAESTRO EN CIENCIAS ESPECIALIDAD EN RIEGO Y DRENAJE

COMITE PARTICULAR

ASESOR PRINCIPAL:


DR. SALVADOR MUÑOZ CASTRO

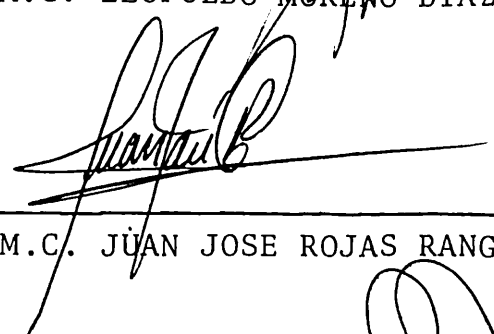
ASESOR:


ING. M.C. LEOPOLDO MORENO DIAZ



BIBLIOTECA
EGIDIO G. REBONATO
BANCO DE TESIS
U.A.A.A.N.

ASESOR:


ING. M.C. JUAN JOSE ROJAS RANGEL

SUBDIRECTOR DE POSTGRADO:


DR. JESUS TORRALBA ELGUEZABAL

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA

A G R A D E C I M I E N T O S

A las autoridades del Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego (PRONAPA-INIA-SARH), por las facilidades prestadas para la realización de este trabajo de tesis.

Al Dr. Salvador Muñoz Castro, M.C. Leopoldo Moreno Díaz y M.C. Juan José Rojas Rangel por su asesoría, revisión y sugerencias.

Al Departamento de Divulgación, por su colaboración en la ilustración gráfica e impresión.

A la Sra. Ma. Teresa Medina de Cisneros, por su apoyo en la mecanografía de esta tesis.

D E D I C A T O R I A

A la memoria de mis padres, Guillermo y
Ma. Guadalupe a quienes debo mi formación
como hombre útil.

Con cariño y amor a mi esposa Laura y mis hijas
Laura Alejandra y Areli Anaí.

A mis hermanos Hector, Sara, Guillermo,
Arturo y Claudia.

INDICE

	Pag.
RESUMEN	
INTRODUCCION	1
REVISION DE LITERATURA	4
MATERIALES Y METODOS	11
LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA REGION LAGUNERA . . .	11
Clima	11
Suelo	12
Hidrografía	12
Localización del sitio en estudio	13
EQUIPO	13
Equipo para muestreo de suelo	13
Dispositivos aforadores	14
Equipo topográfico	14
Maquinaria Agrícola	14
Otros equipos	14
VARIABLES UTILIZADAS EN EL DESARROLLO DE LAS PRUEBAS DE RIEGO EN CAMPO	15
Datos generales	15

TRABAJOS PREVIOS A LA PRUEBA	16
Preparación del terreno	16
Levantamiento Topográfico	16
Muestreo de Suelo	16
Calibración de Sifones	16
PROCEDIMIENTO DE CAMPO	17
Antes de aplicar el agua de riego	17
Construcción de surcos	17
Muestreo de humedad del suelo	18
Selección de Gastos	18
Control del agua de riego	19
Estaciones de observación	19
Dimensiones de los surcos	20
Después de aplicar el agua a los surcos	20
Medición del agua de riego	20
Avance del agua de riego	21
Erosión del suelo	21
Infiltración	21
Distribución de la humedad	22
Evaporación	22

RESULTADOS Y DISCUSION

CARACTERIZACION DEL SUELO	23
Avance del agua en los surcos	26

	Pag.
Infiltración	28
Erosión del suelo	29
Gastos utilizados	29
Areas de humedecimiento	30
EFICIENCIA DE RIEGO	33
Eficiencia de aplicación	33
Eficiencia de distribución	34
CONCLUSIONES	35
RECOMENDACIONES	37
BIBLIOGRAFIA	39
APENDICE	42

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Pag.
1	Textura del suelo del sitio experimental . . .	23
2	Densidad aparente del suelo del sitio experimental	24
3	Características químicas del suelo del sitio experimental	24
4	Constantes de humedad del suelo del sitio experimental	25
5	Calidad del agua de riego	25
6	Tiempo de avance	26
7	Area de humedecimiento lateral del surco para cada gasto	31
8	Eficiencia de aplicación	33
9	Eficiencia de distribución	34

INDICE DE FIGURAS

Figura		Pag.
1	Calibración de sifones con descarga libre	17
2	Gastos de riego utilizados en las pruebas de riego en campo	17
3	Esquema general de las estaciones de observación	19
4	Dimensiones de los surcos en estudio	20
5	Medición de la carga hidráulica utilizando manguera transparente y regla	20
6	Láminas de riego infiltradas a lo largo del surco considerando únicamente el tiempo de avance	27
7	Curva de velocidad de infiltración del agua en el suelo	28
8	Areas de humedecimiento de los surcos (lomo) para cada gasto	31

APENDICE

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Pag.
1	Cálculo de la lámina de riego antes de iniciar el riego.	43
2	Avance del agua en los surcos en cada uno de los gastos en estudio	43
3	Tiempo de riego	44

APENDICE

INDICE DE FIGURAS

Figura		Pag.
1	Curva de calibración de aforador Parshall de 2.5 de garganta con descarga libre	45
2	Curva de calibración de sifones de aluminio con descarga libre	46
3	Curva de avance promedio para gasto de 2 lps	47
4	Curva de avance promedio para gasto de 4 lps	48
5	Curva de avance promedio para gasto de 6 lps	49
6	Curva de avance promedio para gasto de 8 lps	50

RESUMEN

Actualmente el 96.7% de la superficie en nuestro país destinada a la producción agrícola de riego, es irrigado utilizando los métodos tradicionales (superficiales) cuyas eficiencias promedio de conducción y aplicación se estiman en 59.3 y 62.3% respectivamente. Un incremento en dichas eficiencias permitiría muy probablemente el extender la frontera agrícola, más allá de su localización presente.

Existen diversos métodos que se utilizan para el diseño de riego superficial, desarrollados bajo ciertas condiciones específicas de las áreas de riego. Esta tecnología se hace difícil de transferir debido a que el fenómeno que rige el movimiento de agua de riego es un régimen no permanente y no establecido, que se complica debido a la heterogeneidad de las propiedades físicas y químicas de los suelos.

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar el gasto para el riego de presembrado del cultivo del

algodonero en la 3a. Unidad de Riego, Ejido Pamplona, ubicada dentro del Distrito Agropecuario de Riego No. 17.

Aún cuando es en esta unidad de riego donde se logran las mayores eficiencias en cuanto a la operación del agua de riego, dentro del Distrito, debiéndose principalmente a que el área de riego es compacta y cuenta con una red de canales de distribución totalmente revestidos, la misma dista mucho de ser considerada eficiente en la aplicación del agua a nivel parcelario, ya que el gasto que se utiliza de 5 lps por surco para cualquier condición y tipo de suelo, hace más deficiente el aprovechamiento del recurso agua.

Estas eficiencias a nivel parcelario que se obtienen en esta zona de riego pueden ser aumentadas al contar con resultados de pruebas de riego, que proporcionen las bases necesarias para dar recomendaciones técnicas para un mejor uso y manejo del agua de riego, de acuerdo a las características de la región.

Para la realización de las pruebas experimentales en campo, se consideró la aplicación de un riego normal respecto a: Preparación del terreno, pendiente, longitud de los surcos, ancho de surcos, lámina de riego por aplicar, gasto a utilizar y tiempo de aplicación del riego.

Entre los resultados más sobresalientes para esta zona de riego, se determinó que el gasto de 8 lps por surco no causó erosión al suelo lográndose las más altas eficiencias de aplicación y distribución del agua de riego, así como los menores tiempos de aplicación.

INTRODUCCION

Uno de los más importantes factores limitantes de la producción agrícola en el país, es la inadecuada aplicación y distribución del agua de riego en la parcela, lo que trae como consecuencia que las raíces de las plantas y las plantas mismas no tengan un medio adecuado para su desarrollo restringiendo la absorción de los nutrientes existentes en el suelo o los aplicados por medio de la fertilización, indispensables para su crecimiento.

El objetivo principal de la aplicación del agua a los cultivos independientemente del método de riego que se utilice, superficial, goteo o aspersión, es el de reponer periódicamente la humedad que ha sido consumida en la zona en donde se encuentran las raíces. Un exceso en la aplicación del agua en esta zona no solo causa desperdicios sino también origina un lavado de nutrientes, poniéndolos fuera del alcance de las raíces. Además, ocasiona serios problemas en suelos con drenaje deficiente cuya corrección se requiere de fuertes inversiones en las prácticas de recuperación. En caso contrario, la falta de agua en la zona radical del

cultivo provoca un decremento en la evapotranspiración y funciones metabólicas, ocasionando bajos rendimientos.

De los 196 mil millones de hectáreas con que cuenta el territorio nacional, el 63% lo forman zonas áridas, cuya producción agrícola no es factible sin riego, el 31.2% es de tierra semiárida en las que es posible levantar cosechas de temporal debido a la precipitación, y el por ciento restante corresponde a las zonas húmedas (1.5%) y semihúmedas (4.5%) en donde el riego, sin ser indispensable, es conveniente para que se desarrollen adecuadamente los cultivos.

La topografía predominante en el país es accidentada, solo el 29% del territorio tiene pendientes menores de 2%, donde existe la posibilidad de aprovecharlo mediante métodos y técnicas convencionales de riego. Considerando las características de los suelos y terreno como factor limitante, la superficie con posibilidades agrícolas se reduce a 30 millones de hectáreas.

La distribución geográfica de los escurrimientos superficiales indican una disposición regional desigual. Así, el sureste con el 15% del área total del país, cuenta con el 42% de los escurrimientos nacionales, mientras que el altiplano y la mesa del norte con el 36% de la superficie, solamente dispone del 4%.

Actualmente en el país existen aproximadamente 5.5 millones de hectáreas bajo riego y 11.5 millones de ha. se explotan en condiciones de temporal. De la superficie bajo riego el 97% corresponde a riego de superficie y el 3% a riego presurizado.

En las áreas de riego, se puede incrementar la producción agrícola mediante el control y manejo eficiente de los factores de desarrollo, ya que los cultivos agrícolas demandan insumos en oportunidad y cantidad. Considerando la aplicación de agua de riego como factor de producción para que se puedan lograr mayores rendimientos, por lo que es necesario realizar pruebas experimentales de riego en campo para hacer un mejor uso y aprovechamiento de los recursos hidráulicos disponibles en el país.

La superficie dotada con riego superficial en la Región Lagunera, a través del Distrito Agropecuario de Riego No. 17, es de 88,040 hectáreas, en las cuales se establecen los siguientes cultivos: algodón (65,000 ha), maíz y frijol (16,000 ha.) y otros (10,000 ha.).

Las láminas de riego que se utilizan para dar el riego de presiembra al algodón fluctúan entre 22 y 35 cm., siendo la capacidad máxima de retención de los suelos predominantes en la región de 20 cm. a una profundidad de 1.20 m.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, se propuso el siguiente objetivo para este trabajo:

- Determinar el gasto máximo a aplicarse al cultivo del algodón en surcos (cama melonera) en la Región Lagunera, para la obtención de mayores eficiencias de aplicación y control de la erosión.

REVISION DE LITERATURA

Oroszlany y Wellish (1973) desarrollaron un método de pruebas de riego para el diseño de surcos y melgas en base a determinaciones en campo. Ellos buscaron una característica compleja que pudiera ser determinada por simple experimento de campo y que comprendiera los efectos de los diferentes factores (pendiente, condición de humedad, textura, rugosidad, etc.), y consideraron que el avance del agua en el riego puede ser una característica apropiada para escoger los elementos de dosificación del mismo. El método de riego implica utilizar surcos cerrados al final y un solo gasto, con tiempo de riego aproximado al necesario para que el agua llegue al extremo final del surco.

Por medio de pruebas encontraron los parámetros necesarios para formular tablas de diseño en función de: longitud del surco o melga, tiempo de avance del agua en el surco o en la melga, ancho del surco y lámina por aplicar. Para la prueba de riego en campo utilizaron gastos de 1 lps en surcos y de 4 lps por metro de ancho de melga.

Peri (1973) indica que el análisis teórico en pruebas de riego se usó para predecir la infiltración del agua en el suelo y el avance a lo largo de los surcos y las pruebas de riego en campo se llevan a cabo para obtener datos requeridos para diseñar y probar las predicciones teóricas. Los datos que se requieren son principalmente curvas de avance e infiltración y el gasto máximo no erosivo.

En el diseño de un sistema de riego por superficie intervienen un gran número de variables las cuales según Hansen, mencionado por Grassi (1972) son:

- Caudal de agua aplicada
- Velocidad del agua sobre el terreno
- Longitud de la parcela
- Tirante de agua
- Velocidad de infiltración
- Pendiente del terreno
- Asperezas del terreno
- Peligro de erosión
- Forma del surco o de la melga
- Lámina de riego aplicada

Pérez (1975) estableció un modelo matemático para la distribución del agua a lo largo del recorrido para varias funciones de avance e infiltración, el cual permite definir un criterio para el diseño correcto y aumentar así la eficiencia en el uso del agua; y desarrolló un procedimiento para la reducción del caudal

en riego por surcos.

De acuerdo a los resultados obtenidos las conclusiones a las que llegó, fueron: i) El criterio de pérdida relativa, RL, es adecuado para determinar la eficiencia del uso del agua en riego superficial ya que su deducción se basa en la interrelación de los factores y parámetros que directamente la condicionan y regulan. La pérdida relativa puede usarse como un criterio de diseño y evaluación del riego por surcos; ii) el uso de un programa de computador es adecuado para el análisis detallado de todas y cada una de las variables del riego, puesto que se automatizan y facilitan los cálculos; iii) las funciones de avance e infiltración, lo mismo que las variables de diseño, influyen directamente en la eficiencia del uso del agua; iv) la función del volumen absorbido permite determinar la reducción del caudal en riego por surcos.

García y Peña (1976) realizaron pruebas experimentales en el campo del CENAMAR, utilizando un gasto de 2 lps pendiente de dirección del riego de 0.00%, suelo de textura media y surcos de 1.80 m de ancho (cama melonera). Los resultados obtenidos fueron: para regar con un solo gasto se puede aplicar 2 lps por surco en una longitud de 200 m, separación entre surcos de 1.60 m. pendiente del terreno 0.00% en los suelos del campo experimental del CENAMAR.

De Souza Silva (1977), de acuerdo a la información recopilada durante la investigación sobre manejo del agua de riego bajo diferentes métodos de labranza en maíz, encontró que: i) Las meto-

dologías utilizadas en el manejo del agua de riego permitieron encontrar diferencias entre los métodos de mínima labranza y labranza media; lo anterior indica que el manejo del agua de riego y el tratamiento de labranza repercuten, sobre los costos del cultivo y sobre la producción; ii) se encontró que los métodos de labranza afectaron los parámetros de la ecuación de KostiaKov y el coeficiente de la ecuación de avance, por lo que concluye que para aplicar el agua eficientemente se deben hacer determinaciones de campo de los mismos, en diferentes etapas del desarrollo del cultivo.

García (1977) desarrolló pruebas de riego en la Cuenca Baja del Río Pánuco, S.L.P., Tamps. y Ver., estudiando los siguientes factores en una misma serie de suelo; gasto, pendiente y longitud. Sus conclusiones fueron las siguientes: para el sitio en donde se desarrollaron las pruebas de riego debe utilizarse surcos de 0.8 m de ancho por 100 m de largo, gasto de 6 lps y pendiente de 0.05%.

Riestra Días (1977) realizó un estudio sobre la eficiencia del uso del agua en el cultivo de la caña de azúcar en el Distrito de Riego No. 35 Estado de Veracruz. Entre las conclusiones más importantes establece que el desarrollo de la caña de azúcar afectó solamente el coeficiente de la función de avance, lo que permitió relacionarlo con el ciclo vegetativo de la caña de azúcar mediante expresiones de tipo empírico que puedan ser útiles para fines de diseño del riego para este cultivo.

Las interrelaciones de la función de avance, infiltración y recesión con el ciclo vegetativo de la caña de azúcar permitieron llevar a cabo alternativas de diseño las cuales brindan posibilidades de ahorro de volúmenes y/o ampliaciones de mayor superficie de riego.

Colque (1980) realizó un estudio de metodologías de diseño de riego por melgas rectas, para definir cual se debería utilizar en la determinación de las variables de diseño más apegada a las características físicas y de operación de un sistema que permita obtener el nivel de eficiencia técnica y económica más alta.

Las principales conclusiones fueron: i) Con carácter preliminar, se selecciona el procedimiento gráfico propuesto por Merriam (1978) porque, en general, proporciona los resultados más apegados a las observaciones de campo y es el más adecuado para especificar, de modo práctico y objetivo, las variables de diseño. Aunque, su aplicación está restringida por la validez (o necesidad de verificación) de los criterios empíricos propuestos y/o la obtención de información básica confiable.

Martínez (1980) realizó un trabajo enfocado al diseño de riego en surcos, considerando que se debe evitar la pérdida de agua por escurrimiento superficial al final del surco y tratando de obtener la óptima eficiencia de aplicación. Para cumplir con lo anterior se estableció las siguientes condiciones de diseño: el surco debe estar cerrado en la parte final y el gasto que se aplica al surco debe ser reducido en un momento dado del

tiempo de riego.

La conclusión de este trabajo es en el sentido de que es posible mejorar la eficiencia de aplicación y la operación del riego cuando se utiliza la técnica de reducción del gasto.

Macías y Hernández (1981) realizaron un trabajo de investigación con el objetivo de evaluar la influencia del grado de preparación del terreno sobre la eficiencia en la aplicación del agua en el riego de presiembra en el cultivo de algodón; escogiendo 12 lotes localizados dentro del Distrito de Riego No. 17 Región Lagunera, y llegando a las siguientes conclusiones:

i) La influencia del grado de preparación del suelo (rugosidad), se manifiesta principalmente en la velocidad de avance del frente de mojado influyendo por tanto en el valor de la lámina neta aplicada, aún cuando esta depende también en gran parte del gasto, la pendiente y sobre todo el manejo dado al agua por el regador; ii) la preparación del terreno, consiste en barbecho, rastreo (cruza) y Land Plane, y un buen trazo de riego garantizan un uso eficiente del agua, lo que reflejará en un menor tiempo de bombeo; iii) el uso de sifones permite un control y distribución más uniforme del agua; iv) con pendientes en dirección del riego entre 010% y 015% se reduce el tiempo de riego; v) el corte de la entrada de agua a la melga debe hacerse en el momento en que el frente de mojado alcance el final de la misma.

Catalán y Sánchez (1982) realizaron pruebas experimentales de riego en campo en la P.P. "Jolò", ubicada dentro de la

Unidad Jerusalem del Distrito de Riego No. 17, Coah. y Dgo. El objetivo general fué el determinar gastos y longitudes eficientes en el sistema de riego por melgas rectas en el cultivo del girasol.

Las conclusiones fueron: De los gastos propuestos 25, 50 y 75 lps por melga de 9 m/ancho y gastos unitarios de 2.8, 5.5 y 8.3 lps por metro de ancho de melga respectivamente y una lámina de 11 cm., se determinaron las máximas longitudes que fueron: 90, 150, 200 m. para cada uno de los gastos probados y con eficiencia de distribución de un 80%.

MATERIALES Y METODOS

LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA REGION LAGUNERA

La Región Lagunera se encuentra situada a los 25° 30' latitud norte y 102° 104' de longitud. La altura sobre el nivel del mar es de 1150m.

CLIMA

La clasificación climatológica según Thornthwaite: Edb'a. Provincia de humedad E árida, vegetación desértica, humedad deficiente en todas las estaciones. Provincia de temperatura B; mesotérmica. . Subprovincia de temperatura a, concentración en el verano entre 25 y 34%.

Según Köeppen la Región Lagunera en general tiene clima seco, desértico caliente con temperatura media anual de 21.1°C. La precipitación pluvial media anual es de 230 mm. vientos fuertes a fines de invierno y principios de Primavera. Periodo libre de heladas de abril a octubre y pueden presentarse granizadas de abril a mayo.

SUELO

Los suelos, de regular fertilidad, son aluviales, alcalinos, ricos en potasio y calcio; pero pobres en nitrógeno y materia orgánica y con un contenido de fósforo que varía de pobre a regular.

Entre los grandes grupos del mundo, se clasifican como Zerosem y de acuerdo con las clasificaciones modernas como Aridisoles. Existe en la Región suelos salinos sódicos y sódicos no salinos, pero en una superficie pequeña en comparación con la total.

En los mapas agrológicos se han definido 11 series: Coyote, Zaragoza, San Ignacio, Noé, Gómez Palacio, Bermejillo, Maravesco, Tlahualilo, Santiago, San Pedro y Concordia.

HIDROGRAFIA

La principal fuente de abastecimiento de agua de que dispone la Región Lagunera es la del Río Nazas, controlada por las presas Lázaro Cárdenas y Francisco Zarco. Otras fuentes de abastecimiento son el escurrimiento del Río Aguanaval, muy irregular y el agua subterránea. Esta está restringida por los abatimientos de los mantos freáticos originados por una extracción anual en volúmenes muy superiores a su recarga.

El volúmen anual utilizado es aproximadamente de $2872.7 (10)^6 \text{ m}^3$ para una superficie regable de aproximadamente 138,000 ha.

LOCALIZACION DEL SITIO EN ESTUDIO

El sitio donde se realizaron las pruebas de riego fué en el municipio de Tlahualilo, Dgo., 3o. Unidad de Riego, Ejido Pamplona, ubicado dentro del Distrito de Riego No. 17.

Esta unidad de riego en la actualidad se reconoce como la más tecnificada a nivel Distritos de Riego; la superficie que se siembra anualmente es alrededor de 5,000 ha., siendo el principal cultivo el algodnero, y complementando el área de riego con segundos cultivos como sandía, melón, maíz, sorgo, etc. Aproximadamente el 80% de la superficie se riega en surcos (cama melone-
ra 1.80 m.) y un 20% por inundación.

EQUIPO

Para el desarrollo de las pruebas de riego en campo, se utilizaron los siguientes materiales y equipo.

Equipo para Muestreo de Suelo

- Barrena de caja para muestreo de suelo, con la finalidad de realizar análisis físico y químico.
- Barrena para determinar el contenido de humedad del suelo tipo Vehimeyer.
- Barrena de núcleos (muestra inalterada) para determinar la densidad aparente del suelo.

Dispositivos Aforadores

- Aforador "Parshall" (2" de garganta), para medir el gasto de riego, utilizado para determinar la infiltración en surcos, fig 1 del Apéndice.
- Vertedores rectangulares de madera para el control del tirante hidráulico en la regadera.
- Sifones de 2" de diámetro para la aplicación del agua de riego, fig 2 del Apéndice.

Equipo topográfico

- Nivel montado
- Estadal
- Cinta métrica y estacas

Maquinaria Agrícola

- Tractor agrícola
- Arado de discos
- Rastra de discos
- Bordeadora
- Escrepa niveladora

Otros Equipos

- Manguera transparente de 1/2" de diámetro para medir la carga hidráulica de los sifones.
- Sifonímetro de madera dotado de nivel de albañil para medir la carga hidráulica de los sifones.

- Banderolas para señalar estaciones de observación
- Nivel de albañil para la colocación de las estructuras aforadoras.
- Cronómetro de un segundo de precisión.
- Bote de aluminio para la toma de muestras de humedad del suelo.
- Balanza de 0.1 g de precisión
- Estufa con recirculación de aire para secado de muestras.
- Reglas metálicas de 30 cm.
- Lonas
- Palas
- Formatos de control

VARIABLES UTILIZADAS EN EL DESARROLLO DE LAS PRUEBAS DE RIEGO EN CAMPO

Datos generales

- Suelo de textura pesada con perfil uniforme hasta 90 cm.
- Pendiente en dirección del riego 0.03%
- Método de riego, surcos (cama melonera 1.80 m)
- Longitud de surcos 240 m.
- Profundidad a humedecer 120 cm.
- Gastos a utilizar 2, 4, 6 y 8 lps/surco
- Cultivo algodónero

TRABAJOS PREVIOS A LA PRUEBA

Preparación del Terreno

Se realizaron las labores de barbecho a 30 cm, rastreo y nivelación.

Levantamiento Topográfico

Se realizó un levantamiento topográfico con fines de trazo de riego, el cual consistió en ubicar en planta sobre un plano de curvas a nivel hecho a escala, las regaderas, los drenes, dirección del riego y trazo de los surcos, de acuerdo a la pendiente en estudio que en este caso fué de 0.03%.

Muestreo de Suelo

Para la caracterización del suelo con fines de riego, se determinaron las características físicas y químicas, así como las constantes de humedad, para poder estimar la lámina de riego por aplicar y lograr una mejor comprensión de la relación agua-suelo. Esto se realizó obteniendo muestras del suelo en diversos sitios (cabecera, centro y final del surco) y profundidad diferente del perfil de suelo.

Calibración de Sifones

Para conocer con precisión el caudal que pasa a través de los sifones fué necesario calibrarlos con descarga libre, en un rango de cargas de acuerdo a los gastos a utilizar, ver fig 1.

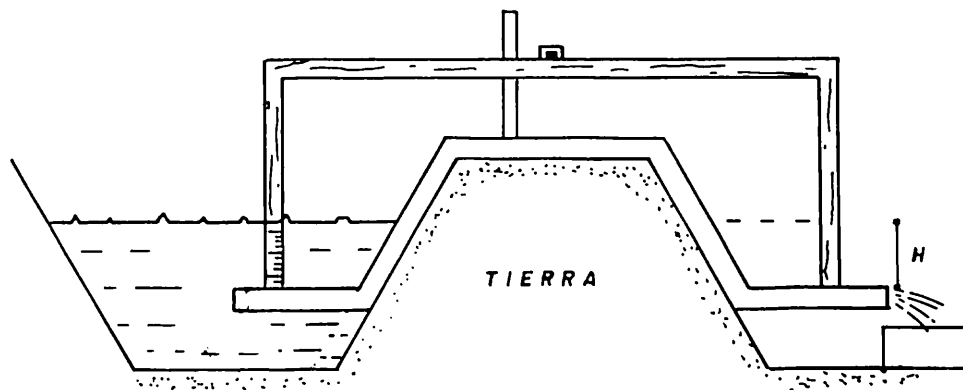


Figura 1. Calibración de sifones con descarga libre

PROCEDIMIENTO DE CAMPO

Antes de aplicar el Agua de Riego

Construcción de Surcos

Se construyeron los surcos de acuerdo a las consideraciones establecidas, formando grupos de seis para cada uno de los gastos en estudio y haciéndose las observaciones en los cuatro surcos centrales, ver fig 2.

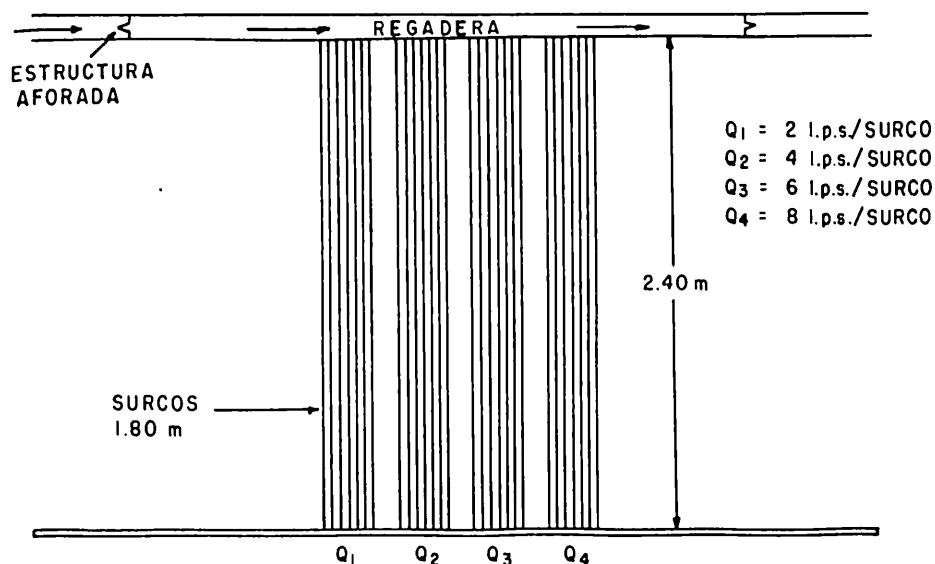


Figura 2. Gastos de riego utilizados en las pruebas de riego en campo

Muestreo de Humedad del Suelo

La cantidad de agua necesaria para llevar al suelo a capacidad de campo a la profundidad programada de 120 cm., se determinó de acuerdo al muestreo gravimétrico de suelo previo al riego; para lo anterior se utilizó la fórmula siguiente:

$$Lri = \frac{(CCi - Psi) Dai \times Pri}{100} \quad (1)$$

Donde: Lri = Lámina de riego a reponer a la profundidad i , cm.

CCi = Capacidad de campo a la profundidad i , %.

Psi = Contenido de humedad actual a la profundidad i , %.

Pri = Profundidad del perfil del suelo a humedecer, cm.

i = Estrato de perfil del suelo a humedecer, cm.

$$LR_t = \sum_{i=1}^n Lri \quad (2)$$

Donde: LR_t = Lámina de Riego total, cm.

Selección de Gastos

La selección de los gastos en estudio se realizó con el criterio de que cubrieran el rango que se utiliza en esa zona de riego (5 lps/surco), resultando los gastos de 2, 4, 6 y 8 lps/surco.

Control del Agua de Riego

Para el control del agua de riego en la regadera principal se utilizaron vertedores de lona, uno a la entrada y el otro a la salida del tramo de la regadera que se escogió para desarrollar la prueba de riego. También se calculó el tirante hidráulico a que debería estar trabajando la regadera, el cual estaría de acuerdo a la carga hidráulica necesaria para aplicar el gasto deseado.

Para el control del agua hacia los surcos se utilizaron sifones de 2" de diámetro colocados sobre una base de tubo de fierro, a una cota de acuerdo al vertedor de lona, generando la carga hidráulica necesaria para aplicar 2 lps en cada surco en estudio, para los gastos de 4, 6 y 8 lps/surco se utilizaron respectivamente 2, 3 y 4 sifones por surco.

Estaciones de Observación

Se colocaron señales cada 20 metros, para observar el frente de avance del agua en los surcos, ver fig 3.

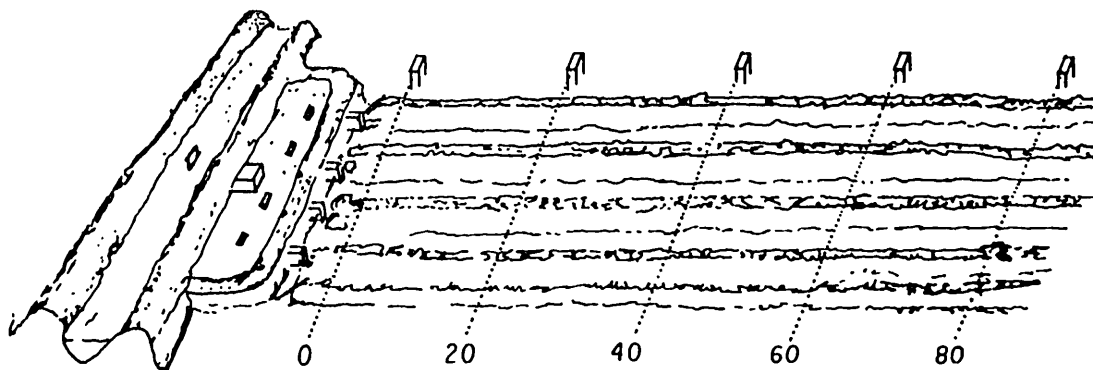


Figura 3. Esquema general de las estaciones de observación

Dimensiones de los Surcos

Se tomaron las dimensiones y formas de las secciones de los surcos antes y después de aplicar el riego, con el propósito de observar si los gastos utilizados causan erosión al suelo, ver fig 4.

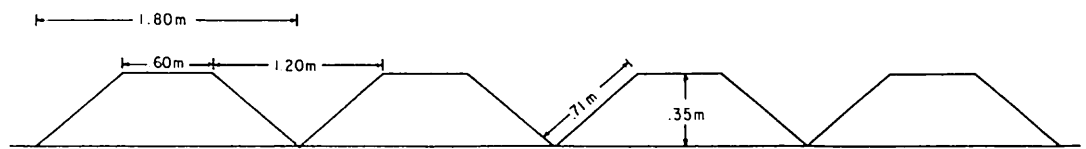


Figura 4. Dimensiones de los surcos en estudio

Después de aplicar el Agua a los Surcos

Medición del Agua de Riego

Se hicieron lecturas de la carga hidráulica de los sifones a la entrada de los surcos en intervalos de cinco minutos para establecer un gasto de entrada constante, la cual se efectuó utilizando manguera transparente de 1.5 cm. de diámetro y regla metálica (0.1 cm. de precisión), ver fig 5.

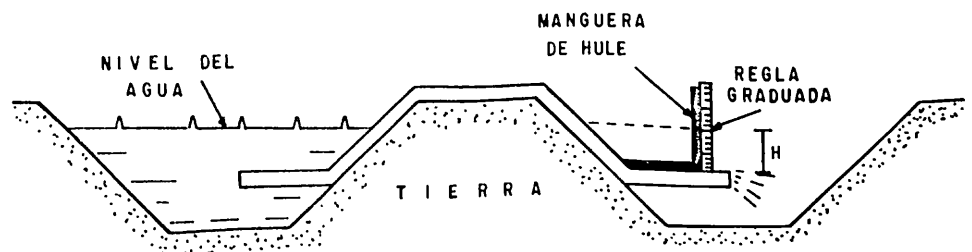


Figura 5. Medición de la carga hidráulica utilizando manguera transparente y regla.

Avance del Agua de Riego

Se registró la hora de inicio de la prueba de riego, así como el tiempo en que el caudal de agua llegó a cada una de las estaciones marcadas con estacas.

Erosión del Suelo

Durante el desarrollo de la prueba de campo, se observó al aplicar cada uno de los gastos en estudio si causaron erosión en las paredes o en el fondo de los surcos.

Infiltración

Para determinar la Velocidad de Infiltración en surcos se utilizó el método de "entradas y salidas", y utilizando la fórmula siguiente:

$$I = \frac{Q_1 - Q_2}{Es \quad L \quad 1-2} 100 \quad (3)$$

Donde: I = Velocidad de infiltración, cm/hr.

Q_1 = Gasto de entrada en el surco punto 1, m³/hr.

Q_2 = Gasto de salida en el surco punto 2, m³/hr.

Es = Espaciamiento entre surcos, m.

L 1-2 = Distancia entre el punto 1 y 2, m.

Para representar matemáticamente la infiltración se utilizará el modelo propuesto por Kostiaikov-Lewis:

$$I = K T^n \quad (4)$$

Donde: I = Velocidad de infiltración, cm/hr.

K = Coeficiente de infiltración

T = Tiempo de infiltración, hr.

n = Exponente de infiltración

Distribución de la Humedad

A cinco días después de aplicado el riego se muestreó el suelo para observar la distribución de la humedad. Asimismo, se realizaron excavaciones a 50 cm. en sentido transversal al sentido del riego, para observar la distribución de la humedad en la parte alta del surco, para cada uno de los gastos estudiados.

Evaporación

Durante el desarrollo de la prueba se tomaron datos de la evaporación en el tanque evaporómetro "Tipo A".

RESULTADOS Y DISCUSION

CARACTERIZACION DEL SUELO Y AGUA

En los cuadros 1, 2, 3, 4 y 5 se presentan las características físicas y químicas del suelo, valores de las constantes de humedad, así como la calidad del agua de riego utilizada.

CUADRO 1. TEXTURA DEL SUELO DEL SITIO EXPERIMENTAL

PROFUNDIDAD cm.	ARENA %	LIMO %	ARCILLA %	TEXTURA %
0-30	42.76	14.0	43.24	R
30-60	38.76	18.0	43.24	R
60-90	40.76	16.0	43.24	R
90-120	52.76	14.0	33.24	MRA

Suelo de textura fina hasta una profundidad del perfil de 90 cm. y migajón arcillo arenoso de 90-120 cm.

CUADRO 2. DENSIDAD APARENTE DEL SUELO DEL SITIO EXPERIMENTAL

PROFUNDIDAD cm	DENSIDAD gr/cm ³
0-30	1.35
30-60	1.34
60-90	1.36
90-120	1.32

CUADRO 3. CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL SUELO DEL SITIO EXPERIMENTAL

PROFUNDIDAD cm	pH	M.O %	C.E	C.I.C.	P.S.I.
0-30	7.7	0.9	0.6	36.0	1.2
30-60	7.8	0.6	0.3	32.5	1.5
60-90	7.8	0.2	0.4	27.5	2.2
90-120	7.6	0.1	1.4	23.0	2.6

Suelo normal por salinidad.

CUADRO 4. CONSTANTES DE HUMEDAD DEL SUELO DEL SITIO EXPERIMENTAL

PROFUNDIDAD cm	C.C. %	P.M.P. %	H.A. %
0-30	30.9	15.4	14.5
30-60	31.8	15.9	15.9
60-90	31.3	15.6	15.7
90-120	25.0	12.5	12.5

CUADRO 5. CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO

Características Básicas

pH 8.2 Conductividad (micromhos/cm) 370

Determinaciones

Ca ⁺⁺ (me/l)	1.50	CO ₃ ⁼ (me/l)	0.0
Mg ⁺⁺ (me/l)	0.70	HCO ₃ ⁻ (me/l)	3.2
Na ⁺ (me/l)	1.50	Cl ⁻ (me/l)	0.37
K ⁺ (me/l)	-	SO ₄ ⁼ (me/l)	3.87

Cationes (me/l) 3.7

SE (me/l) 1.5 PSP (%) 100.0

SP (me/l) 0.52 Boro (mg/l) -

RAS 1.44 Arsénico (mg/l) -

Aniones (me/l) 3.87

C₂ S₁ Agua de salinidad media y bajo contenido de sodio.

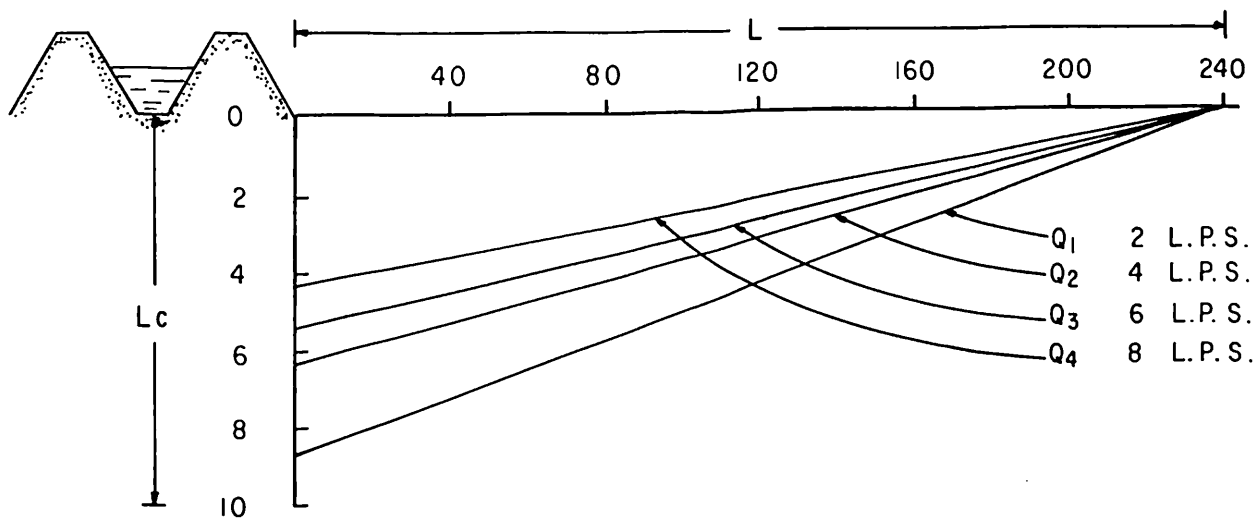
Buena para usos de irrigación.

Avance del Agua en los Surcos

Para obtener altas eficiencias en la distribución del agua de riego se requiere que ésta llegue lo más rápidamente a la parte final del surco y además no cause erosión al suelo. Estos son los principales requisitos necesarios para asegurar un buen manejo del recurso agua, suelo y caudal. Como se puede observar en el Cuadro 6 y fig 6, el avance del agua sobre la superficie del surco y lámina de riego menor resultó ser cuando se utilizaron 8 lps/surco.

CUADRO 6. TIEMPO DE AVANCE

GASTO lps	TIEMPO DE AVANCE		LAMINA DE RIEGO cm
	horas	minutos	
2	3.84	230.1	8.7
4	1.92	115.05	6.5
6	1.24	74.52	5.5
8	0.703	42.15	4.3



L_c = LAMINA INFILTRADA EN LA CABECERA DEL SURCO (cm)
 L = LONGITUD (m)

Figura 6. Lámina de riego infiltradas a lo largo del surco considerando únicamente el tiempo de avance.

Las ecuaciones obtenidas en el tiempo de avance del agua en los surcos, para cada uno de los gastos en estudio, ver fig 3, 4, 5 y 6 del apéndice, resultaron ser:

$$2 \text{ lps} \quad L = 13.861T^{0.5199} \quad (5)$$

$$4 \text{ lps} \quad L = 12.74 T^{0.623} \quad (6)$$

$$6 \text{ lps} \quad L = 11.646T^{0.702} \quad (7)$$

$$8 \text{ lps} \quad L = 16.815T^{0.709} \quad (8)$$

Donde: L = Longitud, m

T = Tiempo, min

Infiltración

El tiempo total que permaneció el agua sobre la superficie de los surcos en cada uno de los gastos en estudio fue aproximadamente 18 horas, para poder infiltrar una lámina de riego de 20.2 m.

Las ecuaciones obtenidas de las pruebas de infiltración utilizando el método de entradas y salidas fueron las siguientes, ver fig 7.

$$I = 2.078T^{-0.583} \quad (9)$$

$$F = 4.983T^{0.417} \quad (10)$$

Donde: I = Infiltración, cm/hr

T = Tiempo, hr

F = Infiltración acumulada, cm.

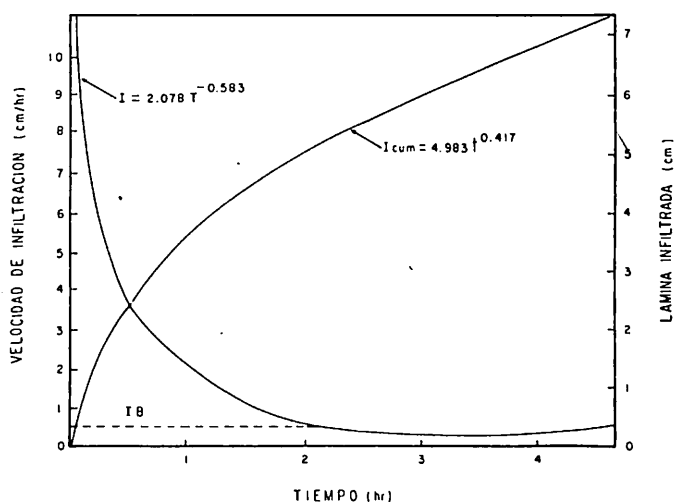


Figura 7. Curva de velocidad de infiltración del agua en el suelo.

Erosión del Suelo

Durante la aplicación de cada uno de los gastos se observó si éstos causaban erosión al suelo, en ninguno de los casos se causó erosión al suelo, esto se debió principalmente al tipo de textura y a la poca pendiente en el terreno, que en promedio fué de 0.02%, observándose también que el avance del agua era detenido por el aire que corría en sentido contrario a la aplicación del riego, presentándose pequeñas ondulaciones sobre la superficie del agua ocasionadas por la velocidad del viento.

Gastos utilizados

El gasto utilizado de 2 lps por surco tuvo un tiempo de riego de 12 horas, observándose en el sentido transversal que no humedeció la parte superior del surco, por lo cual podría haber fallas en la germinación de la semilla.

Además, el tiempo de riego resultó ser demasiado largo, por consecuencia originaría un retraso en el avance de las hectáreas regadas dentro de la unidad de riego y mayores pérdidas de agua por percolación a nivel parcela.

El gasto de 4 lps por surco se aplicó en un tiempo de seis horas de riego observándose que el humedecimiento a donde llegó la humedad era suficiente para lograr una buena germinación.

El gasto de 6 lps por surco se aplicó en un tiempo de

cuatro horas, observándose que la humedad casi cerró la parte superior del surco, debido principalmente a la buena capilaridad existente.

El gasto de 8 lps se aplicó en un tiempo de tres horas de riego. Al igual que el caso anterior, casi cerró totalmente la parte superior del surco, con este gasto empleado se observó más movimiento de las partículas del suelo a unos tres metros pero en ningún momento causó una erosión considerable.

Durante el desarrollo de la prueba de riego se observó en todos los casos que el volumen de agua correspondiente a una lámina de riego de 20.2 cm., no rebasó la parte superior de los surcos, lo único que se observó que varió, fué el tirante hidráulico del agua sobre la superficie del surco, como consecuencia de los gastos utilizados, lo que ocasionó una distribución diferente de la humedad en la parte superior de los surcos.

Areas de humedecimiento .

A los cinco días después de aplicado el riego se realizó una excavación en el sentido transversal de los surcos a una profundidad de 50 cm., para observar si el volumen de agua aplicado en diferentes tiempos de riego tenía un efecto considerable en la distribución de la humedad, principalmente en la parte superior del surco, que pudiera afectar la germinación de las semi-

llas por falta de humedad, ver fig 8.

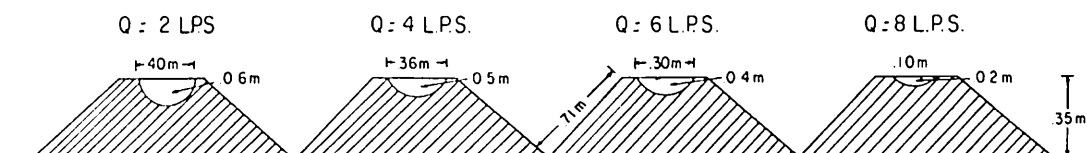


Figura 8. Areas de humedecimiento de los surcos (lomo) para cada gasto

CUADRO 7. AREA DE HUMEDECIMIENTO LATERAL DEL SURCO (LOMO) PARA CADA GASTO

GASTO lps	AREA POR HUMEDECER cm ²	AREA HUMEDECIDA cm ²	AREA SIN HUMEDECER cm ²	PORCIENTO HUMEDECIDO %
	4,200			100
2	4,200	4,120	80	98
4	4,200	4,140	60	98.6
6	4,200	4,160	40	99.1
8	4,200	4,181	19	99.5

Para el cálculo del área por humedecer se tomó como 100% el área total del lomo del surco, utilizándose la siguiente ecuación:

$$A = \frac{B + b}{2} h \quad (11)$$

Donde: $A = \text{Area, cm}^2$

$B = \text{Base mayor, cm.}$

$b = \text{Base menor, cm.}$

$h = \text{altura, cm.}$

Para calcular el área sin humedecer, se consideró que la humedad se distribuyó en una forma parabólica utilizando la siguiente fórmula:

$$\left(A = \frac{1}{3} B h\right) \quad (12)$$

Donde: $A = \text{Area sin humedecer, cm}^2$

$B = \text{Ancho del espejo, cm.}$

$h = \text{altura, cm.}$

Para el cálculo del area humedecida se determinó por diferencia entre el área por humedecer y el área sin humedecer.

$$A_H = A - A_S \quad (13)$$

Donde: $A_H = \text{Area humedecida, cm}^2$

$A = \text{Area por humedecer, cm}^2$

$A_S = \text{Area sin humedecer, cm}^2$

EFICIENCIA DE RIEGO

Eficiencia de Aplicación

Para el cálculo de la eficiencia de aplicación se consideró la lámina de riego almacenada en la cabecera y al final del surco en relación a la lámina requerida por aplicar.

$$Ea = \frac{\frac{Lac + Laf}{2}}{LR_N} \times 100 \quad (14)$$

Donde: Ea = Eficiencia de aplicación, %

Lac = Lámina de riego almacenada en la cabecera del surco, cm.

Laf = Lámina de riego almacenada al final del surco, cm.

LR_N = Lámina de riego requerida, cm.

CUADRO 8. EFICIENCIA DE APLICACION

GASTO lps	LR _N cm	Lac cm	Laf cm	Ea %
2	20.2	16.7	15.0	78.4
4	20.2	16.7	15.92	80.7
6	20.2	16.7	16.20	81.4
8	20.2	16.7	16.40	82.0

Eficiencia de Distribución

Para la determinación de la distribución del agua a lo largo del recorrido se utilizó el método gráfico, que emplea las ecuaciones de avance e infiltración acumulada; con estas ecuaciones se estimó el tiempo en que el agua permaneció sobre la superficie del terreno en cada estación (tiempo de oportunidad), y en base a estos tiempos, se determinaron las láminas de riego infiltradas.

$$Efd = 1 - \frac{y}{\bar{d}} \times 100 \quad (15)$$

Donde: Efd = Eficiencia de distribución del agua, %

y = Promedio de las desviaciones de la lámina de agua almacenadas con respecto a la lámina promedio \bar{d} , cm.

\bar{d} = Lámina promedio de agua almacenada durante el riego, cm.

CUADRO 9. EFICIENCIA DE DISTRIBUCION

GASTO lps	LAMINA INFILTRADA POR ESTACION cm							Efd %
	0	40	80	120	160	200	240	
2	16.7	16.6	16.5	16.2	15.8	15.5	15.0	79
4	16.7	16.6	16.5	16.4	16.2	16.0	15.9	80
6	16.7	16.6	16.6	16.4	16.3	16.2	16.2	81
8	16.7	16.6	16.6	16.5	16.5	16.4	16.4	82

CONCLUSIONES

De los resultados anteriores presentados se derivan las conclusiones siguientes:

- Ninguno de los gastos probados resultó erosivo.
- El gasto de 8 lps empezó a causar erosión al suelo en los primeros tres metros pero no fue significativo, debido a la pendiente casi nula 0.03%.
- El porcentaje de area humedecida en la parte alta del surco resultó ser de 98% a 99.5%, considerándose una buena distribución de humedad arriba de un 98% (4, 6 y 8 lps), la cual proporciona un medio adecuado para la germinación y desarrollo del cultivo.
- La eficiencia de aplicación y distribución más altas se obtuvieron cuando se utilizaron los gastos de 6 y 8 lps por surco, considerándose como buenas eficiencias ya que se obtuvieron valores arriba del 80%.

- Los tiempos de riego para aplicar el volumen de agua programado de acuerdo al gasto por surco utilizado variaron de 12 hr para el caso de 2 lps y 0.7 hr para 8 lps por surco, lo que nos indica claramente que al utilizar el gasto de 8 lps se obtienen las más altas eficiencias de distribución y aplicación, así como el menor tiempo de aplicación del agua de riego lo que repercutirá en una mayor eficiencia en el manejo (operación) del agua de riego en la zona.

RECOMENDACIONES

De acuerdo a la discusión de los resultados y conclusiones obtenidas en la presente investigación se sugieren dos tipos de recomendaciones: sobre los resultados obtenidos de las pruebas de riego y sobre futuras investigaciones.

Sobre los resultados obtenidos de las pruebas de riego

Para la aplicación del riego de presiembra del cultivo algodonero, se puede utilizar el gasto de 8 lps por surco para longitudes de 240 m, separación entre surcos de 1.80 m. y pendiente de 0.03% en dirección al riego en los terrenos con características similares donde se desarrollaron las pruebas de riego respecto a serie de suelo, características físicas y químicas, preparación del terreno etc., ya que al utilizar este gasto se hace más eficiente el uso y manejo de recurso agua.

Para futuras investigaciones

Realizar pruebas experimentales de riego en campo con cultivo para determinar los gastos a utilizarse con los riegos de auxilio, ya que los requerimientos del riego y características del suelo varían a través del ciclo vegetativo.

BIBLIOGRAFIA

- Catalán, V.E. y Sánchez, C.I. 1982. Evaluaciones de riego en melgas en el cultivo de girasol. Informe de investigación. CENAMAR Distrito de Riego No. 17, Región Lagunera, Coah. y Dgo.
- Colque, G.L. 1980. Estudio de metodologías de diseño de sistemas de riego por melgas rectas. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Criddle, W.S. David, C.H. Pair y D.G. Shockley. 1956. Methods for evaluating irrigation systems. U.S. Dep. Agr.
- De Souza, S.A. 1977. Manejo de agua de riego bajo diferentes métodos de labranza en maíz. Tesis de Maestría en Ciencias Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Fok, Y.S. y Bishop, A.A. 1965. Analysis of water advance in surface irrigation. Journal of the irrigation and drainage division, ASCE. IR-I
- García, A.D. y Peña, P.E. 1980. Pruebas de riego sin cultivo utilizando un solo caudal en métodos de riego por surco. Campo experimental del CENAMAR, Región Lagunera, Coah. y Dgo.
- García, A.D. 1982. Pruebas experimentales de riego en surcos. Informe de investigación. Cuenca Baja del Río Pánuco, S.L.P. Tamps. y Ver.

- Grassi, J.C. 1972. Infiltration characteristics of furrow irrigation in a heavy-textured soil. Meded Landbouwhog School Wageningen 72.7 Holland.
- Grassi, J.C. 1972. Métodos de riego. Centro interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. Mérida, Venezuela.
- Hall, W.A. 1956. Estimating irrigation border flow. Agricultural Engineerign, U.S.A.
- Hidalgo, G.A. 1971. Métodos modernos de riego de superficie. Aguilar, S.A. de Ediciones. Madrid, España.
- Israelsem, O.W. y Hansen, V.E. 1965. Principios y aplicaciones del riego. 2da. Edición. Editorial Reverté, S.A. México.
- Macías, R.H. y Hernández, Y.C. 1981. Evaluación del riego bajo diferentes grados de preparación del terreno para el cultivo del algodónero en la Comarca Lagunera, Coah. y Dgo.
- Martínez, E.R. 1980. Metodologías para diseño de riego en surcos con reducción de gasto. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Merrian, L.J. 1968. Irrigation system evaluation and improvement. California State Polytechnic College.

- Orozlany y Wellish. 1973. Estudio para alcanzar precisión en el empleo de métodos de riego por surcos. Tema 8 del tercer Congreso de la Comisión Internacional de Riego y Drenaje. Traducción por el personal de la SARH.
- Pérez, R.M. Modelos matemáticos del movimiento del agua en riego por surcos. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Peri, G. 1973. Avances en la ingeniería de riego. Apuntes de clase inéditos del Colegio de Postgraduados, Rama de Riego y Drenaje. Chapingo, México.
- Philip, J.R. 1954. An infiltration equation with physical significance Soil Science.
- Riestra, D.D. 1977. Analisis preliminar de la eficiencia del uso del agua en el cultivo de la caña de azúcar en el Dto. de Riego 35, La Antigua y Actopán, Ver.
- Willardson, S.L. y Bishop, A.A. 1967. Analysis of surface irrigation application efficiency: Traducción del inglés por J.L. de la Loma. Memorandum técnico No. 248. SAHR- México.

A P E N D I C E

CUADRO 1. CALCULO DE LA LAMINA DE RIEGO ANTES DE INICIAR EL RIEGO

PROFUNDIDAD cm	C.C %	Ps %	DENSIDAD gr/cm ³	LAMINA DE RIEGO cm
0-30	30.9	14.2	1.35	6.8
30-60	31.8	17.1	1.34	5.9
60-90	31.3	18.2	1.36	5.3
90-120	25.0	19.4	1.32	2.2
TOTAL				20.2

CUADRO 2. TIEMPO DE AVANCE DEL AGUA EN LOS SURCOS EN CADA UNO DE LOS GASTOS EN ESTUDIO

ESTACION metros	TIEMPO EN MINUTOS			
	Q 2 lps	Q 4 lps	Q 6 lps	Q 8 lps
0+020	3.54	2.32	2.53	1.20
0+040	4.53	5.57	5.53	3.43
0+060	16.57	12.15	9.38	6.46
0+080	26.40	18.42	11.28	9.52
0+100	42.02	25.45	20.08	13.02
0+120	62.04	38.47	27.13	16.06
0+140	88.17	46.22	34.19	19.03
0+160	119.07	59.51	45.17	23.06
0+180	146.15	71.58	51.11	27.40
0+200	174.17	84.45	61.00	32.46
0+220	208.25	96.07	67.05	38.28
0+240	230.10	115.05	74.52	42.15

CUADRO 3. TIEMPO DE RIEGO

GASTO lps	SUPERFICIE m ²	LAMINA DE RIEGO m	VOL. m ³	TIEMPO DE RIEGO	
				horas	minutos
2	432.0	0.202	87.24	12.1	727
4	432.0	0.202	87.24	6	363
6	432.0	0.202	87.24	4	242
8	432.0	0.202	87.24	3	182

Figura 1. CURVA DE CALIBRACION DE AFORADOR PARSHALL DE 2.5 cm DE GARGANTA CON DESCARGA LIBRE

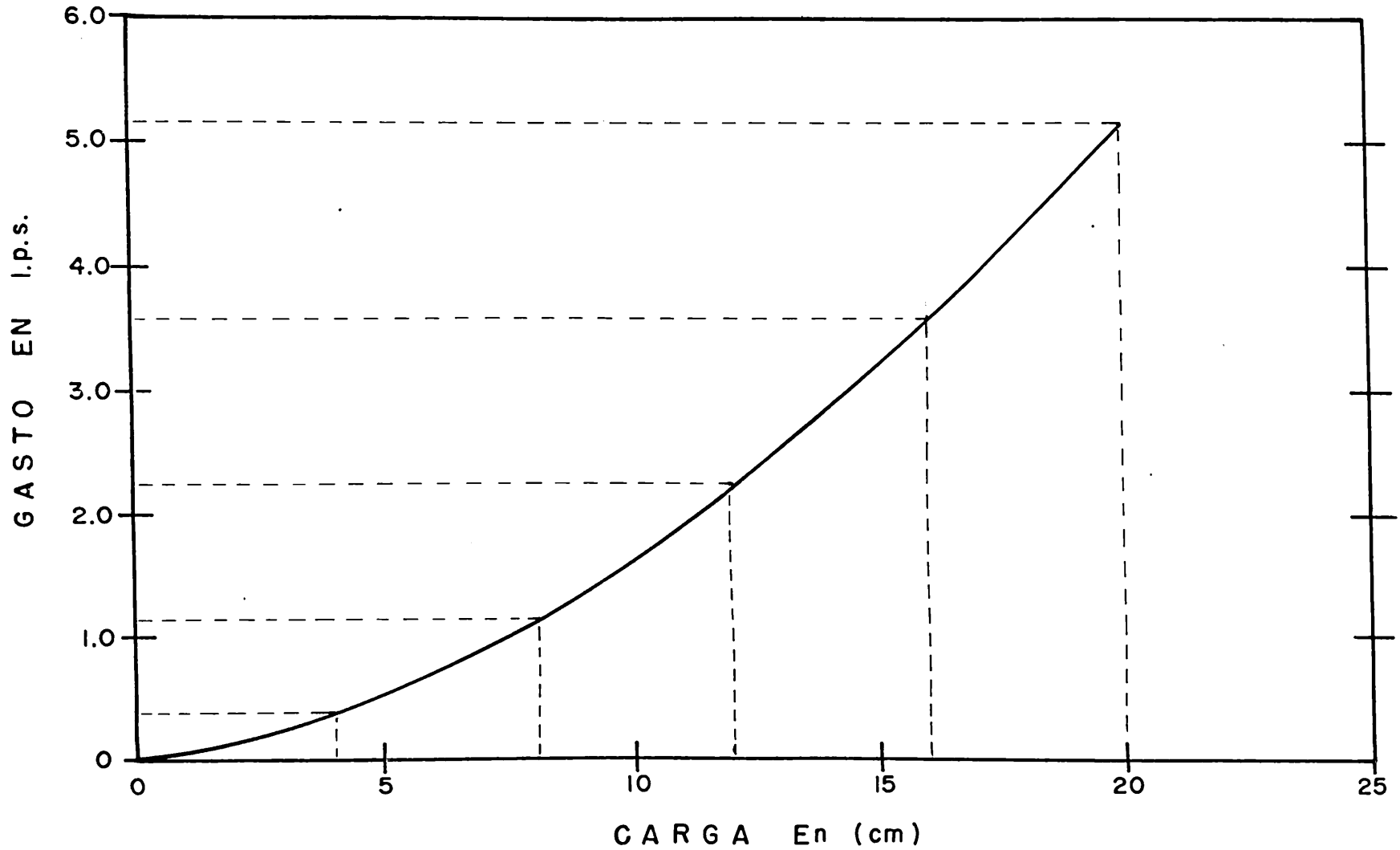


Figura 2. CURVA DE CALIBRACION DE SIFONES DE ALUMINIO
CON DESCARGA LIBRE

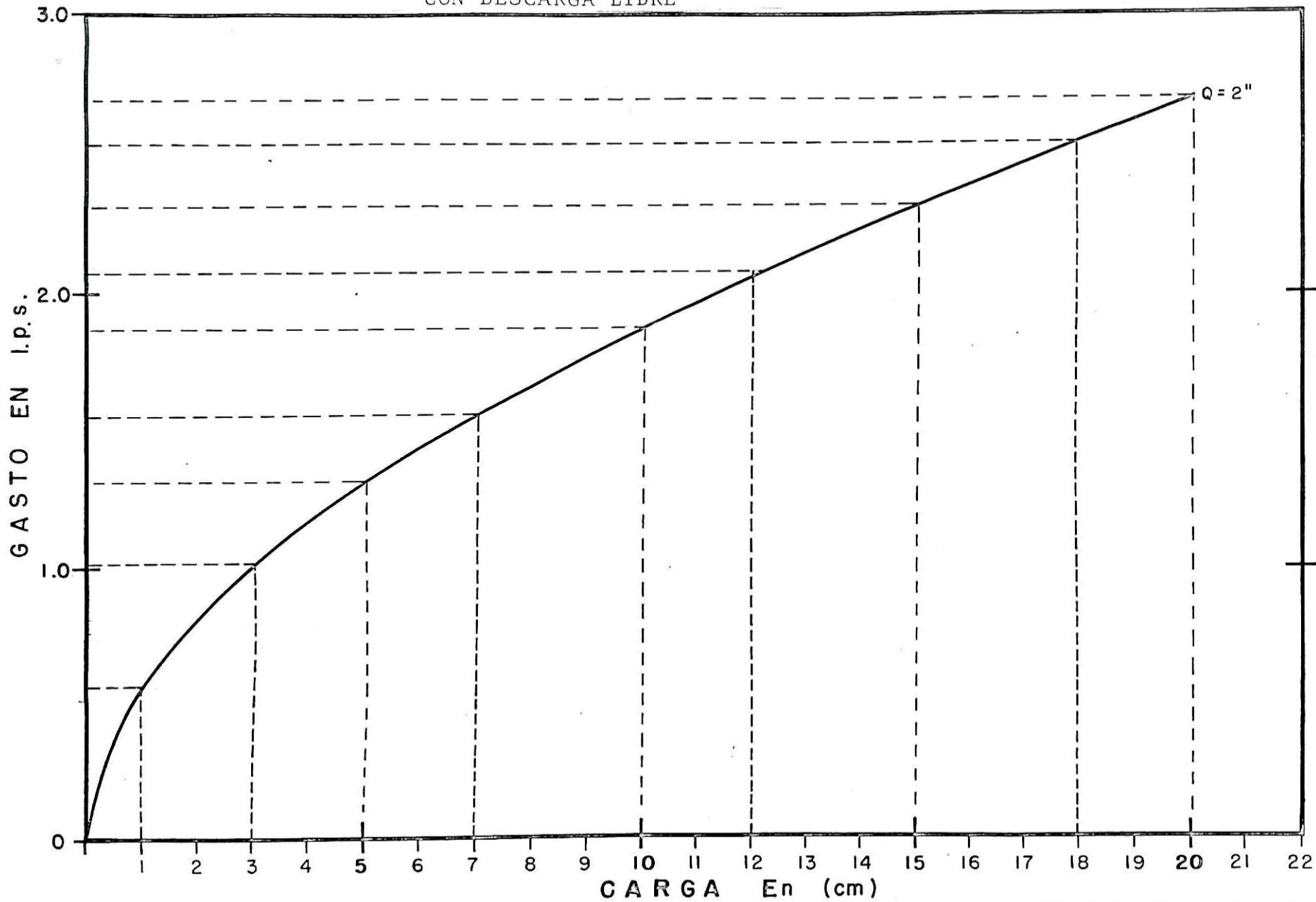


Figura 3. CURVA DE AVANCE PROMEDIO PARA GASTO DE 2 LPS

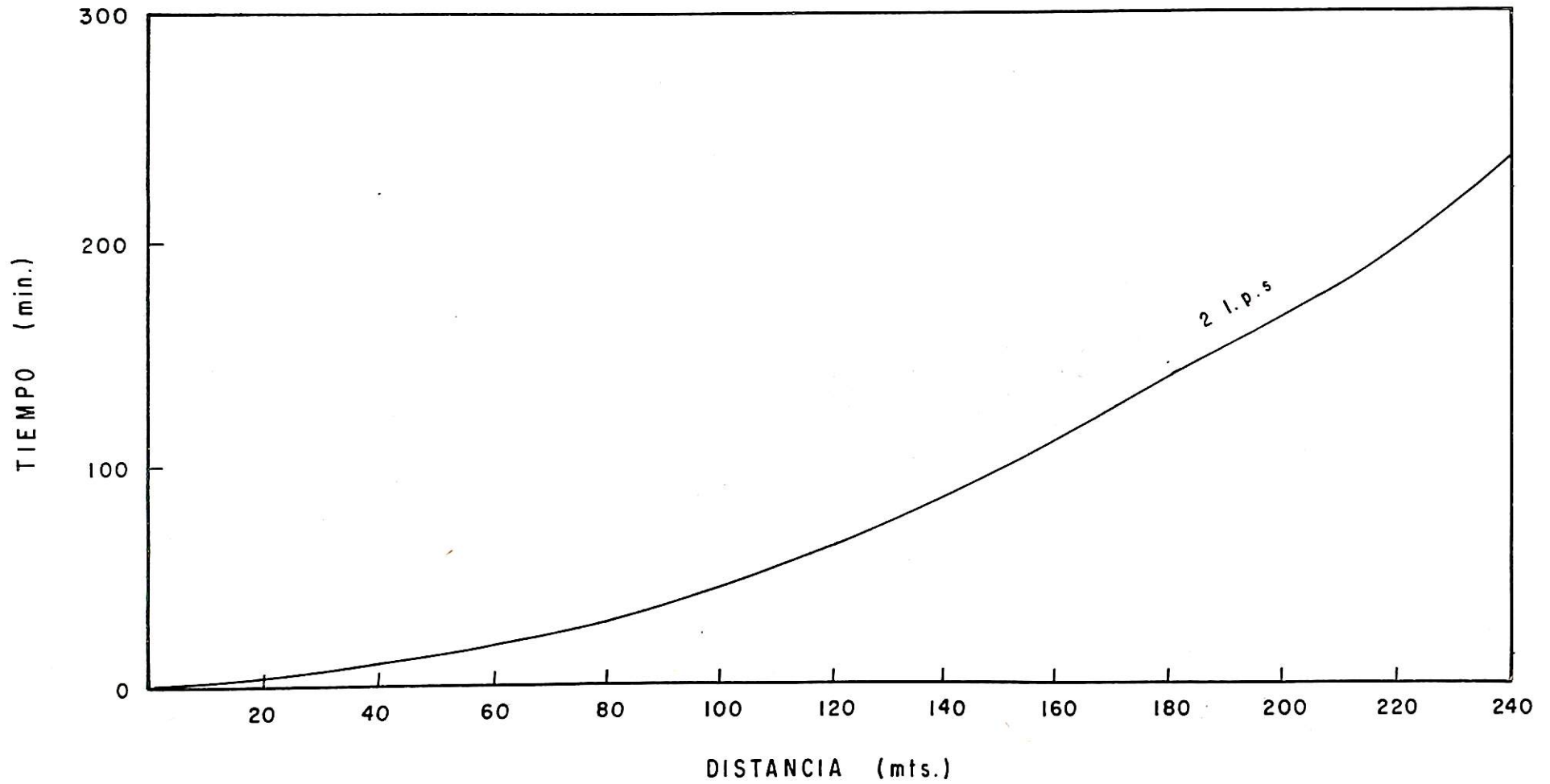


Figura 4. CURVA DE AVANCE PROMEDIO PARA GASTO DE 4 LPS

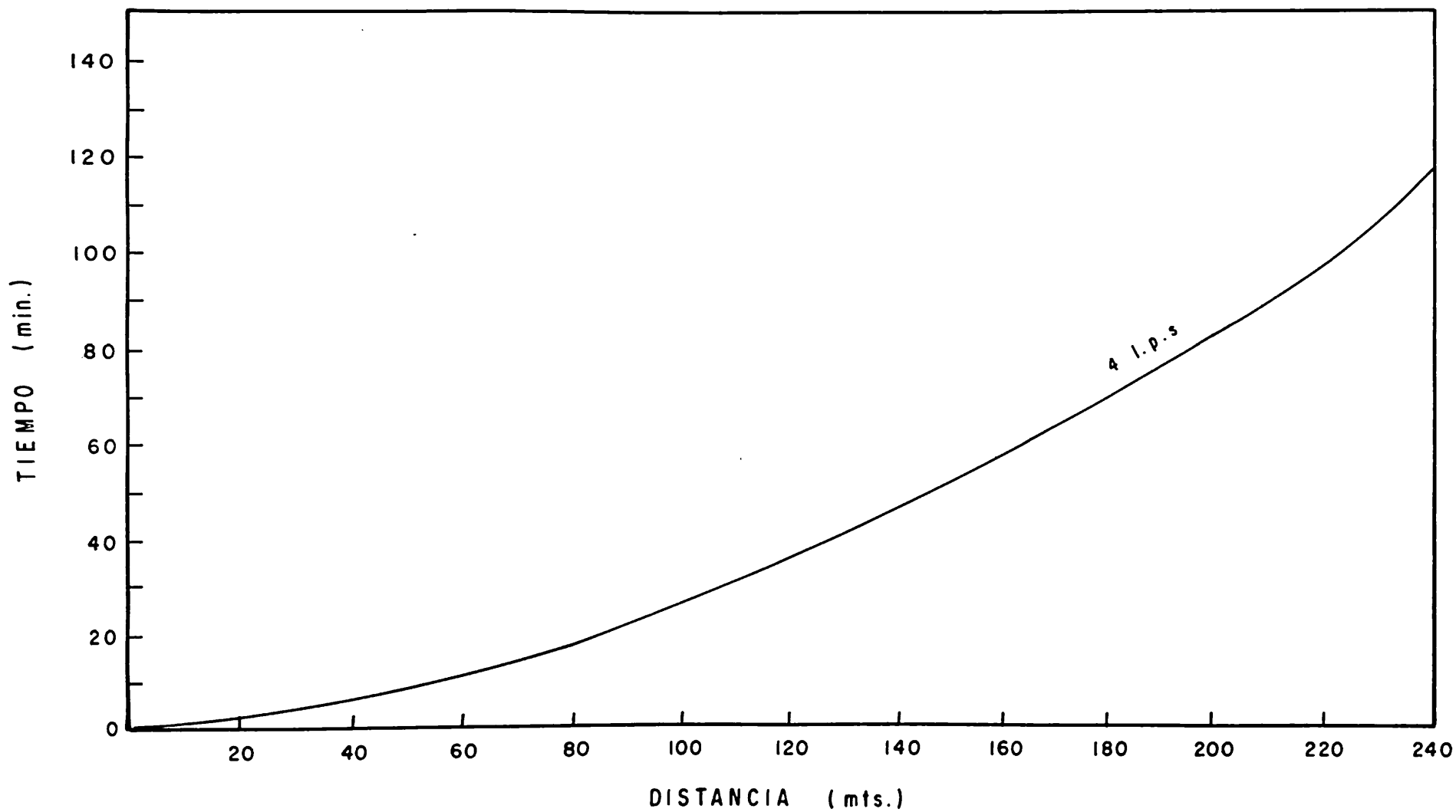


Figura 5. CURVA DE AVANCE PROMEDIO PARA GASTO DE 6 LPS

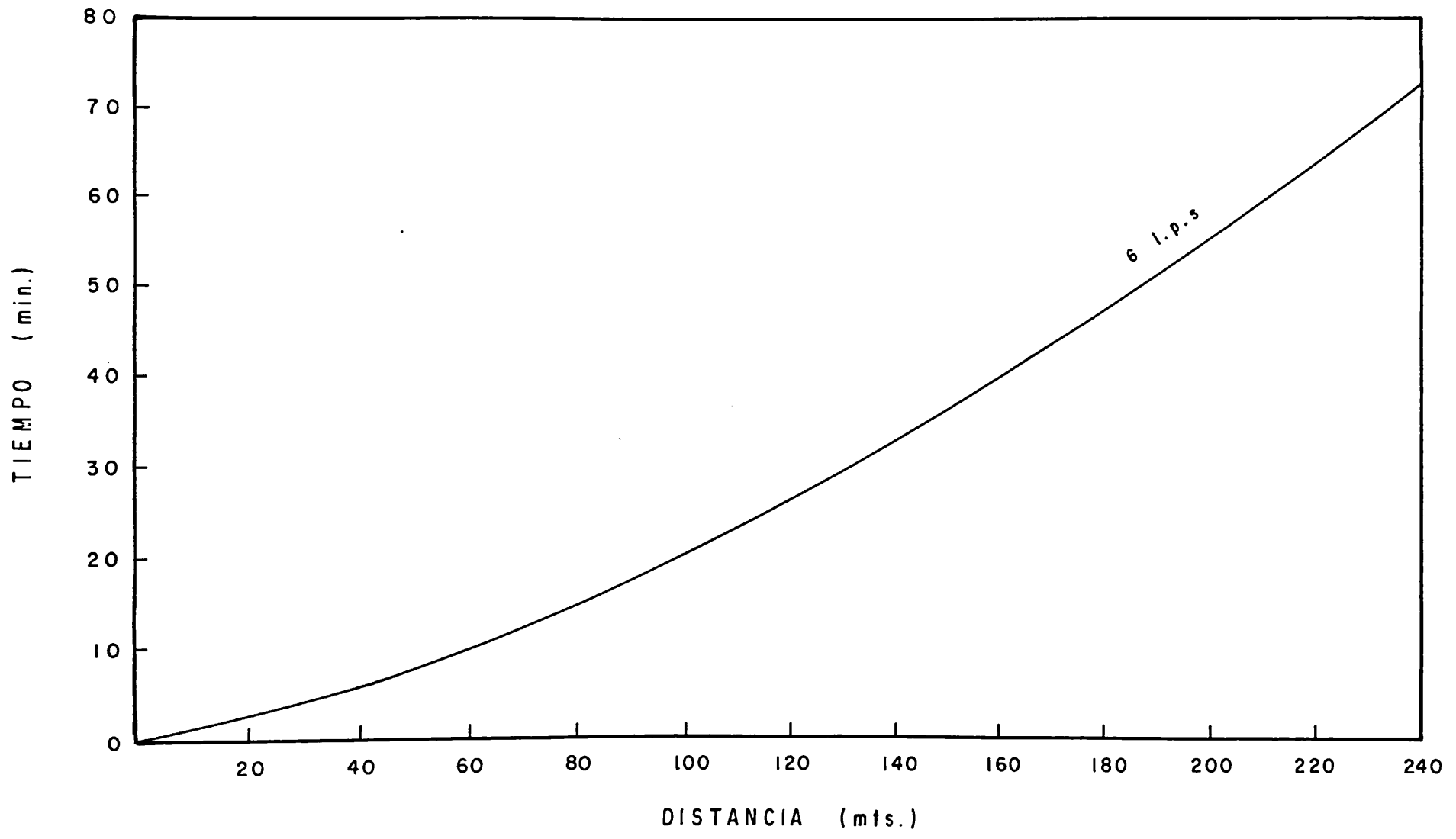


Figura 6. CURVA DE AVANCE PROMEDIO PARA GASTO DE 8 LPS

