

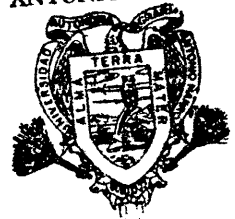
ANALISIS HIDRAULICO DE UN LATERAL
DE RIEGO POR GOTEO

BENJAMIN SALVADOR IBARRA RUIZ

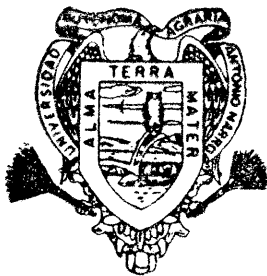
T E S I S

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

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



BIBLIOTECA



Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenavista, Saltillo, Coah.

JUNIO DE 1997

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

MAESTRO EN CIENCIAS EN
RIEGO Y DRENAJE

COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal:




Dr. Juan Fco. Pissani Zúñiga

Asesor:



M.C. Regino Morones Reza

Asesor:



Dr Raúl Rodríguez García



Dr Jesús M. Fuentes Rodríguez
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Junio de 1997

COMPENDIO

Análisis Hidráulico de un Lateral de Riego por Goteo

Por:

BENJAMÍN SALVADOR IBARRA RUÍZ

Maestría

Riego y Drenaje

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Junio 1997

Dr. Juan Fco. Pissani Zuñiga - Asesor-

Palabras clave: Riego, Riego por goteo, Hidráulica, Uniformidad en la distribución.

El presente trabajo se llevó a cabo en un terreno ubicado al sureste del edificio "La Gloria" propiedad de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", durante los meses de Mayo, Junio y Julio de 1975.

El objetivo principal de este trabajo fue el de analizar un lateral desde el punto de vista de uniformidad en la distribución. Llegándose a obtener valores

hasta 96.8 por ciento y tan bajos como 66.15 por ciento. En general los valores del coeficiente de uniformidad encontrados se pueden considerar bajos, ya que el lateral descansaba en un terreno nivelado.

Los materiales usados fueron: tubería de polietileno de mediana densidad con un diámetro de 1/2 pulgada, goteros, medidor de agua, probetas graduadas y manómetros de carátula, principalmente.

Las variables estudiadas fueron: tres longitudes de lateral 50, 100 y 200 m; cuatro espaciamientos entre goteros, 0.75, 1.50, 3.0 y 6.0 m. y cuatro presiones de operación, 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 kg/cm² lo cual da un total de 48 tratamientos para cada tipo de gotero. Los datos se obtuvieron del aforo directo de los emisores durante un tiempo de 30 segundos, tomando tres repeticiones para cada lectura.

Se hicieron análisis respecto a pérdida de carga, número de Reynolds, tasa de flujo de los emisores, uniformidad en la distribución del gasto a lo largo del lateral y análisis de varianza para datos de coeficiente de uniformidad para ambos tipos de goteros.

ABSTRACT

HYDRAULIC ANALYSIS OF A DRIP IRRIGATION LATERAL LINE

By

BENJAMÍN SALVADOR IBARRA RUIZ

MASTER OF SCIENCE

IRRIGATION AND DRAINAGE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, JUNE 1997

Dr. Juan Fco. Pissani Zúñiga -Advisor-

Key words: Irrigation, drip Irrigation, Hydraulics, Uniformity of distribution.

The study was held at the Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", during, May, June and July 1975.

The objective was to evaluate the performance of drippers along an irrigation lateral line.

Measures of uniformity in discharge were made. Results shows values as higher as 96.8 percent and lower as 66.15 percent. This values could be considered low because the lateral lines lied in a leveled ground.

Variables in this work were three:

Legth of lateral line (50, 100 and 200 m), spacing between drippers (0.75, 1.50, 3.0 and 6.0 m), and four operation presures (0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 kg/cm²). Two different kind of drippers were tested. Data was taked by direct measure of discharge of drippers during 30 seconds. Three replays of each measure were made.

Analysis about: Loss of head, number of reynolds, rate of flow, uniformity of distribution along a lateral line and estatistical analysis for uniformity coefficient were made.

INDICE DE CONTENIDO

	PAGINA
INDICE DE CUADROS	ix
INDICE DE FIGURAS	xi
INTRODUCCION	1
REVISION DE LITERATURA	3
Características de los sistemas de microirrigación	4
Componentes de los sistemas de microirrigación	5
Régimen de Flujo	6
Pérdidas de Carga	8
Función de Flujo del Emisor	11
Distribución de Presión en un Lateral	13
Gasto del Emisor	15
Uniformidad en la Distribución	17
MATERIALES Y METODOS	20
Materiales	20
Procedimiento	24
RESULTADOS	27
DISCUSION	56

CONCLUSIONES 64

RESUMEN 65

LITERATURA CITADA 67

INDICE DE CUADROS

CUADRO		PAGINA
3.1	Lista de tratamientos utilizados en el presente trabajo.....	26
4.1	Comparación entre las pérdidas de carga reales y teóricas para goteros del tipos S_1	29
4.2	Comparación entre las pérdidas de carga reales y teóricas para goteros del tipos S_2	30
4.3	Valores del coeficiente "C" de la ecuación de Hazen-Williams para goteros del tipos S_1	32
4.4	Valores del coeficiente "C" de la ecuación de Hazen-Williams para goteros del tipo S_2	33
4.5	Valores del coeficiente de uniformidad obtenidos en los trata- mientos en que se utilizaron goteros del tipo S_1	49
4.6	Valores del coeficiente de uniformidad obtenidos en los trata- mientos en que se utilizaron goteros del tipo S_2	50
4.7	Resultados sobre el coeficiente de variabilidad en los trata- mientos en que se utilizaron goteros del tipo S_1	51

- 4.8 Resultados sobre el coeficiente de variabilidad en los tratamientos en que se utilizaron goteros del tipo S_2 .
- 4.9 Análisis de varianza para datos de coeficiente de uniformidad para goteros del tipo S_1 .
- 4.10 Análisis de varianza para datos de coeficiente de uniformidad para goteros del tipo S_2 .
- 5.1 Tratamientos cuyo Número de Reynolds fue menor de 4000
- 5.2 Diferencia media absoluta entre las pérdidas de carga reales y teóricas para ambos tipos de goteros

INDICE DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
3.1	Características de los emisores usados durante el presente trabajo	22
3.2	Disposición de los materiales en el terreno	23
4.1	Histograma y polígono de frecuencia para los datos de número de Reynolds	34
4.2	Variación del gasto de acuerdo a la presión para diferentes espaciamientos entre goteros del tipo S_1 insertados en tubería de 50, 100 y 200 m de longitud	35
4.3	Función de flujo de emisor del tipo S_1	37
4.4	Variación del gasto de acuerdo a la presión para diferentes espaciamientos entre goteros del tipo S_2 insertados en tubería de 50, 100 y 200 m de longitud	38
4.5	Función de flujo del emisor del tipo S_2	39
4.6	Distribución del gasto a partir de la fuente para un lateral de 50 m. Tipo de gotero S_1	40

4.7	Distribución del gasto a partir de la fuente para un lateral de 100 m. Tipo de gotero S_1	42
4.8	Distribución del gasto a partir de la fuente para un lateral de 200 m. Tipo de gotero S_1	43
4.9	Distribución del gasto a partir de la fuente para un lateral de 50 m. Tipo de gotero S_2	44
4.10	Distribución del gasto a partir de la fuente para un lateral de 100 m. Tipo de gotero S_2	45
4.11	Distribución del gasto a partir de la fuente para un lateral de 200 m. Tipo de gotero S_2	46

INTRODUCCIÓN

Lo errático de la precipitación en las zonas áridas, donde generalmente las lluvias se presentan en forma de tormentas de alta intensidad y corta duración, así como los altos índices de evaporación que se suscitan, dan como resultado que en estas áreas se tenga una muy baja disponibilidad de agua para riego, por lo cual nos enfrentamos a un serio problema cuando tratamos de incorporar estas superficies a la productividad agrícola por medio de los llamados métodos "convencionales" de riego, ya que ellos requieren de grandes volúmenes de agua.

El agua dulce, ha llegado a ser un recurso sobreusado y el sistema de riego por goteo puede ser un método para usar sabiamente nuestras fuentes, así como una herramienta para la conservación del agua que puede hacer productivo un suelo en casi cualquier clima (Kourik, 1991).

Cuando el agua de riego se infiltra (en lugar de fluir) por el suelo se producen mayores rendimientos con menor cantidad de agua, comparado con los sistemas convencionales, los cuales producen pérdidas de humedad debido al viento, evaporación, escurrimiento y percolación, este método puede ahorrar el 50 por ciento o más del agua de riego (Kourik, 1991).

El sistema de riego por goteo es la manera más eficiente de humedecer los suelos por varias razones:

Uso del agua óptimamente, ya que aplican el agua directamente al sistema radicular de las plantas.

Ayudan a evitar enfermedades producidas por el salpicamiento de suelo y humedecimiento de las hojas producidos por algunos otros métodos de riego.

Proporcionan un control más preciso, lo que permite mantener un determinado nivel de humedad del suelo (Damsker, 1995).

Sin embargo, la distribución del gasto a lo largo de un lateral de riego por goteo no sigue un patrón uniforme (Myers y Bucks, 1972). Entre la gran cantidad de factores que tienen influencia sobre ella se encuentran: distribución de la presión a lo largo del lateral, gasto, material de la tubería, material de los goteros, proceso de fabricación de los emisores, diámetro de la tubería, temperatura, tipo de inserción del emisor, espaciamiento entre goteros y longitud de la línea lateral. Por lo cual es de primordial importancia el estudio del riego por goteo desde el punto de vista de la hidráulica del sistema, para lograr un procedimiento de diseño eficiente.

El objetivo del presente trabajo, fue el de analizar la hidráulica del sistema, desde el punto de vista de la uniformidad en la distribución del gasto de los goteros, en un lateral sometido a variaciones en presión, longitud, espaciamiento entre emisores y tipo de emisores.

REVISIÓN DE LITERATURA

Las necesidades más urgentes del riego en la agricultura, los avances de la tecnología y la escasez marcada del agua para uso agrícola, han dado como resultado la aparición de novedosos sistemas de irrigación. En la actualidad existen muchos sistemas de microirrigación, enunciaremos los más comunes y de mayor uso: goteo, microaspersión, cintas y exudación (Baldoceca, 1997).

La microirrigación abarca un número de métodos o conceptos tales como: riego burbujeante, goteo, rociado, nebulización o microaspersión y riego subsuperficial.

El término microirrigación fue introducido a partir de 1986 en sistemas de riego. La microirrigación se refiere básicamente a la aplicación de agua a las plantas en pequeñas cantidades y proporciones por medio de emisores.

La tasa de aplicación debe ser igual a la capacidad de infiltración del suelo, la intención del uso de la microirrigación es la de liberar agua en el suelo a una tasa que se acerque lo más posible al consumo de agua por las plantas (Baldoceca, 1997).

Zazueta (1992), define la microirrigación como un sistema de riego por medio del cual se aplica agua ya filtrada y productos químicos al suelo a través de una red de tubos y otros dispositivos especializados llamados emisores. El

agua es llevada desde la fuente de abastecimiento hasta cada planta del cultivo, eliminando totalmente las pérdidas por conducción y minimizando las pérdidas por evaporación y percolación profunda, sin someter a las plantas a condiciones extremas; se pretende con este sistema controlar, cuando menos en forma parcial, el patrón con que el agua se distribuye en el suelo, tanto desde el punto de vista geométrico, como el de distribución de humedad. Con este sistema se pretende generar en la zona radicular un ambiente de características físicas, químicas y biológicas que conduzcan a mayores rendimientos, mejor calidad del producto agrícola y que incremente la rentabilidad del sistema de producción.

La microirrigación es también definida como una precisa y lenta aplicación de agua en forma de gotas discretas y continuas, pequeños chorros o rocíos a través de artificios mecánicos llamados emisores o aplicadores locales sobre puntos seleccionados a lo largo de líneas de distribución de agua (Bucs y Nakayama, 1982).

Cacterísticas de los sistemas de microirrigación

Riego por goteo: se aplica el agua en la superficie del suelo por medio de gotas o pequeñísimos chorros a través de emisores. Para este sistema de riego, los gastos estimados por los emisores del punto principal son generalmente menores de ocho litros por hora (A.S.A.E., 1995).

Riego por burbujeadores: es la aplicación del agua en la superficie del suelo como pequeños chorros dando la forma de una fuente, donde las proporciones en las descargas generalmente son mayores que la de los emisores por goteo o subsuperficiales, pero generalmente menores de 225 litros por hora (A.S.A.E., 1995).

Riego por goteo subsuperficial: se define como un sistema riego por goteo con líneas laterales enterradas por debajo de la superficie del suelo. Con este sistema de riego se aplica el agua por debajo de la superficie del suelo a través de emisores con gastos estimados similares a los del riego por goteo. Este método de aplicación de agua es diferente a la subirrigación y no debe ser confundido, ya que en la subirrigación la zona radicular se riega mediante un control del nivel freático (Bucs y Nakayama, 1982).

Riego por microaspersión: El riego por microaspersión consiste en la aplicación de agua en forma de fina lluvia a baja altura. Generalmente el agua se distribuye por el campo a través de una red de tuberías y es aplicada a las plantas o árboles mediante un microaspersor individual, para obtener una humedad localizada, la diferencia entre microaspersores y microjets es que en los primeros, el chorro de agua va girando y en los últimos es estático (Peña, 1997).

Componentes de un sistema de microirrigación

Una instalación de un sistema de microirrigación consta, en esencia, de los siguientes elementos:

Equipo de bombeo

Cabezal de control: sistema de filtrado y equipo de fertilización

Tuberías que conducen el agua desde el cabezal hasta la planta

Emisores

Accesorios

Dispositivos de regulación

Dispositivos de control

El cabezal, junto con los emisores, constituyen la parte más importante del sistema, ya que de su calidad dependerá, en gran parte, el buen o mal funcionamiento del sistema (Medina, 1988).

Régimen de Flujo

En hidráulica se entiende por tubería cualquier conducto cerrado que transporta agua a presión. Por lo general son de sección circular. Los conductos cerrados en que el agua circula sin llenarlos completamente se clasifican en su totalidad como canales (King, 1950).

Los experimentos demuestran que son posibles dos regímenes, dos tipos de corrientes de líquidos y gases en los tubos: Laminar y Turbulenta.

La corriente laminar, es la formada por capas sin mezclarse las partículas del líquido, ni variar la velocidad, en este caso todas las líneas de corriente se determinan por la forma del cauce por la cual fluye el líquido. Cuando la corriente del líquido en un tubo recto de sección constante, es laminar, todas las líneas de corriente son paralelas al eje del tubo, es decir, rectas, no surgen desplazamientos transversales de las partículas del líquido, por lo cual el líquido no se mezcla durante el flujo.

La corriente turbulenta, es la que va acompañada por una mezcla intensa del líquido y oscilaciones de velocidades y presiones. Cuando la corriente es turbulenta, las líneas de corriente se determinan solo aproximadamente por la forma del cauce (Nekrasov, 1968).

El cambio del régimen de corriente del líquido dado en el tubo se realiza a determinada velocidad de la corriente que se determina crítica (Nekrasov, 1968). Supongamos que en una tubería está circulando agua a pequeña velocidad, régimen laminar, al ir aumentando paulatinamente la velocidad se llega a cierto valor a partir del cual el régimen se vuelve turbulento. Este valor que tiene que alcanzar la velocidad para pasar del régimen laminar al turbulento se conoce como velocidad crítica alta.

Supongamos ahora que en la tubería está circulando el agua con gran velocidad de tal manera que el régimen sea turbulento y que se le hace disminuir paulatinamente; el régimen permanece turbulento hasta que llega un momento en que si se disminuye más la velocidad, pasa a laminar. A esta velocidad para la cual el régimen pasa de turbulento a laminar se llama velocidad crítica baja (Trueba, 1971).

Experimentalmente se ha demostrado que la magnitud de la velocidad crítica es directamente proporcional al coeficiente cinemático de viscosidad (ν) e inversamente proporcional al diámetro de la tubería, o sea:

$$\text{Velocidad crítica} = K \frac{\nu}{d} \dots\dots\dots (1)$$

El coeficiente adimensional de proporcionalidad, K, tiene significación universal. El cambio de régimen de la corriente tiene lugar cuando la relación entre la velocidad, el diámetro y la viscosidad tiene un valor determinado e igual a:

$$K = \frac{\text{Velocidad crítica}(d)}{\nu} \dots\dots\dots (2)$$

Este número adimensional se denomina número crítico de Reynolds y se designa:

$$Re_{cr} = \frac{\text{Velocidad crítica}(d)}{v} \dots\dots\dots (3)$$

Sin embargo, se puede hablar no solamente del número crítico de Reynolds que corresponde al cambio de régimen, sino también del número real de Reynolds para diferentes flujos y expresarlo por la velocidad real, es decir:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \dots\dots\dots (4)$$

(Nekrasov, 1968)

Se ha encontrado y verificado experimentalmente que para tubería comercial de sección circular cuando el número de Reynolds es menor de 2100 el flujo es laminar y cuando es mayor de 3000 el flujo es turbulento, prácticamente en todos los casos (King, 1950).

Pérdida de Carga

Un flujo en movimiento sufre pérdidas de energía por fricción, las cuales son energía liberada requerida para presentar resistencia al flujo, la energía liberada es transformada en calor. Después de ser transformada, no puede, a través de los procesos naturales ordinarios, ser reconvertida a cualquiera de las formas de energía contenidas en un fluido en movimiento, por lo cual, se les conoce como pérdidas de energía o pérdidas de carga (King, 1950).

La forma exacta en que esta pérdida ocurre no se conoce completamente. No se puede pensar que sea a causa de la fricción entre la

corriente y las paredes del conducto, debido a que cuando un fluido humedece las paredes del conducto a través del cual fluye, como generalmente ocurre, las partículas exteriores del fluido se adhieren a las paredes y no tienen movimiento respecto a éste, por esta razón no puede haber fricción entre el fluido y el conducto (King, 1950).

La pérdida puede ocurrir como resultado de la fricción entre las varias partículas del fluido al rozar unas con otras, o puede ser debido a la pérdida de energía cinética como resultado del impacto de las moléculas (o de masas) que se mueven a diferentes velocidades (King, 1950).

Existe una pérdida de carga continua cuando el agua fluye dentro de cualquier conducto recto y esta pérdida se mantiene en una proporción, respecto a la longitud, prácticamente constante mientras no haya variación en la velocidad del agua ni en el alineamiento del conducto (King, 1950).

Cuando un líquido circula por una tubería sufre pérdidas en su energía; estas pérdidas se deben a las siguientes causas:

Pérdida por fricción

Pérdidas por entrada

Pérdidas por salida

Pérdidas por súbito ensanchamiento

Pérdidas por súbita contracción

Pérdidas por obstrucciones en el tubo (válvulas, etc.)

Pérdidas por cambio de dirección en la circulación.

Generalmente la pérdida más importante es la debida a la fricción (Trueba, 1971).

En todas las fórmulas usadas para determinar las pérdidas de energía en las tuberías, solamente la fórmula de Darcy Weisbach, permite la evaluación apropiada del efecto de cada uno de los factores que afectan la pérdida (King, 1950).

$$hf = f \frac{L v^2}{d 2g} \dots\dots\dots (5)$$

Donde: hf, es la pérdida de carga en metros; f, es un factor de fricción; L, es la longitud de la tubería en metros; g, es la aceleración debido a la gravedad en m/s² y v, es la velocidad promedio del agua en m/s.

El factor o coeficiente de fricción, f, puede deducirse matemáticamente en el caso de régimen laminar, más en el caso de régimen turbulento no se dispone de relaciones matemáticas sencillas para obtener la variación de f con el número de Reynolds (Giles, 1969). Sin embargo, de acuerdo con Heller y Bresler (1973) se ha demostrado, con pruebas hechas en tubería de polietileno sin salidas, que la relación entre el factor de fricción, f, y el número de Reynolds se puede expresar como sigue:

$$f = \frac{0.291}{0.246 Re} \text{ para } Re > 2000 \dots\dots\dots (6)$$

Y por supuesto:

$$f = \frac{64}{Re} \text{ para } Re < 2000 \dots\dots\dots (7)$$

La ecuación de Darcy-Weisbach puede ser usada para todos los regímenes de flujo de laminar a turbulento. El diagrama de Moddy para tuberías

angostas puede ser usado para obtener el factor f en la zona de turbulencia (Howell y Hiller, 1972).

Howell y Hiller (1974), al desarrollar un programa Fortran para computadora (IBM 360/65) usaron la ecuación de Hazen-Williams para calcular la pérdida de energía debido a la fricción:

$$H_f = 4.551 \frac{L Q^{1.852}}{C^{1.852} D^{4.871}} \dots\dots\dots (8)$$

Donde Hf, es la pérdida de energía debido a la fricción (libras/pulg²); C, es el coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams; L, es la longitud de la tubería en pies; D, el diámetro interior de la tubería en pulgadas y Q, es la tasa de flujo del lateral en galones/min.

Debido a que esta ecuación es empírica, al trabajar con unidades del sistema métrico decimal, es necesario obtener un factor de conversión de acuerdo a estas unidades.

En la práctica se asume que para PVC el valor de C es igual a 150 y para polietileno, C, es igual a 140. Sin embargo, Hanson (1973), en pruebas hechas en laboratorio sobre una línea encontró que el valor de C puede variar de 98 a 136 y que esta variación está en función del tipo de emisor y de las características de la tubería.

Función de Flujo del Emisor

Con el incremento del uso del riego por goteo, se han introducido varios tipos de goteros. La rápida tasa de desarrollo y las modificaciones que han sido

necesarias han dificultado la obtención de datos hidráulicos, técnicos y operacionales en forma accesible para el diseño de sistemas de riego.

Los datos hidráulicos existentes han sido obtenidos a partir de pruebas de laboratorio y en la mayoría de los casos de cálculos teóricos. La comparación de los datos empíricos obtenidos de laboratorio y los derivados de la teoría, muestran que hay diferencias muy significativas entre ellos.

Una de las propiedades hidráulicas que tiene influencia sobre la operación de los goteros es: La relación entre la tasa de flujo y la presión (Gilaad, 1974).

Se conocen dos grandes grupos de emisores: (a) emisores de trayectoria larga y (b) de orificio. La función de flujo del emisor (presión contra curva de gasto) se puede caracterizar para un rango de flujo dado, por medio de una recta en un papel logarítmico. Lo cual resulta es una ecuación de la forma:

$$Q = KH^x \dots\dots\dots (9)$$

Donde: Q, es la tasa de flujo del emisor, litros/hora; H, es la presión del emisor, libras/pulg². K, es la tasa de flujo del emisor, litros/hora, a una presión de una libra por pulgada cuadrada y x, es la pendiente de la línea (Howell y Hiller, 1974).

En general, la tasa de flujo de los emisores, está controlada por la presión hidráulica en el mismo y por las dimensiones del orificio o trayectoria del emisor (Howell y Hiller, 1974).

Distribución de Presión en un Lateral

En el caso del riego por goteo, uno de los problemas principales es la falta de uniformidad en la distribución del agua a lo largo de una línea lateral, estas variaciones están en función de: longitud del mismo, presión de entrada, espaciamiento entre emisores y gasto total. Esto crea un problema de diseño para seleccionar la combinación adecuada de longitud y presión a fin de lograr un patrón no uniforme pero aceptable de riego (Wu y Gitlin, 1974).

La distribución de presión en una línea de riego por goteo, sub-principal o lateral, está controlada por la pérdida de energía debido a la fricción y la ganancia o pérdida de la misma por efecto de posición (Wu y Gitlin, 1974), y debido a que el agua que fluye por una lateral pierde o gana energía debido a las causas anteriormente expuestas, habrá variación en la presión a lo largo de la tubería (Howell y Hiler, 1974), la presión al final, H_o , y al inicio del lateral, H_n , puede ser aproximadamente calculada como sigue:

$$H_o = \bar{H} - 0.25 H_f + 0.50 H_e \dots\dots\dots (10)$$

$$H_n = H_o + H_f + H_e \dots\dots\dots (11)$$

$$\bar{H} = H_n - 3/4 H_f + 3/4 H_e \dots\dots\dots (12)$$

Donde: H , es la presión promedio en el lateral, libras/pulg² y H_f es la pérdida de presión en el lateral.

Una línea lateral colocada a favor o en contra de la pendiente afectará la presión hidrostática de la misma. Cuando se pone en contra de la pendiente habrá pérdida de energía y ganancia en el caso contrario. La pérdida o

ganancia de presión es linealmente proporcional a la pendiente y la pérdida lo es a la longitud de la línea (Wu y Gitlin, 1974).

La distribución de presión sobre una línea lateral puede ser derivada de una ecuación de energía (Wu y Gitlin, 1974). La tasa de flujo en una línea lateral es generalmente baja y el cambio de velocidad con respecto a la longitud es pequeño y puede no ser tomado en cuenta, la ecuación dinámica de flujo variable con gasto decreciente en una línea lateral puede ser expresada tan simple como:

$$\frac{dh}{dL} = \pm S_o - S_f \dots\dots\dots (13)$$

En la cual, S_o es la pendiente de la línea, el signo positivo significa a favor de la pendiente y el negativo, en contra; S_f es la fricción debido a la pendiente y dh/dL , es el cambio de presión respecto a la longitud o la pendiente de la línea de gradiente de presión.

La ecuación anterior (13), muestra que la distribución de presión puede ser obtenida por una combinación lineal de la energía debido a la pendiente, S_f , y la pendiente de la línea lateral, S_o , asumiendo que S_o es cero para un terreno nivelado, entonces:

$$\frac{dh}{dL} = - S_f \dots\dots\dots (14)$$

(Wu y Gitlin, 1973)

Myers y Bucks (1972), concluyen que las variaciones en gasto causadas por los cambios de presión inducidos por la fricción en la tubería lateral pueden ser reducidos por emisores de alta pérdida de carga (consistente en canales en forma de espiral de pequeño diámetro y gran longitud) operados a alta presión

(15 libras/pulg²). Los sistemas de baja presión sufren más las variaciones en presión debido a que los cambios en presión sobre la línea lateral representan un alto porcentaje de la presión total.

Gasto del Emisor

El gasto del emisor en cualquier sección de la línea lateral está controlado por la presión en esa sección. Hidráulicamente el gasto del emisor es una función de la raíz cuadrada de la presión (Wu y Gitlin, 1974), (Heller y Bresler, 1973)

$$q_i = C_1 \sqrt{h_i} \dots\dots\dots (15)$$

Donde: C, es un coeficiente de gasto; q_i, es el gasto del emisor en la i-ésima sección y h_i, es la presión en la i-ésima sección (para el caso específico del emisor usado por Heller y Bresler el valor de C fue de 0.88).

De acuerdo con Wu y Gitlin (1974), si la presión de entrada es H; la pérdida por presión a cualquier longitud dada es ΔH_i; la máxima pérdida por fricción al final de la línea es ΔH, la ganancia o pérdida es ΔH'_i y la máxima ganancia o pérdida de presión es ΔH', el gasto (favor de la pendiente) puede ser expresado:

$$q_i = C_1 \sqrt{H - \Delta H_i + \Delta H'_i} \dots\dots\dots (16)$$

i = 1,2,3n

Una ecuación parecida ha sido desarrollada por Heller y Bresler (1973) para calcular el gasto de cualquier gotero en una línea lateral. Es necesario conocer el gasto en el primer gotero y la presión en este punto:

$$q_j = \left[q_{j-1} - E \left(\frac{1 - \sum_{i=1}^{j-1} q_i}{Q} \right)^+ \frac{S_z}{100} \right]^{-1/2} \dots\dots (17)$$

$$E = \frac{\beta S Q^2 q_1^2}{h_1 D^{\alpha+d}} \quad j = 2, 3, \dots, n$$

Donde q₁ es el gasto del primer emisor, l/h; q_j, es el gasto de j'esimo gotero; S, es la distancia entre goteros, m; Q, es la tasa de gasto sobre la línea, l/h; D, es el diámetro interno de la tubería, mm; h, es la presión en el primer gotero, m; Z, es la pendiente del terreno, por ciento; d, es el diámetro del orificio (o gotero) y α y β son constantes empíricas.

Los valores de α y β dependen de la relación entre el número de Reynolds y el factor de pérdidas por fricción. Se ha encontrado que cuando Re > 2000, α = 1.0 y β = 1.183 y cuando Re < 2000, α = 1.754 y β = 0.4758.

Datos de un programa para computadora desarrollado por Howell y Hiler (1974), muestran que la tasa de gasto promedio, q̄, del lateral, ocurre al 40 por ciento de la longitud de ésta a partir de la entrada. Asumiendo que no hay cambio en la pendiente, la tasa promedio de gasto de los emisores está dada como sigue:

$$\bar{q} = K (H_n - 3/4 H_f)^x \dots\dots\dots (18)$$

Donde K , es la tasa de flujo del emisor a una presión de una libra/pulg²; H_n , es la presión de entrada; H_f , es la pérdida por fricción del lateral y x , es la pendiente de la línea en papel logarítmico y es caracterizada por el régimen de flujo del emisor (ver ecuación 9).

Uniformidad en la Distribución

Un sistema diseñado para una más uniforme aplicación del agua puede ser considerado como más eficiente (Karmeli y Keller, 1974). Para realizar una alta uniformidad en el riego, el gasto debe ser constante en todos los emisores y cada uno de estos debe tener gasto constante en tiempo. Lo cual quiere decir; que cada gotero debe tirar la misma cantidad de agua por unidad de tiempo (Davis y Pugh, 1974), el objetivo primario de un buen diseño de un sistema de riego por goteo es proporcionar suficiente flujo al sistema para regar adecuadamente con la mínima cantidad de agua la zona radicular de las plantas. Por eso, la relación entre las tasas de gasto mínimo y promedio dentro del sistema es un importante factor de la uniformidad de aplicación. Esta relación se ha definido como uniformidad en la emisión (EU) (Karmeli y Keller, 1974).

Se hizo un estudio sobre la relación entre la distribución irregular y el coeficiente de uniformidad. Se encontró que una tasa de gasto q_{max}/q_{min} , se puede correlacionar con el coeficiente de uniformidad. Considerando la variaciones en gasto, se llegó a un criterio de diseño de manera que una uniformidad de 98 por ciento o más se considera deseable donde la variación entre q_{max} y q_{min} , es menor que el 10 por ciento, un coeficiente de 95 a 98 por ciento se considera aceptable donde la variación entre q_{max} y q_{min} , es menor del 20 por ciento. Un coeficiente de uniformidad menor de 95 por ciento no se recomienda (Wu y Gitlin, 1974).

Cuando se ha determinado la distribución del gasto, el grado de uniformidad puede ser expresado por la ecuación de coeficiente de uniformidad (de Christiansen).

$$C_u = 1 - \frac{\overline{\Delta q}}{\bar{q}} \dots\dots\dots (19)$$

Donde \bar{q} , es el gasto medio y $\overline{\Delta q}$, es la media de las desviaciones a la media (Wu y Gitlin, 1974).

Peña (1997) al evaluar un sistema de riego por microaspersión para una huerta de nogales encontró valores de coeficiente de uniformidad de 88.89 por ciento, lo cual implica la bondad de los sistemas de microirrigación.

Algunos otros autores como Summer (1994), y por medio del apoyo de sistemas computacionales encontró valores de coeficiente de uniformidad entre 87 y 95 por ciento en microaspersores espaciados entre 3 y 3.7 m.

Losada (1993) al probar un sistema de riego por goteo en Almería, España, probó que el agua aplicada por los microaspersores se ajustaban a la función de distribución de Gauss, lográndose una buena uniformidad y por lo tanto, una alta eficiencia en el riego.

Myers y Bucks (1972), concluyen que se puede obtener una buena uniformidad en el gasto, en sistemas de riego por goteo de baja presión usando emisores de diferentes diámetros para compensar las variaciones en presión sobre una línea lateral.

Por otro lado, Hanson (1973), al analizar los resultados de unas pruebas de laboratorio, encontró que las variaciones en el gasto de los emisores no se ven afectadas tan grandemente por las pérdidas de presión en el lateral sino por la variación en los emisores debido a tolerancias en su fabricación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en un terreno ubicado al Sureste del edificio "La Gloria" propiedad de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", durante los meses de Mayo, Junio y Julio de 1975.

Los materiales usados se enlistan a continuación así como un croquis de la disposición de los mismos sobre el terreno Figura 3.2.

Medidor de gasto.- Con capacidad de 20 m^3 , el cual se utilizó para aforar la cantidad de agua usada durante la prueba.

Válvula.- Del tipo de compuerta cuyo fin era el de regular la presión del agua a la entrada de los laterales.

Manómetros.- Los cuales se instalaron al inicio y final de cada lateral para obtener registros de la presión en ambos extremos de la tubería.

Tubería.- De polietileno de mediana densidad con diámetros internos de $1\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{2}$ pulgadas.

Goterros.- Se utilizaron dos marcas de goteros los cuales, para los propósitos de este trabajo se identificaran con las siglas S1 y S2. Figura 3.1.

Para determinar las propiedades de los goteros se tomará como base la clasificación que en base a sus características hacen Karmeli y Keller (1975).

Régimen de flujo: ambos goteros son de régimen totalmente turbulento.

Disipación de presión: de orificio. La presión es disipada cuando el agua es descargada por una pequeña boquilla.

Conexiones laterales: Sobre la línea.

Distribución del agua: goteros de orificio con un solo punto de emisión.

Sección transversal de flujo: sensitiva (Respecto a la sensibilidad al taponeamiento), el rango es entre 0.7 a 1.5 mm.

Características de limpieza: Manual.

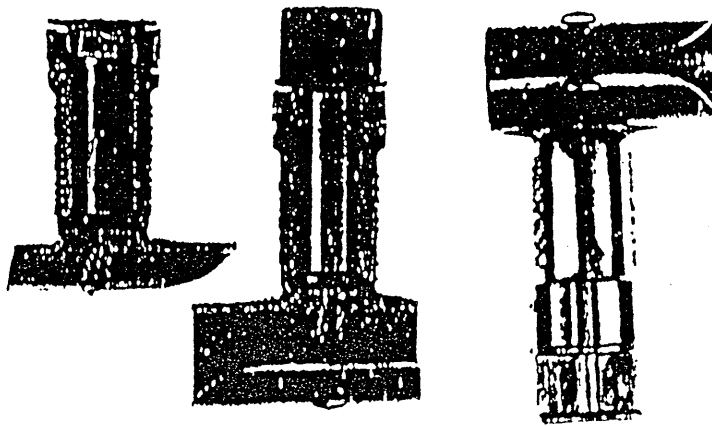
Compensación de presión: Goteros no compensadores.

Material de producción: S1, nylon; S2, polietileno.

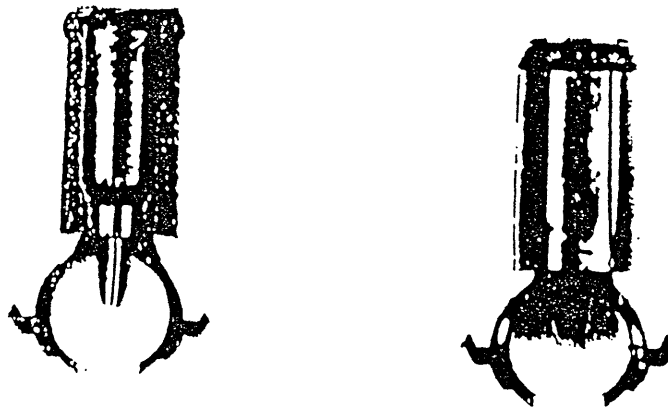
Perforadores.- Específicos para cada tipo de gotero.

Vasos de precipitado y probetas graduados.- de 250 a 500 milímetros respectivamente para recolectar y cuantificar el gasto de los emisores.

Termómetro de cinta.- Para obtener datos de la temperatura de la tubería al momento de la prueba.



Gotero del tipo S_1



Gotero del tipo S_2

Figura 3.1. Características de los emisores usados durante el presente trabajo.

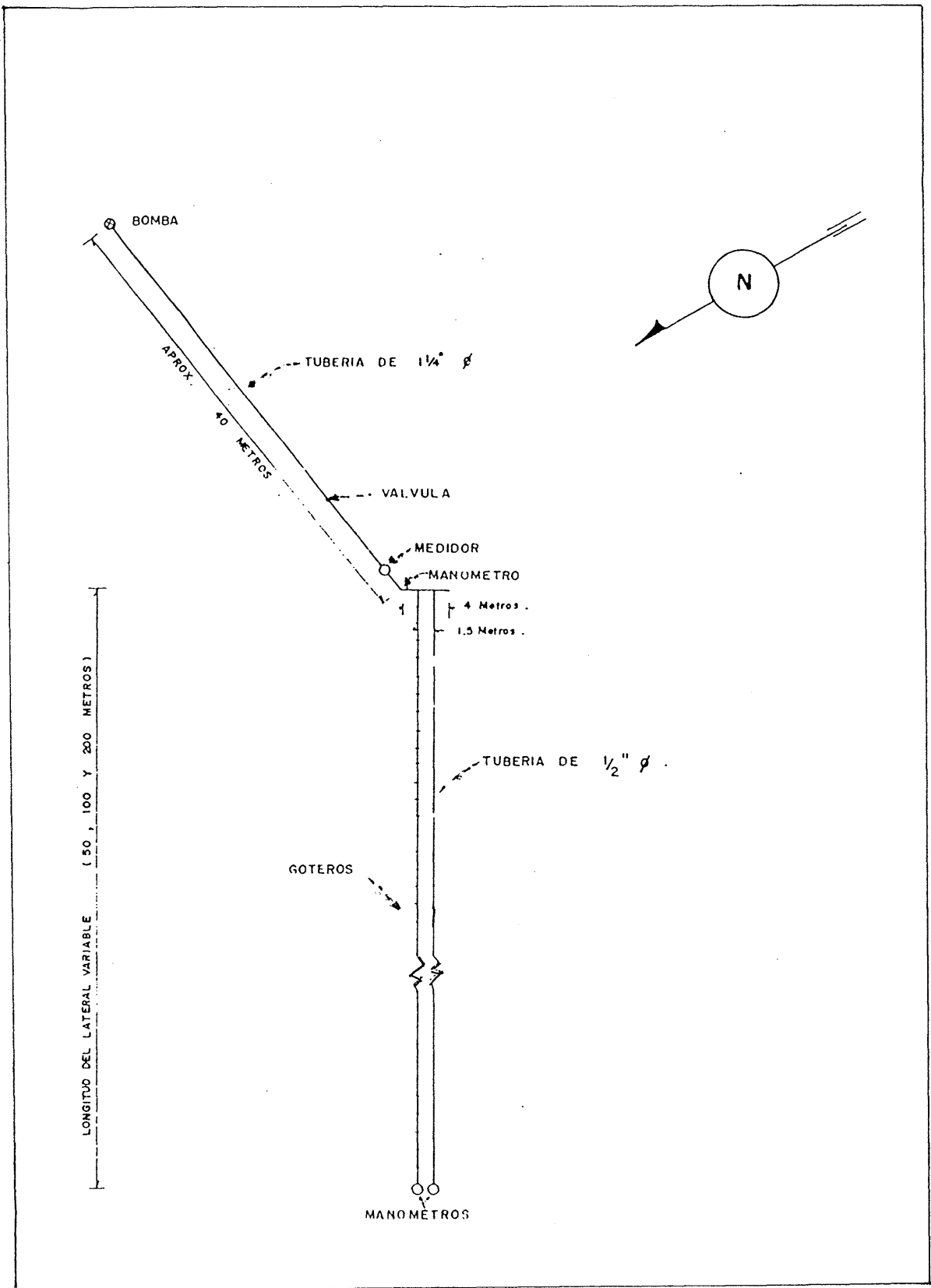


Figura 3.2. Disposición de los materiales en el terreno.

Procedimiento:

Primeramente se hizo la instalación de la tubería de conducción. Sobre esta misma y en ese orden, a partir de la bomba, se instalaron la válvula, el medidor de gasto y el manómetro (como se señala en el croquis) Figura 3.2.

A partir del manómetro se dejó un tramo de tubería principal de una longitud aproximada de 4 m, sobre la cual se insertaron las líneas laterales en forma perpendicular a ésta y con una separación de 1.50 m entre ellas. Se colocó una lateral para cada tipo de emisor debido a las diferencias en el tipo de inserción. El terreno sobre el cual descansaba la tubería estaba a nivel.

A continuación se procedió a colocar los goteros de acuerdo a las especificaciones de tratamientos que se detallan más adelante y por último al final de cada lateral se colocó un manómetro de características idénticas a aquel colocado al inicio de éstos.

Previamente a la ejecución de las pruebas sobre la distribución del gasto de los goteros en el lateral, se hizo un análisis de regresión con el fin de obtener una ecuación para estimar la temperatura del agua dentro del lateral a partir de la temperatura de la tubería. Este análisis se hizo con la tubería sin goteros tomando datos de la hora del día (de 7 a.m. a 7 p.m.), temperatura de la tubería (por medio de un termómetro de cinta) y de la temperatura del agua por medio de un termómetro (cuyo rango era de -10 a 250°C) colocado al final del lateral. Después de analizar los datos se obtuvo la siguiente ecuación de regresión.

$$Y_i = 11.942865 + 0.559180X_1 + 0.538303X_2 \dots \dots \dots (20)$$

$$r^2 = 0.846882$$

Donde:

Y_i = Temperatura del agua

X_1 = Temperatura de la tubería

X_2 = Hora del día

Para determinar la variación de gasto en la línea lateral se hicieron aforos volumétricos de los goteros, éstos se hacían recolectando el gasto de los goteros muestreados en un vaso de precipitado de 250 ml y de ahí se pasaba a una probeta graduada de 500 ml para obtener la lectura. El tiempo de aforo para cada gotero fue de 30 segundos, cada lectura con tres repeticiones. En la mayoría de los tratamientos solo se muestreo el 10 por ciento de los goteros, tomándolos en forma sistemática sobre el lateral (en algunos casos, como el de los goteros espaciados 6 m en un lateral de 50, se tomaron lecturas de todos los goteros).

La pérdida de carga en el lateral se obtuvo por la diferencia de lecturas entre los manómetros colocados al inicio y al final de cada lateral. Así mismo, se tomaron lecturas de la temperatura de la tubería (para estimar la del agua) con intervalos de treinta minutos.

Antes de efectuar las pruebas se dejó trabajar el sistema sin cerrar los extremos de la tubería con el fin de "cebar" el mismo y una vez cerrados éstos se le dejaba funcionando por un tiempo aproximado de 20 minutos para que se estabilizara así como para checar el funcionamiento de los goteros.

El análisis estadístico se hizo por medio de un arreglo en parcelas sub-sub divididas en un diseño completamente al azar del cual se hizo uno para cada tipo de gotero, constando de 48 tratamientos y tres repeticiones para cada uno.

Los análisis se hicieron con datos de coeficiente de uniformidad (C.V.) en porcentaje. Los tratamientos se detallan en el cuadro 3.1

Cuadro 3.1. Lista de tratamientos utilizados en el presente trabajo.

Longitud del lateral (M)	Espaciamiento entre goteros (M)	Presión (kg/cm ²)	Tratamiento
50	0.75	0.5	1
		1.0	2
		1.5	3
		2.0	4
	1.50	0.5	5
		1.0	6
		1.5	7
		2.0	8
	3.00	0.5	9
		1.0	10
		1.5	11
		2.0	12
	6.00	0.5	13
		1.0	14
		1.5	15
		2.0	16
0.75	0.5	17	
	1.0	18	
	1.5	19	
	2.0	20	
1.50	0.5	21	
	1.0	22	
	1.5	23	
	2.0	24	
3.00	0.5	25	
	1.0	26	
	1.5	27	
	2.0	28	
100	6.00	0.5	29
		1.0	30
		1.5	31
		2.0	32
0.75	0.5	33	
	1.0	34	
	1.5	35	
	2.0	36	
1.50	0.5	37	
	1.0	38	
	1.5	39	
	2.0	40	
200	3.00	0.5	41
		1.0	42
		1.5	43
		2.0	44

RESULTADOS

Las pérdidas de carga por fricción reales y teóricas, expresadas en metros, se reportan en los cuadros 4.1 y 4.2 para los tratamientos que incluyan goteros del tipo S1 y S2 respectivamente. Las pérdidas de carga teórica se calcularon por medio de la ecuación de Hazen-Williams (Ec. 8). El valor del coeficiente de rugosidad "C" usado en la ecuación anterior se tomó en base a lo escrito por Hanson (1973) quien reporta que los valores de "C" para tuberías de polietileno y PVC es normalmente de 150. Las pérdidas de carga reales se determinaron en base a la diferencia de lecturas entre los manómetros colocados al inicio y al final de la línea lateral. Los datos presentados en estos cuadros nos permiten observar las diferencias que hay entre los valores de pérdida de carga obtenidos a partir de la ecuación, en forma teórica y los obtenidos en forma real durante el desarrollo de este trabajo. En algunos casos las diferencias encontradas alcanzan valores mayores de los cuatro metros, lo cual en un sistema de riego que trabaja a bajas presiones puede afectar grandemente en su diseño.

Los valores del coeficiente "C", de la ecuación Hazen-Williams se obtuvieron despejando el valor de "C" de la misma. Lo anterior solo se hizo para los tratamientos que reportaron pérdidas de cargas reales y se reporta en el cuadro 4.3 para goteros del tipo S1, en la cual se puede ver la diferencia tan grande que hay con respecto al valor de 150 usado para calcular las pérdidas de carga por fricción teóricas, ya que se obtuvieron valores del coeficiente de

fricción "C" que van desde 64 hasta 356. En el caso de los tratamientos que incluían goteros del tipo S2, cuyos valores de "C" se obtuvieron por el procedimiento antes descrito, se observa un caso bastante similar, ya que los valores van desde 56 a 325 y éstos se encuentran enlistados en el cuadro 4.4.

Los valores de número de Reynolds encontrados presentan una gran variabilidad ya que hay valores tan pequeños como 2,290 y tan altos como 20,269. Sin embargo, como se puede ver en la figura 4.1, del total de 48 tratamientos solo 7 presentaron regimenes de flujo parcialmente ($4000 > Re > 10000$) turbulento ($Re > 10000$).

La variación del gasto de los goteros del tipo S1 de acuerdo a la presión se puede ver en la figura 4.2, en la cual hay tres gráficas para longitudes de lateral de 50, 100 y 200 metros. Los números al final de cada línea representan el espaciamiento entre goteros.

Se observa una tendencia general a la disminución del gasto promedio por emisor a medida que se incrementa el número de goteros por línea y la longitud del lateral. Los goteros espaciados seis metros tienen el gasto promedio más alto, por el contrario, aquellos espaciados 75 centímetros reportan los gastos más pequeños, en el único caso en que no se sigue la tendencia antes descrita es en el lateral de 50 metros, sin embargo, no existe una gran diferencia en gasto al variar el espaciamiento entre goteros.

Cuadro 4.1 Comparación entre las pérdidas de carga reales y
tóricas para goteros del tipo S₁

Longitud del Lateral (m)	Esp. entre goteros (m)	Presión (kg/cm ²)	Hf Teórico (m)	Hf Real (m)
50	0.75	0.5	0.17	0.00
50	0.75	1.0	0.42	0.00
50	0.75	1.5	0.78	0.00
50	0.75	2.0	1.02	2.00
50	1.50	0.5	0.08	0.00
50	1.50	1.0	0.31	0.00
50	1.50	1.5	0.33	0.00
50	1.50	2.0	0.47	2.00
50	3.00	0.5	0.04	0.00
50	3.00	1.0	0.04	0.00
50	3.00	1.5	0.15	0.50
50	3.00	2.0	0.23	0.50
50	6.00	0.5	0.08	0.00
50	6.00	1.0	0.12	0.00
50	6.00	1.5	0.15	0.00
50	6.00	2.0	0.28	0.00
100	0.75	0.5	1.02	1.50
100	0.75	1.0	2.46	3.50
100	0.75	1.5	3.20	5.50
100	0.75	2.0	4.91	7.50
100	1.50	0.5	0.33	0.50
100	1.50	1.0	0.58	1.00
100	1.50	1.5	2.01	2.00
100	1.50	2.0	2.50	3.00
100	3.00	0.5	0.09	0.00
100	3.00	1.0	0.43	0.00
100	3.00	1.5	0.65	0.00
100	3.00	2.0	0.73	0.00
100	6.00	0.5	0.27	0.00
100	6.00	1.0	0.30	1.00
100	6.00	1.5	0.33	0.00
100	6.00	2.0	0.42	1.00
200	0.75	0.5	3.09	3.50
200	0.75	1.0	6.50	7.00
200	0.75	1.5	7.79	11.00
200	0.75	2.0	11.25	15.00
200	1.50	0.5	2.38	1.00
200	1.50	1.0	4.10	3.50
200	1.50	1.5	6.32	6.50
200	1.50	2.0	8.98	8.50
200	3.00	0.5	1.52	0.50
200	3.00	1.0	2.72	1.00
200	3.00	1.5	5.64	1.00
200	3.00	2.0	6.41	2.00
200	6.00	0.5	0.18	0.00
200	6.00	1.0	0.84	0.50
200	6.00	1.5	1.80	0.00
200	6.00	2.0	3.68	0.00

Cuadro 4.2 Comparación entre las pérdidas de carga reales y teóricas para goteros del tipo S₂.

Longitud del lateral (m)	Esp. entre Goteros (m)	Presión (kg/cm ²)	Hf Teórico (m)	Hf Real (m)
50	0.75	0.5	0.17	0.00
50	0.75	1.0	0.42	1.00
50	0.75	1.5	0.78	1.00
50	0.75	2.0	1.02	4.00
50	1.50	0.5	0.08	0.00
50	1.50	1.0	0.31	0.00
50	1.50	1.5	0.33	0.00
50	1.50	2.0	0.47	2.00
50	3.00	0.5	0.04	0.00
50	3.00	1.0	0.04	0.00
50	3.00	1.5	0.15	0.50
50	3.00	2.0	0.23	0.00
50	6.00	0.5	0.08	0.00
50	6.00	1.0	0.12	0.00
50	6.00	1.5	0.15	0.50
50	6.00	2.0	0.28	0.50
100	0.75	0.5	1.02	0.50
100	0.75	1.0	2.46	2.50
100	0.75	1.5	3.20	4.00
100	0.75	2.0	4.91	7.00
100	1.50	0.5	0.33	0.50
100	1.50	1.0	0.58	1.00
100	1.50	1.5	2.01	2.00
100	1.50	2.0	2.50	2.50
100	3.00	0.5	0.09	0.00
100	3.00	1.0	0.43	0.00
100	3.00	1.5	0.65	0.50
100	3.00	2.0	0.73	0.50
100	6.00	0.5	0.27	1.00
100	6.00	1.0	0.30	1.00
100	6.00	1.5	0.33	0.00
100	6.00	2.0	0.42	1.00
200	0.75	0.5	3.09	2.50
200	0.75	1.0	6.50	6.00
200	0.75	1.5	7.79	10.00
200	0.75	2.0	11.25	13.50
200	1.50	0.5	2.38	0.50
200	1.50	1.0	4.10	3.00
200	1.50	1.5	6.32	5.50
200	1.50	2.0	8.98	8.00
200	3.00	0.5	1.52	0.50
200	3.00	1.0	2.72	1.00
200	3.00	1.5	5.64	1.00
200	3.00	2.0	6.41	3.00
200	6.00	0.5	0.18	1.00
200	6.00	1.0	0.84	2.00
200	6.00	1.5	1.80	0.50
200	6.00	2.0	3.68	2.00

Los datos anteriores se graficaron en papel logarítmico a fin de lograr una recta y de ahí deducir una ecuación de la forma $Q = HK^x$ que, de acuerdo a Howell y Hiler (1974), representa la tasa de flujo del emisor y donde Q , es la tasa de flujo del emisor, lph; H , es la presión en el emisor en lpc; K , es la tasa de flujo del emisor a una presión de 1 lpc. (intersección de la recta con el eje de ordenadas) y x , es la pendiente de la línea. Esta recta esta representada en la figura 4.3 y la ecuación del flujo del emisor S1 obtenida por este procedimiento es:

$$Q = 0.72 H^{0.59} \dots\dots\dots (21)$$

En el caso de los goteros S2, también se graficaron los valores de presión contra gasto, los resultados se representan en la figura 4.4, a diferencia de los goteros S1, los de tipo S2 no mostraron una tendencia general muy marcada, salvo para los tratamientos en los cuales estaban espaciados a 75 cm, los que siempre presentaron una tasa de gasto menor que los demás.

Los datos para este tipo de goteros también se graficaron en papel logarítmico y la recta obtenida se puede observar en la figura 4.5. La tasa de flujo del emisor S2 está determinada por la ecuación.

$$Q = 0.71 H^{0.56} \dots\dots\dots (22)$$

Nótese la gran similitud que existe entre las ecuaciones de ambos tipos de goteros.

Caudro 4.3 Valores del coeficiente "C" de la ecuación de Hazen-Williams para goteros del tipo S₁

Longitud del Lateral (m)	Esp. entre goteros (m)	Presión (kg/cm ²)	"C"
50	0.75	2.0	97.51
50	1.50	2.0	64.59
50	3.00	1.5	73.95
50	3.00	2.0	93.42
100	0.75	0.5	114.11
100	0.75	1.0	115.68
100	0.75	1.5	104.55
100	0.75	2.0	111.33
100	1.50	0.5	113.23
100	1.50	1.0	105.09
100	1.50	1.5	140.49
100	1.50	2.0	126.81
100	6.00	1.0	73.95
100	6.00	2.0	87.58
200	0.75	0.5	130.87
200	0.75	1.0	134.47
200	0.75	1.5	116.16
200	0.75	2.0	119.85
200	1.50	0.5	192.86
200	1.50	1.0	152.44
200	1.50	1.5	137.91
200	1.50	2.0	144.22
200	3.00	0.5	255.27
200	3.00	1.0	240.60
200	3.00	1.5	356.65
200	3.00	2.0	262.72
200	6.00	1.0	185.28

Cuadro 4.4 Valores del coeficiente "C" de la ecuación de Hazen-Williams para goteros del tipo S₂.

Longitud del Lateral (m)	Esp. entre Goteros (m)	Presión (kg/cm ²)	"C"
50	0.75	1.0	88.31
50	0.75	2.5	123.10
50	0.75	2.0	67.04
50	1.50	2.0	64.39
50	3.00	1.5	73.95
50	6.00	2.0	103.15
100	0.75	0.5	206.64
100	0.75	1.0	138.76
100	0.75	1.5	124.19
100	0.75	2.0	115.56
100	1.50	0.5	113.23
100	1.50	1.0	105.09
100	1.50	1.5	140.49
100	1.50	2.0	139.94
100	3.00	1.5	161.35
100	3.00	2.0	172.67
100	6.00	0.5	70.76
100	6.00	1.0	73.95
100	6.00	2.0	87.58
200	0.75	0.5	156.98
200	0.75	1.0	146.15
200	0.75	1.5	122.31
200	0.75	2.0	126.87
200	1.50	0.5	325.25
200	1.50	1.0	165.69
200	1.50	1.5	150.94
200	1.50	2.0	149.02
200	3.00	0.5	255.27
200	3.00	1.0	240.60
200	3.00	1.5	356.55
200	3.00	2.0	211.02
200	6.00	0.5	56.61
200	6.00	1.0	87.58
200	6.00	1.5	279.97
200	6.00	2.0	314.30

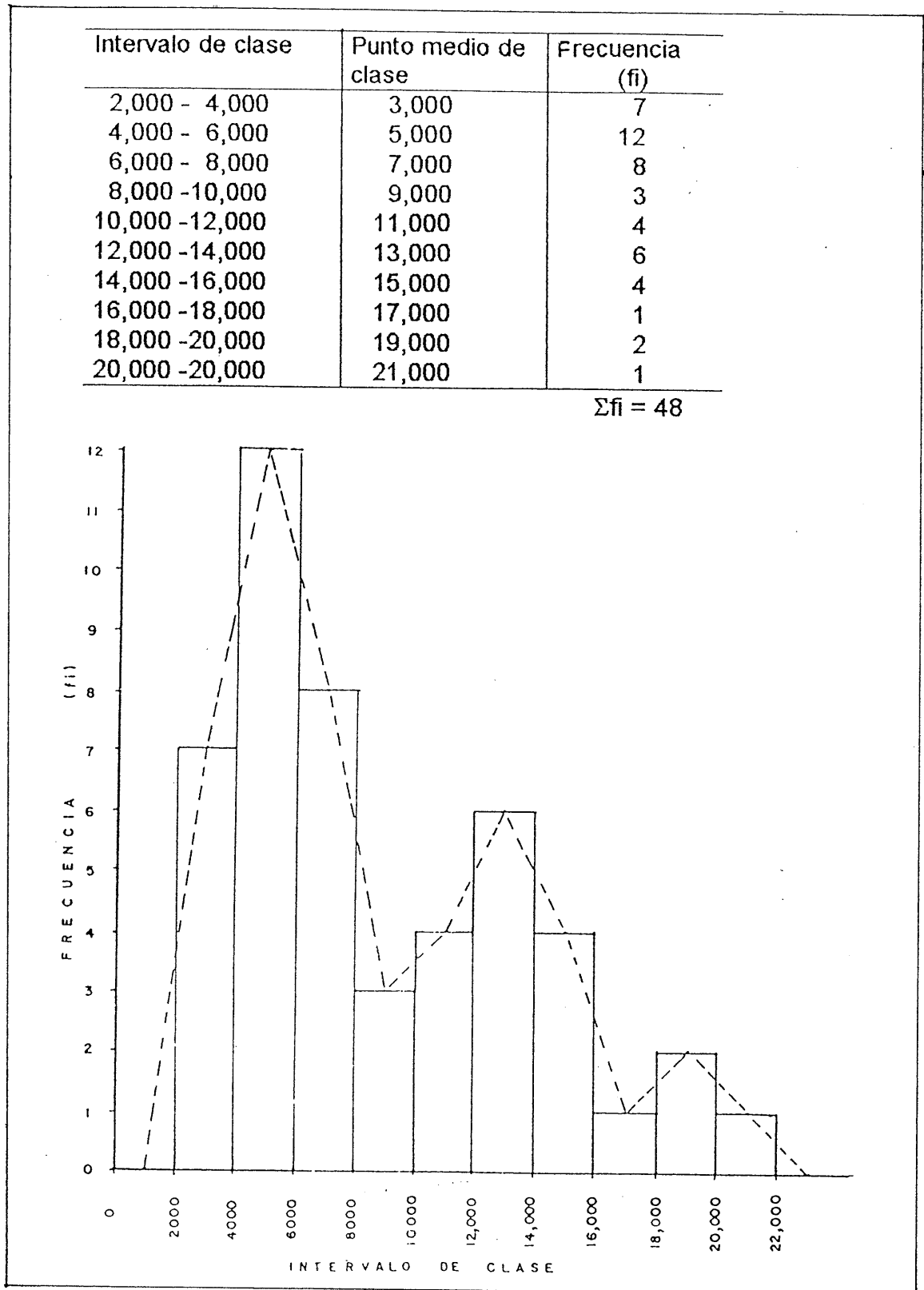


Figura 4.1 Histograma y polígono de frecuencia para los datos de número de Reynolds.

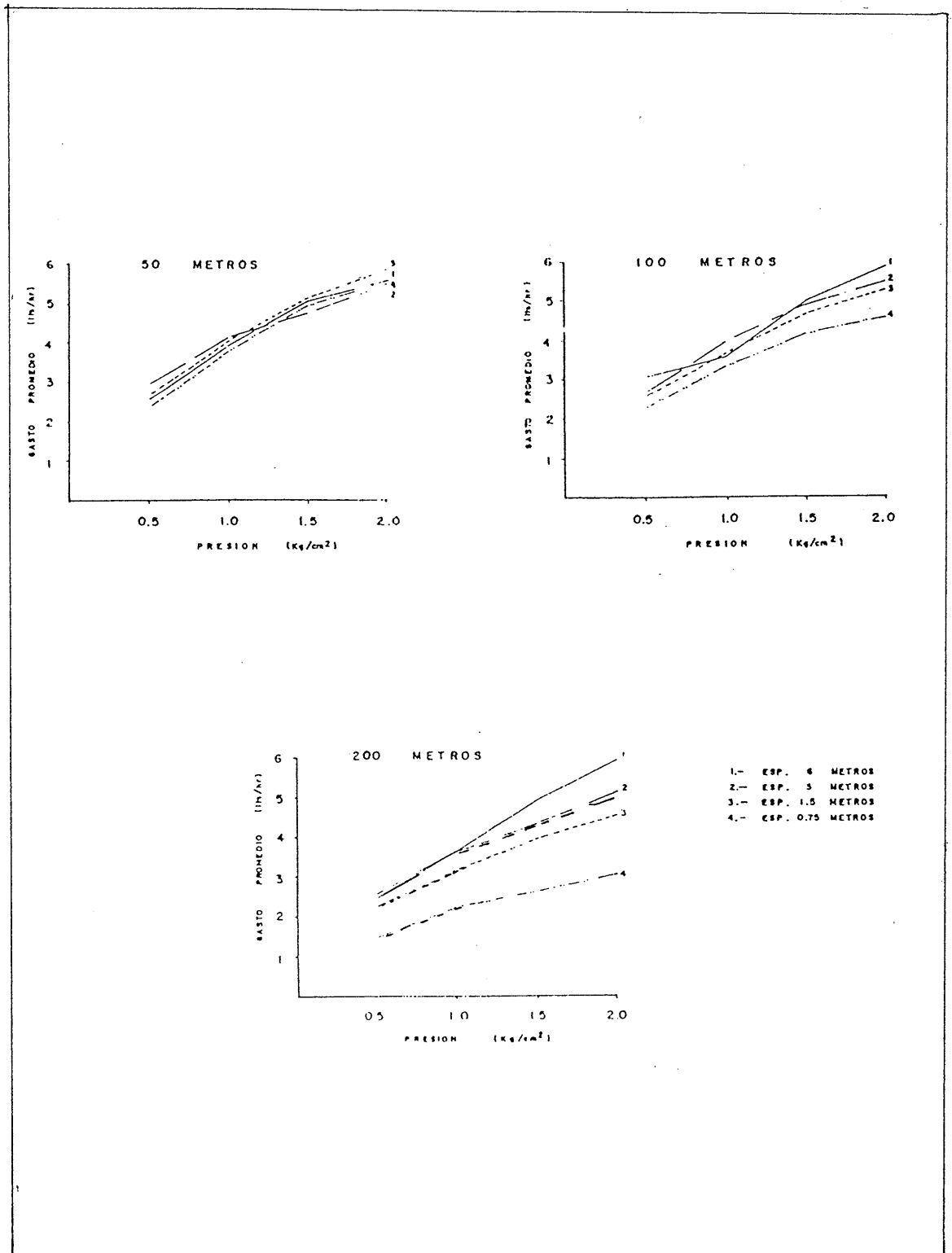


Figura 4.2 Variación del gasto de acuerdo a la presión para diferentes espaciamientos entre goteros del tipo S1, insertados en tubería de 50, 100 y 200 metros de longitud.

La figura 4.6 representa la distribución del gasto de los goteros del tipo S2 sobre la línea lateral a partir de la fuente o línea principal, para un lateral de 50 m de longitud y con diversos espaciamientos entre emisores. Como se puede ver, el tratamiento de la gráfica (4) en el cual los goteros se espaciaron 0.75 m fue el que reportó menor variación en el gasto con respecto a la media, en los demás casos, se observan ciertos puntos de emisión en los que los datos se desvían considerablemente del promedio (línea punteada). Lo cual hace que el coeficiente de uniformidad disminuya considerablemente.

La figura 4.7 representa la distribución del gasto a partir de la fuente para un lateral de 100 m. En este caso los puntos de emisión muestreados reportan variaciones bastante considerables, solo en el caso de la gráfica (3) se observa cierto grado de uniformidad.

Para el mismo tipo de gotero S1 pero insertados en un lateral de 200 m, se observa en general una mayor uniformidad en el gasto de goteros muestreados. En las gráficas (3) y (4) de la figura 4.8 solo se observa un punto en el que el gasto se desvía considerablemente de la media.

La distribución del gasto de los goteros del tipo S2 para la longitud de lateral de 50 m, se puede ver en la figura 4.9. Las cuatro gráficas de ésta reportan variaciones bastante considerables con respecto a la media. Indudablemente esto traerá como consecuencia una disminución considerable en los valores de coeficiente de uniformidad.

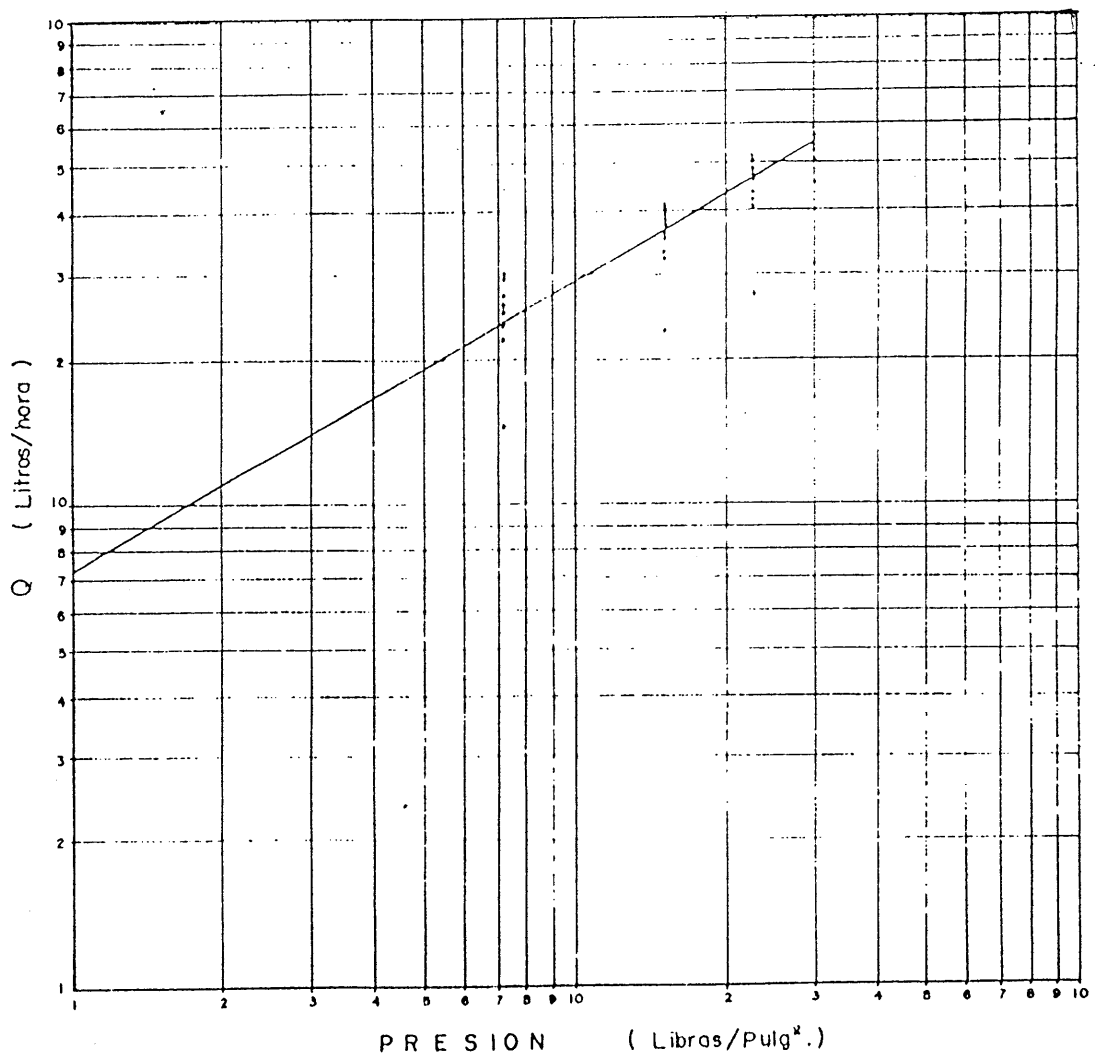


Figura 4.3. Función del flujo del emisor del tipo S1.

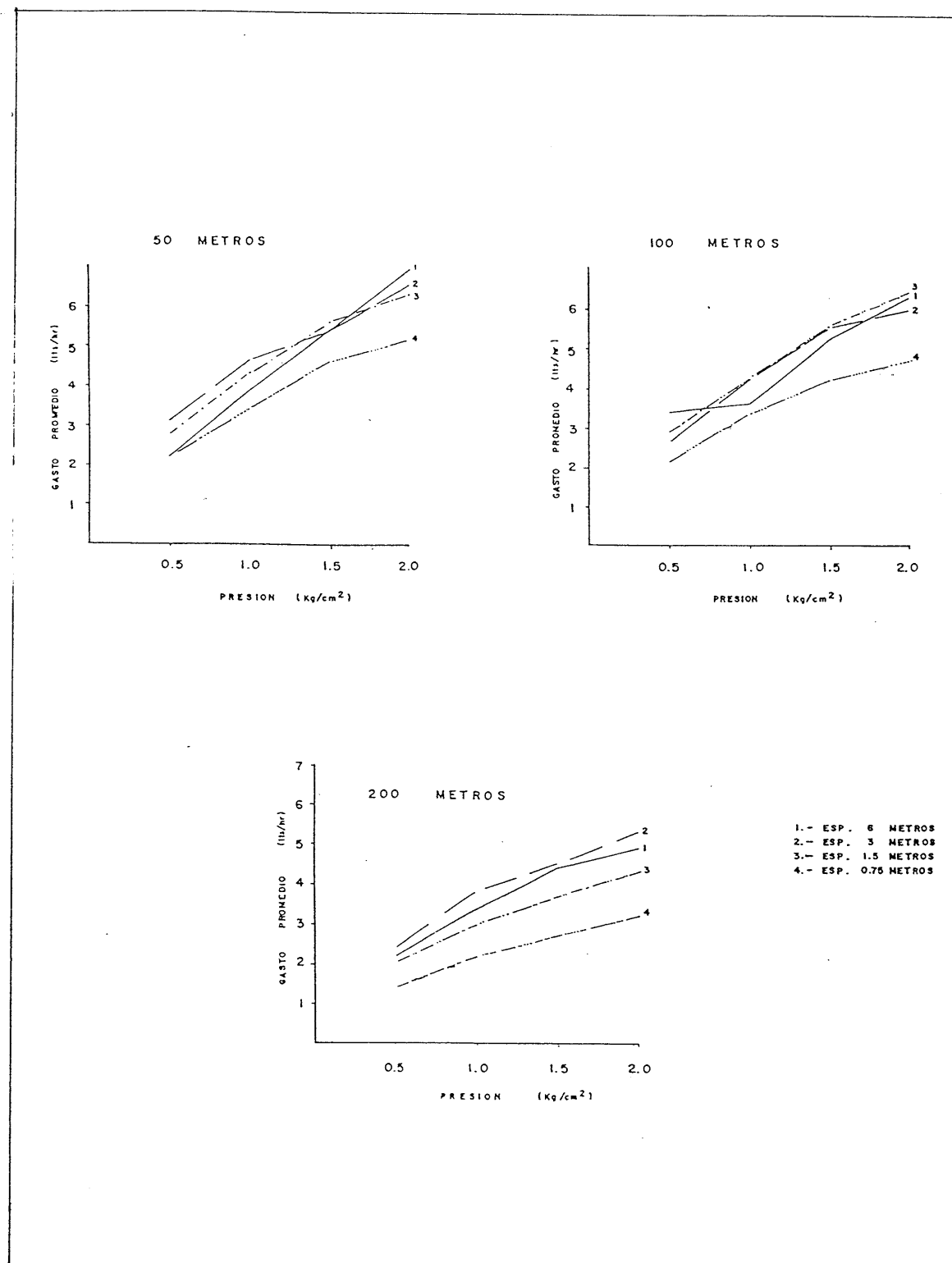


Figura 4.4. Variación del gasto de acuerdo a la presión para diferentes espaciamientos entre goteros del tipo S2, insertados en tubería de 50, 100 y 200 metros de longitud.

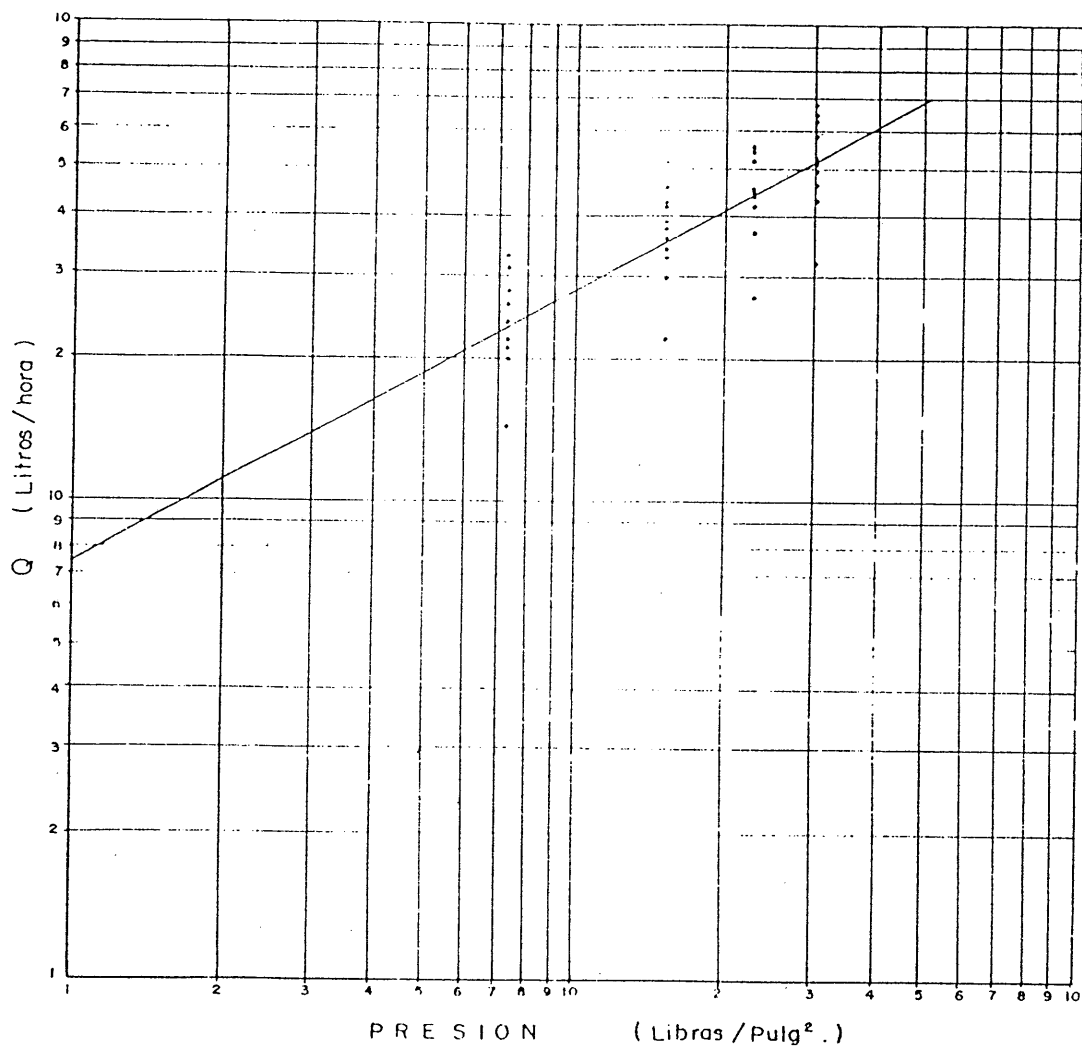


Figura 4.5. Función de flujo del emisor del tipo S2.

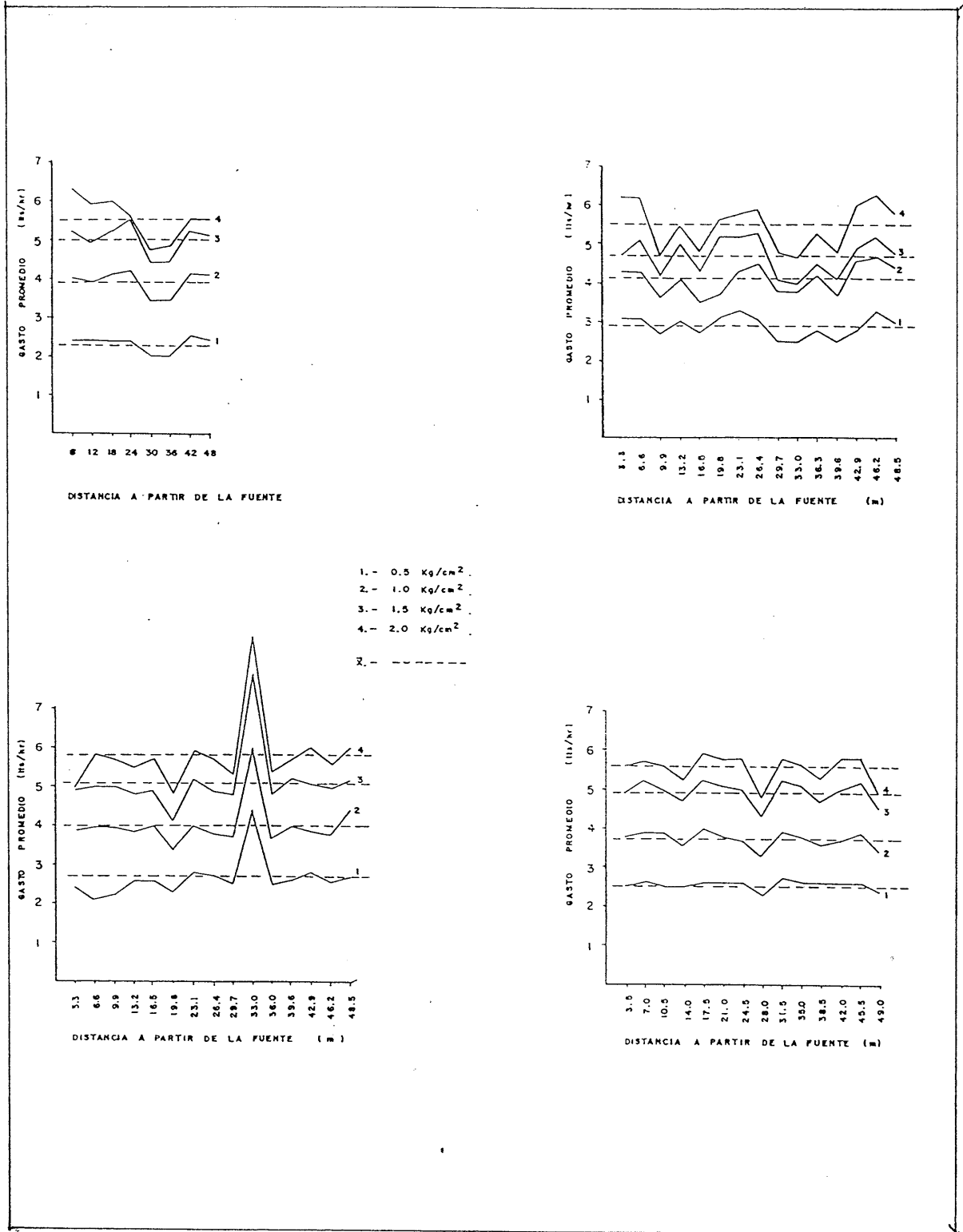


Figura 4.6. Distribución del gasto a partir de la fuente para un lateral de 50 m. Tipo de gotero S1.

Para la longitud de lateral de 100 m, el comportamiento de los goteros S2 al igual que en el caso anterior reporta grandes desviaciones con respecto a la media para las cuatro gráficas, lo cual da una clara idea de los goteros muestreados y se reporta en la figura 4.10.

La última consideración sobre la distribución del gasto se puede ver en la figura 4.11 y corresponde a goteros del tipo S2 con una longitud de lateral de 200 m. En esta figura la gráfica (4) incluye los tratamientos con más alto coeficiente de uniformidad con respecto a las gráficas de las dos anteriores figuras.

Para obtener los valores usados en las figuras de la 4.6 a la 4.11 no se aforó el gasto de todos los emisores, solo se muestreó un porcentaje de los mismos que correspondiera a goteros del tipo S1, en la cual se puede ver la diferencia tan grande que hay con respecto al valor de 150 usado para calcular las pérdidas de carga por fricción teóricas, ya que se obtuvieron valores del coeficiente de fricción "C" que van desde 64 hasta 356. En el caso de los tratamientos que incluían goteros del tipo S2, cuyos valores de "C" se obtuvieron por el procedimiento antes descrito, se observa un caso bastante similar, ya que los valores reportados van desde 56 a 325 y éstos se encuentran enlistados en el cuadro 4.4.

Los valores de Número de Reynolds encontrados presentan una gran variabilidad ya que hay valores tan pequeños como 2,290 y tan altos como 20,269. Sin embargo, como se puede ver en la figura 4.1, del total de 48 tratamientos solo siete presentaron regimen transicional ($2000 > Re > 4000$), los restantes mostraron regimenes de flujo de turbulento a completamente turbulento ($Re > 4000$).

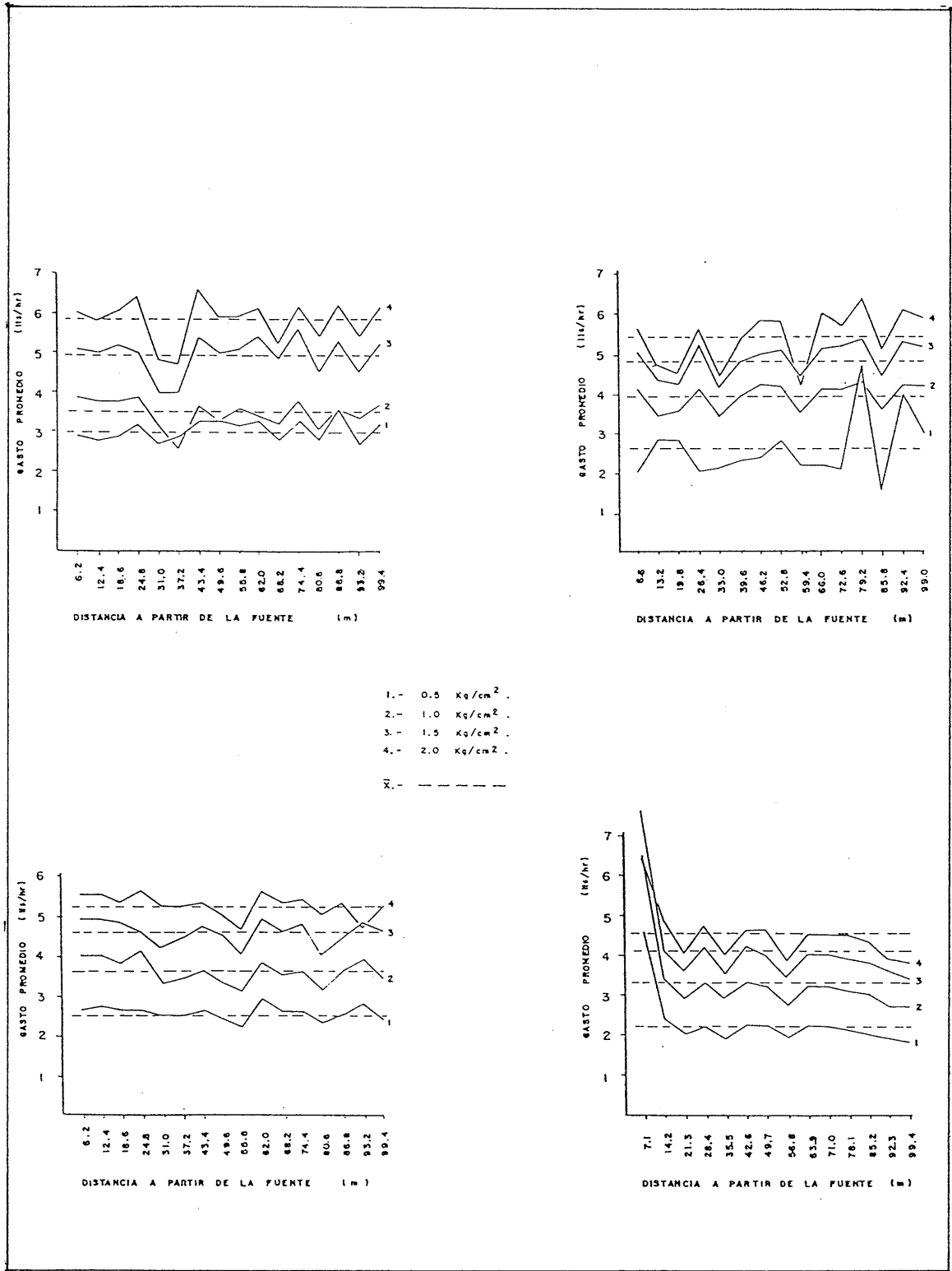


Figura 4.7. Distribución del gasto a partir de la fuente para un lateral de 100 m.
 Tipo de gotero S₁.

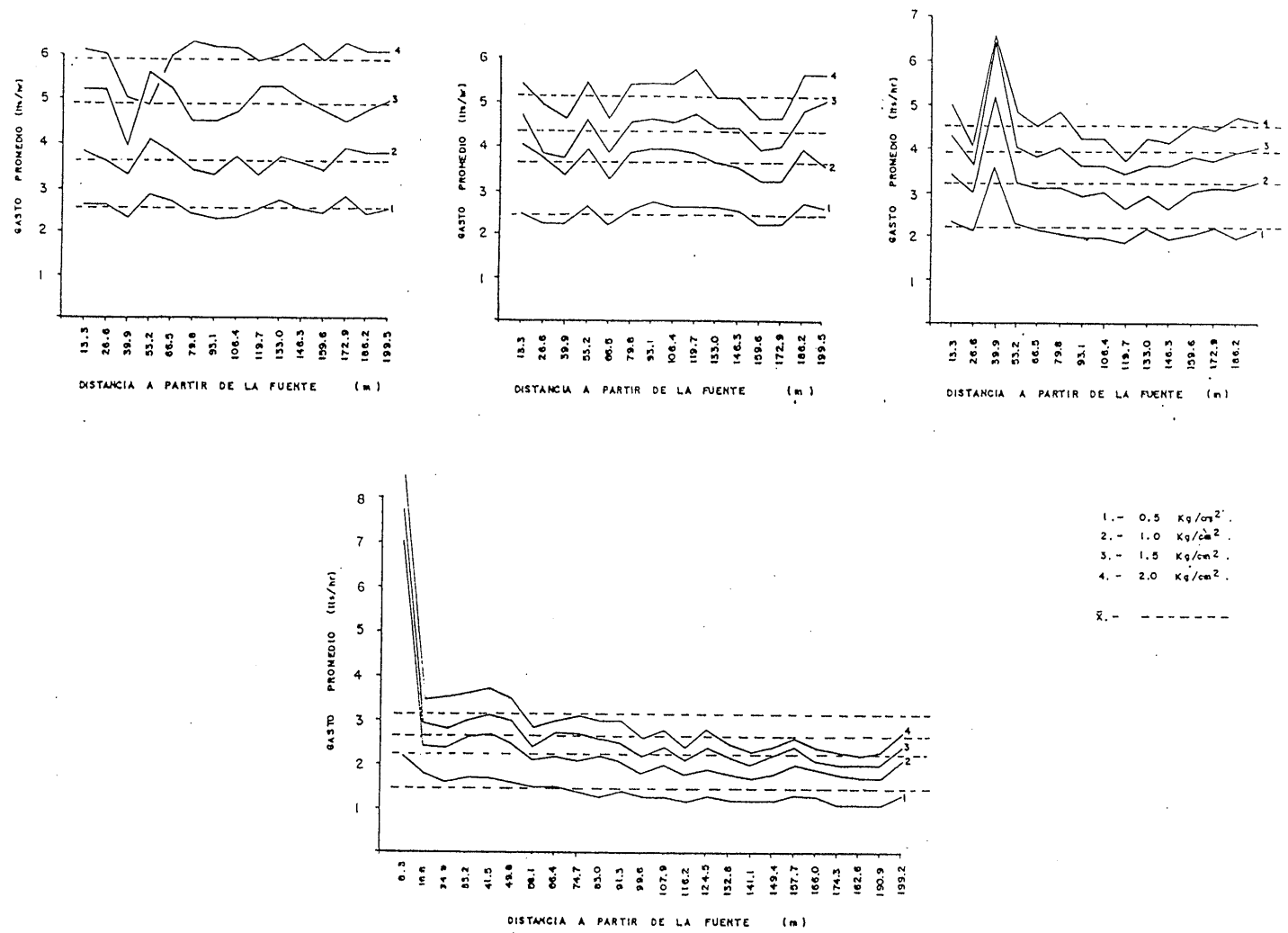


Figura 4.8. Distribución del gasto a partir de la fuente para un lateral de 200 m.

Tipo de gotero S1.

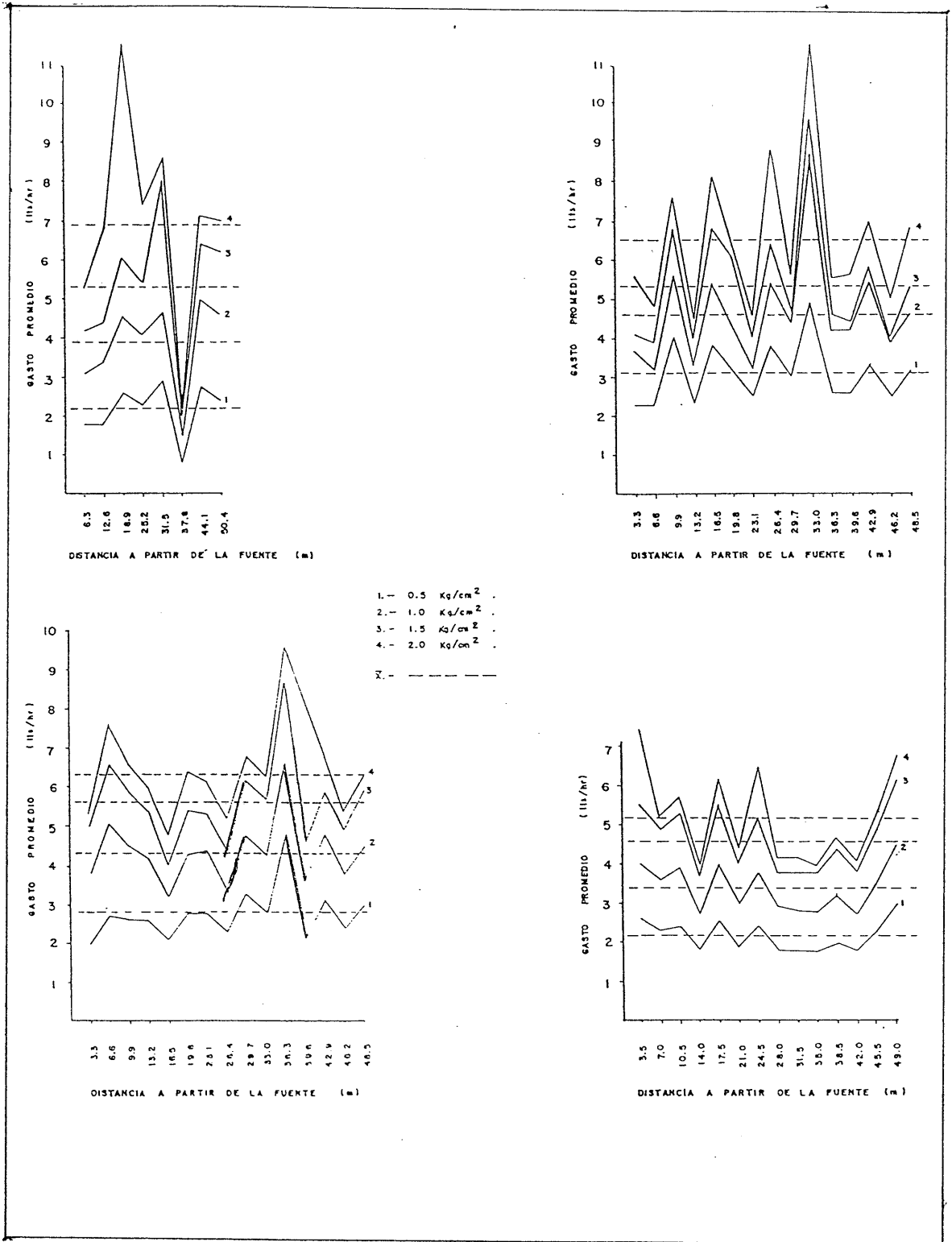


Figura 4.9. Distribución del gasto a partir de la fuente para un lateral de 50 m.

Tipo de gotero S2.

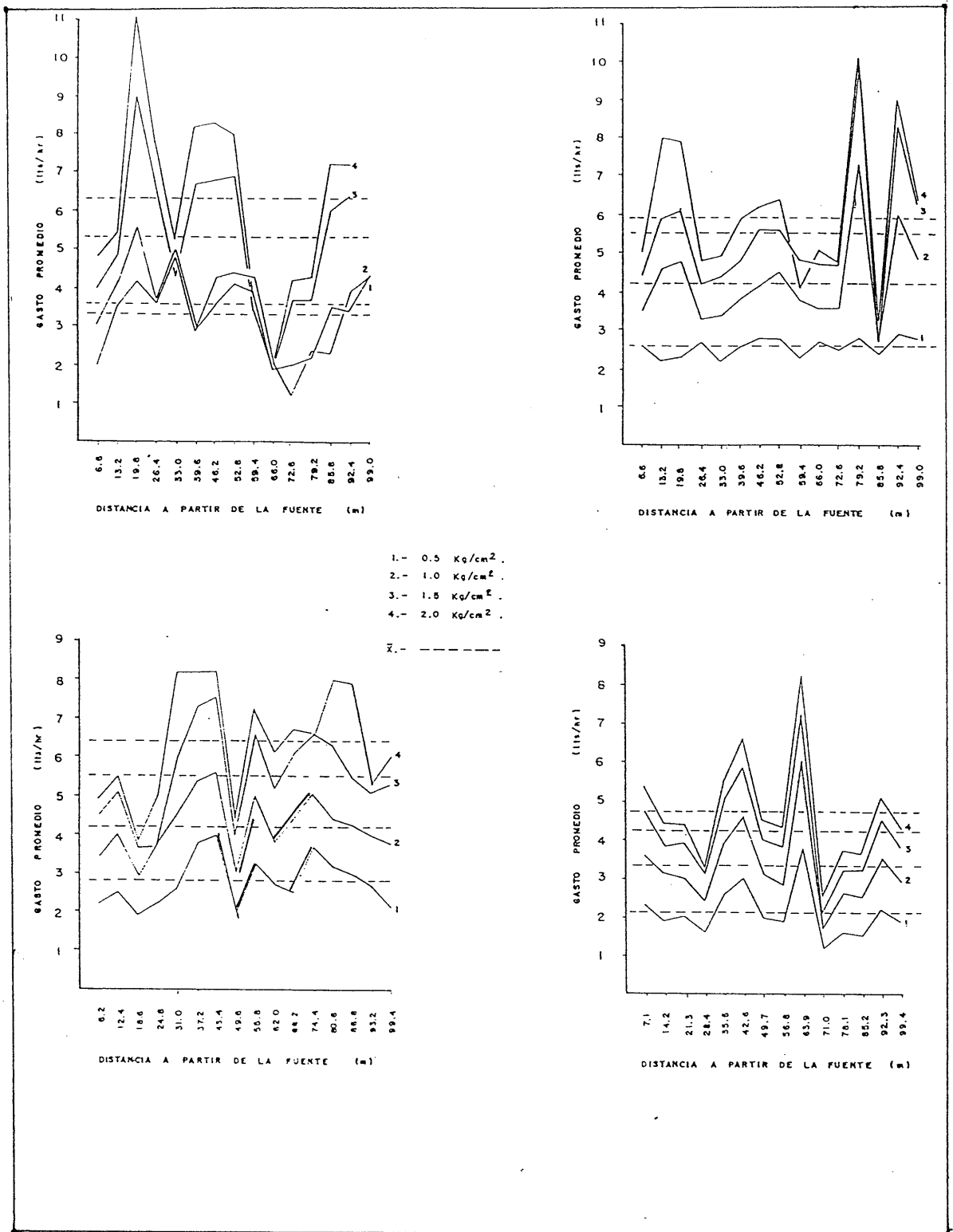


Figura 4.10. Distribución del gasto a partir de la fuente para un lateral de 100 m.

Tipo del gotero S2.

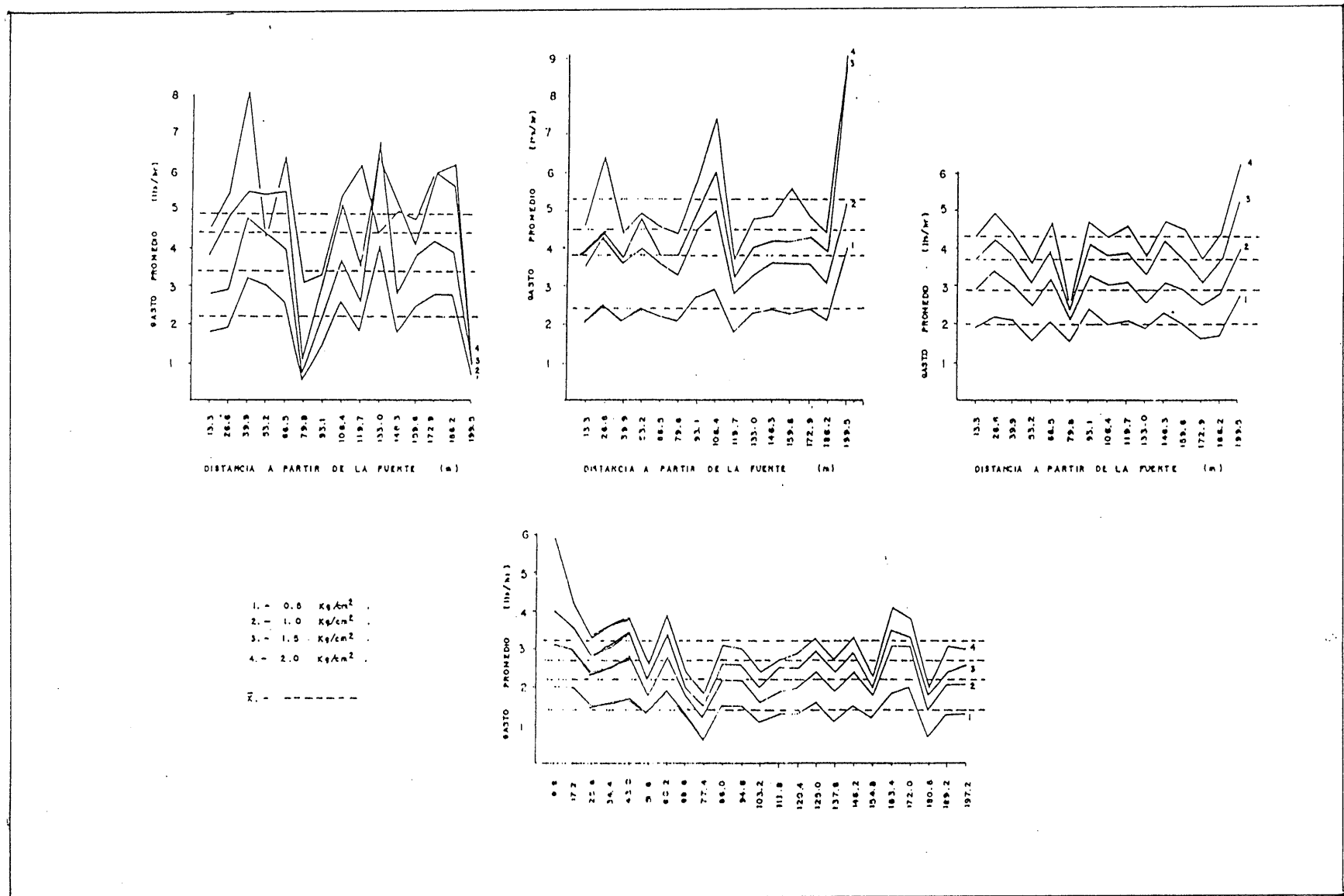


Figura 4.11. Distribución del gasto a partir de la fuente para un lateral de 200 m.

Tipo del gotero S2.

La variación del gasto de los goteros del tipo S1 de acuerdo a la presión se puede ver en la figura 4.2, en la cual hay tres gráficas para longitudes de lateral de 50, 100 y 200 metros. Los números al final de cada línea representan el espaciamiento entre goteros.

Se observa una tendencia general a la disminución del gasto promedio por emisor a medida que se incrementa el número de goteros por línea y la longitud del lateral, los goteros 10 por ciento o más del total de los goteros insertados en la línea lateral.

El coeficiente de uniformidad (C.U.) se obtuvo a partir de la ecuación de Christiansen:

$$C_u = 1 - \frac{\overline{\Delta q}}{\bar{q}} \dots\dots\dots (23)$$

Donde:

C.U. = coeficiente de uniformidad, porcentaje

$\overline{\Delta q}$ = desviación media de los gastos con respecto a la media.

\bar{q} = gasto promedio, lph.

El cuadro 4.5 reporta los resultados de coeficiente de uniformidad obtenidos para goteros del tipo S1, en la cual se puede observar que hay valores tan altos como 96 y tan bajos como 77.

Usando el mismo procedimiento se determinó también el C.U. para goteros del tipo S2 y los resultados se encuentran en el cuadro 4.6. El valor más alto alcanzado es de 91 y el más bajo de 66 por ciento.

Se determinó el coeficiente de variabilidad para los datos de tratamientos que incluían goteros del tipo S1 por medio de la fórmula:

$$C.V. = \frac{S}{\bar{x}} \times 100 \dots\dots\dots (24)$$

Donde:

C.V. = coeficiente de variabilidad, porciento

s = desviación estandar

\bar{x} = media de los gastos o caudales

Cuadro 4.5 Valores del coeficiente de uniformidad obtenidos en los tratamientos en los que se utilizaron goteros del tipo S₁.

Longitud del lateral (m)	Esp. entre goteros (m)	Presión (kg/cm ²)	Media del gasto (l/h)	Coeficiente de uniformidad (%)
50	0.75	0.5	2.5843	96.8733
50	0.75	1.0	3.7714	95.8571
50	0.75	1.5	4.9857	95.2346
50	0.75	2.0	5.6043	94.9597
50	1.50	0.5	2.6987	89.9333
50	1.50	1.0	4.0707	91.3958
50	1.50	1.5	5.1480	92.0947
50	1.50	2.0	5.8333	91.3238
50	3.00	0.5	2.9467	91.6348
50	3.00	1.0	4.1320	91.9192
50	3.00	1.5	4.7427	91.5542
50	3.00	2.0	5.5293	90.6278
50	6.00	0.5	2.3625	93.1434
50	6.00	1.0	3.9375	94.0797
50	6.00	1.5	5.0400	93.8081
50	6.00	2.0	5.5750	92.0450
100	0.75	0.5	2.2886	84.8391
100	0.75	1.0	3.3371	85.4134
100	0.75	1.5	4.1400	87.0414
100	0.75	2.0	4.5114	90.7179
100	1.50	0.5	2.5888	94.4108
100	1.50	1.0	3.6400	92.6359
100	1.50	1.5	4.6162	94.6619
100	1.50	2.0	5.2663	95.2395
100	3.00	0.5	2.6413	77.0213
100	3.00	1.0	3.9733	92.5414
100	3.00	1.5	4.8880	91.8319
100	3.00	2.0	5.4480	89.3100
100	6.00	0.5	3.0888	92.4725
100	6.00	1.0	3.5400	91.6546
100	6.00	1.5	4.9950	92.1805
100	6.00	2.0	5.8450	92.7615
200	0.75	0.5	1.4433	85.6542
200	0.75	1.0	2.2958	78.1953
200	0.75	1.5	2.6975	79.3901
200	0.75	2.0	3.1017	78.8921
200	1.50	0.5	2.2627	90.3229
200	1.50	1.0	3.2027	90.1146
200	1.50	1.5	3.9933	89.8281
200	1.50	2.0	4.5893	91.3204
200	3.00	0.5	2.5160	93.3764
200	3.00	1.0	3.6653	92.8308
200	3.00	1.5	4.3853	91.5847
200	3.00	2.0	5.1867	93.3090
200	6.00	0.5	2.5627	93.4353
200	6.00	1.0	3.6760	93.7053
200	6.00	1.5	4.9453	92.6682
200	6.00	2.0	5.9987	95.0400

Cuadro 4.6. Valores del coeficiente de uniformidad obtenidos en los tratamientos en que se utilizaron goteros del tipo S₂.

Longitud del lateral (m)	Esp. entre goteros (m)	Presión (kg/cm ²)	Media del gasto (l/h)	Coefficiente de Uniformidad (%)
50	0.75	0.5	2.2200	85.0728
50	0.75	1.0	3.4300	84.9644
50	0.75	1.5	4.6543	84.7177
50	0.75	2.0	5.2243	81.4879
50	1.50	0.5	2.8053	83.8429
50	1.50	1.0	4.3733	87.0489
50	1.50	1.5	5.6209	86.2565
50	1.50	2.0	6.3120	86.8470
50	3.00	0.5	3.1120	80.1287
50	3.00	1.0	4.6560	79.0232
50	3.00	1.5	5.3813	76.8082
50	3.00	2.0	6.5253	77.6710
50	6.00	0.5	2.2150	76.6965
50	6.00	1.0	3.9075	76.5805
50	6.00	1.5	5.3800	74.4413
50	6.00	2.0	6.9500	75.6371
100	0.75	0.5	2.1429	77.5329
100	0.75	1.0	3.3114	77.1237
100	0.75	1.5	4.2043	78.0543
100	0.75	2.0	4.7571	78.2158
100	1.50	0.5	2.8113	81.0909
100	1.50	1.0	4.2425	84.9765
100	1.50	1.5	5.5650	82.6250
100	1.50	2.0	6.4037	80.5451
100	3.00	0.5	2.6187	91.9461
100	3.00	1.0	4.2867	79.5955
100	3.00	1.5	5.5351	77.3861
100	3.00	2.0	5.9700	77.1308
100	6.00	0.5	3.3707	77.2056
100	6.00	1.0	3.6053	72.8931
100	6.00	1.5	5.3371	69.9221
100	6.00	2.0	6.3000	68.2997
200	0.75	0.5	1.4730	79.8801
200	0.75	1.0	2.2765	80.4354
200	0.75	1.5	2.7296	81.1443
200	0.75	2.0	3.2191	80.0953
200	1.50	0.5	2.0467	87.5593
200	1.50	1.0	2.9907	88.9189
200	1.50	1.5	3.7813	88.3345
200	1.50	2.0	4.3840	87.8832
200	3.00	0.5	2.4493	86.6185
200	3.00	1.0	3.8360	85.9596
200	3.00	1.5	4.5787	81.2304
200	3.00	2.0	5.3840	80.8787
200	6.00	0.5	2.2787	66.3560
200	6.00	1.0	3.4160	66.1592
200	6.00	1.5	4.4587	70.6127
200	6.00	2.0	4.9787	75.4901

Los valores extremos encontrados son de 3.86 el más bajo y de 45.83 el más alto y se reportan en el cuadro 4.7.

Para los goteros del tipo S2 los valores del coeficiente de variabilidad son más altos, el más bajo fue de 13.44 y el más alto de 44.41 y se encuentran en el cuadro 4.8.

Para determinar si había diferencia significativa entre los tratamientos estudiados se hicieron dos análisis de varianza con datos de coeficiente de uniformidad, los resultados se reporta en el cuadro 4.9, para tratamientos que incluían goteros del tipo S1 y para los del tipo S2. Para ambos casos se encontraron diferencias altamente significativas, para propósitos de análisis y debido a que los datos de coeficiente de uniformidad están expresados en porcentajes, se usó una transformación Arco-Seno y después se efectuaron los análisis de varianza.

<u>C.V.</u>	<u>Clasificación</u>
≤ 0.03	Excelente
0.06	Medio
0.09	Discreto
0.12	Pobre
0.15	Malo

Cuadro 4.7 Resultados sobre el coeficiente de variabilidad en los tratamientos en que se utilizaron goteros del tipo S₁.

Long. de lateral (m)	Esp. entre goteros (m)	Presión (kg/cm ²)	S ²	S	x (l/h)	C.V. (%)
50	0.75	0.5	0.0099	0.0997	2.58	3.86
50	0.75	1.0	0.0386	0.1966	3.77	5.21
50	0.75	1.5	0.9836	0.2892	4.98	5.80
50	0.75	2.0	0.1272	0.3567	5.60	6.37
50	1.50	0.5	0.2691	0.5187	2.70	19.21
50	1.50	1.0	0.3590	0.5991	4.07	14.72
50	1.50	1.5	0.6421	0.7900	5.14	15.36
50	1.50	2.0	0.8478	0.9207	5.83	15.79
50	3.00	0.5	0.0795	0.2821	2.94	9.59
50	3.00	1.0	0.1462	0.3823	4.13	9.25
50	3.00	1.5	0.2164	0.4652	4.74	9.81
50	3.00	2.0	0.3393	0.5825	5.52	10.55
50	6.00	0.5	0.0400	0.2000	2.36	8.48
50	6.00	1.0	0.0871	0.2951	3.93	7.51
50	6.00	1.5	0.1516	0.3894	5.04	7.72
50	6.00	2.0	0.3410	0.5839	5.57	10.48
100	0.75	0.5	0.4681	0.6842	2.28	30.00
100	0.75	1.0	0.9306	0.9647	3.33	28.97
100	0.75	1.5	1.0901	1.0441	4.14	25.21
100	0.75	2.0	0.4083	0.6390	4.51	14.16
100	1.50	0.5	0.0343	0.1854	2.58	7.18
100	1.50	1.0	0.1036	0.3219	3.64	8.84
100	1.50	1.5	0.0887	0.2963	4.61	6.42
100	1.50	2.0	0.0861	0.2935	5.26	5.58
100	3.00	0.5	0.6818	0.8257	2.64	31.27
100	3.00	1.0	0.1110	0.3331	3.97	8.39
100	3.00	1.5	0.1989	0.4459	4.88	9.13
100	3.00	2.0	0.4763	0.6902	5.44	12.68
100	6.00	0.5	0.0683	0.2613	3.08	8.48
100	6.00	1.0	0.1175	0.3428	3.54	9.68
100	6.00	1.5	0.2135	0.4620	4.99	9.26
100	6.00	2.0	0.2638	0.5136	5.83	8.81
200	0.75	0.5	0.0693	0.2631	1.44	18.28
200	0.75	1.0	1.1017	1.0496	2.29	45.83
200	0.75	1.5	1.2668	1.1255	2.69	41.84
200	0.75	2.0	1.5338	1.2384	3.10	39.95
200	1.50	0.5	0.1591	0.3989	2.26	17.65
200	1.50	1.0	0.3463	0.5885	3.20	18.39
200	1.50	1.5	0.5304	0.7283	3.99	18.25
200	1.50	2.0	0.4446	0.6360	4.58	13.88
200	3.00	0.5	0.2107	0.4591	2.49	18.43
200	3.00	1.0	0.0796	0.2821	3.66	7.10
200	3.00	1.5	0.1793	0.4235	4.39	9.64
200	3.00	2.0	0.1498	0.3871	5.18	7.47
200	6.00	0.5	0.0314	0.1773	2.56	6.92
200	6.00	1.0	0.0638	0.2526	3.67	6.88
200	6.00	1.5	0.1838	0.4277	4.94	8.67
200	6.00	2.0	0.1907	0.4367	5.99	7.29

Cuadro 4.8 Resultados sobre el coeficiente de variabilidad en los tratamientos en que se utilizaron goteros del tipo S₂.

Long. de lateral (m)	Esp. entre goteros (m)	Presión (kg/cm ²)	S ²	S	x (l/h)	C.V. (%)
50	0.75	0.5	0.1459	0.3819	2.22	17.20
50	0.75	1.0	0.3500	0.5916	3.43	17.24
50	0.75	1.5	0.6480	0.8050	4.65	17.31
50	0.75	2.0	1.3142	1.1463	5.22	21.96
50	1.50	0.5	0.4512	0.6717	2.80	23.99
50	1.50	1.0	0.6696	0.8183	4.37	18.72
50	1.50	1.5	1.2250	1.1069	5.62	19.69
50	1.50	2.0	1.4663	1.2109	6.31	19.19
50	3.00	0.5	0.5826	0.7633	3.12	24.46
50	3.00	1.0	1.9485	1.3958	4.65	30.01
50	3.00	1.5	2.5243	1.5888	5.38	29.53
50	3.00	2.0	3.7369	1.9331	6.52	29.64
50	6.00	0.5	0.4542	0.6739	2.21	30.49
50	6.00	1.0	1.3534	1.1637	3.90	29.84
50	6.00	1.5	3.3536	1.8312	5.38	34.03
50	6.00	2.0	6.8190	2.6113	6.95	37.57
100	0.75	0.5	0.4467	0.6684	2.14	31.25
100	0.75	1.0	1.1165	1.0566	3.31	31.92
100	0.75	1.5	1.5840	1.2585	4.20	29.96
100	0.75	2.0	2.0609	1.4356	4.74	30.28
100	1.50	0.5	0.4299	0.6557	2.81	23.33
100	1.50	1.0	0.6482	0.8051	4.24	18.98
100	1.50	1.5	1.4325	1.1968	5.56	21.52
100	1.50	2.0	2.1698	1.4730	6.40	23.01
100	3.00	0.5	0.1230	0.3507	2.61	13.44
100	3.00	1.0	1.3892	1.1786	4.28	27.53
100	3.00	1.5	3.1527	1.7755	5.53	32.10
100	3.00	2.0	3.2074	1.7909	5.97	29.99
100	6.00	0.5	0.8917	0.9443	3.37	28.02
100	6.00	1.0	1.4321	1.1967	3.60	33.24
100	6.00	1.5	3.5895	1.8946	5.33	35.54
100	6.00	2.0	5.7567	2.3993	6.30	38.08
200	0.75	0.5	0.1547	0.3933	1.47	26.76
200	0.75	1.0	0.3047	0.5520	2.27	24.31
200	0.75	1.5	0.4056	0.6969	2.72	23.41
200	0.75	2.0	0.7709	0.8780	3.21	27.35
200	1.50	0.5	0.1102	0.3319	2.04	16.27
200	1.50	1.0	0.2089	0.4581	2.99	15.32
200	1.50	1.5	0.4365	0.6607	3.77	17.52
200	1.50	2.0	0.6602	0.8125	4.38	18.55
200	3.00	0.5	0.2615	0.5114	2.44	20.95
200	3.00	1.0	0.4665	0.6830	3.83	17.83
200	3.00	1.5	1.8541	1.3616	4.57	29.79
200	3.00	2.0	1.9181	1.3849	5.38	25.74
200	6.00	0.5	0.9131	0.9555	2.28	41.91
200	6.00	1.0	0.2941	1.5146	3.41	44.41
200	6.00	1.5	2.7069	1.6452	4.45	36.97
200	6.00	2.0	2.7656	1.6630	4.98	33.39

Cuadro 4.9 Análisis de varianza para datos de coeficiente de uniformidad para goteros del tipos S₁.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculada	F tabulada
A	2.0	278.1068	139.0534	175.0228	
Error A	6.0	4.7669	0.7945		
B	3.0	391.8586	130.6195	282.7282	
AB	6.0	1233.9180	205.6530	445.1395	
Error B	18.0	8.3159	0.4620		
C	3.0	12.8440	4.2813	9.0265	
AC	6.0	141.7263	23.6210	49.8011	
BC	9.0	114.8749	12.7639	26.9105	
ABC	18.0	230.0376	12.7799	26.9443	
Error C	72.0	34.1501	0.4743		
TOTAL	143.0	2450.5992	17.1371		

A Longitud del lateral * Significativo
 B Espaciamiento entre goteros ** Altamente Significativo
 C Presión

Cuadro 4.10. Análisis de varianza para datos de coeficiente de uniformidad para goteros del tipo S₂.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculada	F tabulada
A	2.0	95.2889	47.6444	242.2377	
Error A	6.0	1.1801	0.1967		
B	3.0	1591.8133	530.6044	2456.4757	
AB	6.0	361.5921	60.2653	279.0032	
Error B	18.0	3.8880	0.2160		
C	3.0	57.7552	19.2517	102.1750	
AC	6.0	90.3193	15.0532	79.8922	
BC	9.0	206.4406	22.9378	121.7384	
ABC	18.0	191.6712	10.6484	56.5144	
Error C	72.0	13.5662	0.1884		
TOTAL	143.0	2613.5149	18.2763		

A Longitud del lateral * Significativo
 B Espaciamiento entre goteros ** Altamente Significativo
 C Presión

DISCUSION

Régimen de Flujo

Para estudiar el efecto de la resistencia al flujo resulta necesario volver a la clasificación inicial de los mismos y considerar las diferencias de su comportamiento entre el laminar y el turbulento (Sotelo, 1974).

Para el caso de un conducto cilíndrico a presión el número de Reynolds se define de acuerdo a la ecuación (4).

Los resultados presentados en la figura 4.1, indican que el régimen de flujo para casi todos los tratamientos fue completamente turbulento. De los 48 tratamientos considerados para cada tipo de gotero, solo siete presentaron números de Reynolds menores de 4000.

El cuadro 5.1 presenta los tratamientos con los números de Reynolds más bajos y se puede ser que solo cinco, que representan el 10.41 por ciento del total presentan régimen transicional ($2000 < Re < 3000$) de acuerdo con King (1950).

Si observamos el cuadro 5.1 veremos que el régimen de flujo transicional se presenta a las presiones de operación más bajas, longitudes de lateral más cortas y menor número de goteros por línea. Analizando la ecuación (4) y de acuerdo con Rouse (1946), nos damos cuenta que el número de Reynolds está

en función de la velocidad del flujo, del diámetro del lateral y de la viscosidad cinemática del fluido. Considerando, para este caso, el diámetro y la viscosidad cinemática constantes, nos damos cuenta que la característica que determina el bajo número de Reynolds es el gasto del lateral, el cual está en función del número de goteros sobre el mismo.

Cuadro 5.1. Tratamientos cuyo Número de Reynolds fue menor de 4000.

Longitud del lateral (m)	Espaciamiento entre goteros(m)	Presión (kg/cm ²)	Goteros por lateral	Velocidad (1m/seg)	Re
50	1.50	0.5	33	0.214285	3401.77
50	3.00	0.5	16	0.158730	2428.76
50	3.00	1.0	16	0.158730	2428.76
50	6.00	0.5	8	0.214285	2990.57
50	6.00	1.0	8	0.269841	3765.91
100	3.00	0.5	33	0.158730	2519.83
200	6.00	0.5	33	0.158730	2290.76

Por otro lado, el bajo número de goteros por línea tiene influencia sobre el régimen de flujo, ya que una gran cantidad de emisores sobre un lateral puede ocasionar irregularidades en la tubería, y de acuerdo a Streeter (1966) a su vez causar flujos turbulentos.

Por último, de acuerdo con Karmeli y Keller (1975) los goteros de orificio pueden tener regímenes de flujo de parcialmente turbulento a completamente turbulento, lo cual concuerda con los resultados obtenidos durante esta prueba.

Respecto a las pérdidas de carga los cuadros 4.1 y 4.2 muestran claramente las variaciones entre los valores de H_f calculados teóricamente y los obtenidos durante este trabajo.

El cuadro 5.2 muestra las diferencias encontradas entre los datos teóricos y reales. Se han agrupado respecto a la longitud del lateral y a la presión de operación. Y se ha obtenido la diferencia media absoluta entre estos valores (la media para los valores de espaciamiento entre goteros).

Cuadro 5.2 Diferencia media absoluta entre las pérdidas de carga reales y teóricas para ambos tipos de goteros.

Longitud de Lateral (cm)	Presión (kg/cm ²)	Diferencia Media Absoluta (S_1)	Diferencia Media Absoluta (S_2)
50	0.5	0.0925	0.0925
50	1.0	0.2235	0.2625
50	1.5	0.4025	0.3100
50	2.0	0.7650	1.2400
100	0.5	0.2525	0.3775
100	1.0	0.6475	0.3975
100	1.5	0.8825	0.3225
100	2.0	1.1000	0.7250
200	0.5	0.7475	0.8275
200	1.0	0.7900	1.1200
200	1.5	2.4575	2.2425
200	2.0	3.0800	2.0800

Como puede observarse en el cuadro anterior, las diferencias aumentan considerablemente con la longitud de lateral y aun para una misma longitud hay una marcada variabilidad al operarse a diferentes presiones.

Las diferencias encontradas en las pérdidas de carga se deben indudablemente a que se consideró un valor fijo para el coeficiente "C" (140) de la ecuación de Hazen-Williams al calcular las pérdidas de carga teóricas. Lo cual

dio como resultado que se sobre o subestimarán los valores de pérdida de carga por fricción reales.

Los cuadros 4.3 y 4.4 muestran que el valor de "C" tomó valores entre 64 y 365 para los tratamientos que incluían goteros del tipo S1 y de 56 a 325 para los del tipo S2. Dependiendo de la longitud del lateral, espaciamiento entre emisores y presión de operación. Lo anterior concuerda con lo reportado por Hanson (1973), tomando en cuenta que el valor de "C" determinado no es exclusivamente para la tubería sino que es para todo el sistema por lo cual existen variaciones tan grandes con respecto a los valores de 140 y 150 sin los valores normales para tuberías de polietileno y PVC respectivamente.

Es conveniente recordar, de acuerdo con King (1950) que existen ciertas reglas generales basadas en la observación y experimentación que parecen gobernar la pérdida por fricción en las tuberías y son:

Las pérdidas de carga debidas a fricción, en régimen turbulento, generalmente se incrementan a medida que lo hace la rugosidad de las tuberías. Cuando el régimen es laminar, la pérdida por fricción es independiente de la rugosidad.

De acuerdo a lo anterior y analizando los cuadros 4.1 y 4.2 se puede observar que los tratamientos que reportan las mayores pérdidas de carga por fricción reales y teóricas son aquellos en que había menor cantidad de goteros por lateral (menor espaciamiento entre goteros) lo cual dio lugar a un incremento considerable en la rugosidad de la tubería. El régimen de flujo como ya se señaló en todos los casos es de parcial a completamente turbulento.

La pérdida de carga es directamente proporcional al área de la superficie húmeda o a DL .

Lo cual también concuerda con los resultados obtenidos ya que se observa, en los cuadros anteriormente citados, una tendencia general al aumento de pérdidas de carga a medida que se incrementa la longitud del lateral.

La pérdida de carga por fricción varía inversamente a una potencia del diámetro de la tubería $1/D$.

En el presente trabajo no se observó este efecto ya que solo se estudió un diámetro de lateral.

La pérdida por fricción varía a una potencia n de la velocidad o v^n .

Los cuadros 4.1 y 4.2 de nuevo servirán para explicar este efecto, ya que se observa que para una misma longitud de lateral, al aumentar la presión y consecuentemente la energía cinética del fluido, se incrementan las pérdidas de carga.

La pérdida de carga por fricción varía como una potencia de la razón entre la viscosidad (μ) y la densidad (ρ) del fluido o (μ/ρ) ,

En este aspecto, las variaciones en la temperatura del agua observadas durante la prueba no son muy grandes por lo cual se espera que haya poco o ningún efecto sobre las pérdidas de carga.

Haciendo un resumen, se sabe que, los cambios de presión a lo largo de una tubería con flujo turbulento dependen de las magnitudes siguientes:

Diámetro de la tubería

Longitud de la tubería

Viscosidad del flujo

Velocidad media del fluido

Densidad

Rugosidad de la tubería

(Shames, 1962).

La distribución del gasto a partir de la fuente como se puede ver en las figuras 4.7, 4.8 y 4.9 que corresponden respectivamente a las longitudes de 50, 100 y 200 m de lateral para los goteros del tipo S1, presentan gran variabilidad respecto a la media (línea punteada), aunque en este caso se observa que la línea se desvía fuertemente del promedio solo en puntos determinados, ya que esta variación se conserva al operar el lateral con las diferentes presiones, esto hace suponer que la mala distribución del gasto a lo largo del lateral se debe a la calidad individual de los goteros. Es decir, puede haber una buena distribución, pero el coeficiente de uniformidad puede verse afectado grandemente por el efecto de uno o más goteros que no están funcionando correctamente.

Sobre el coeficiente de uniformidad (C.U.) el cuadro 4.5 muestra los valores obtenidos durante la prueba y se observa que los valores más altos se obtuvieron con 50 metros de longitud en el lateral y precisamente aquel con goteros espaciados a 0.75 m alcanzando ésta valores del 96.8 por ciento el cual está representado gráficamente en el extremo inferior derecho de la figura 4.7. En general, los tratamientos con menor longitud de lateral tuvieron los valores más altos de coeficiente de uniformidad , lo cual, posiblemente se deba a una

menor variación de la carga o porque al haber menor cantidad de goteros la probabilidad de ocurrencia de goteros defectuosos fue menor. Por el contrario los tratamientos con valores de coeficiente de uniformidad menores fueron los que incluían laterales de mayor longitud llegando a obtenerse valores tan bajo como 77.02 por ciento.

Las figuras 4.9, 4.10 y 4.11 representan la distribución del gasto para laterales con goteros del tipo S2. En esta se puede ver que la distribución es menos uniforme que en el caso anterior, lo cual se puede corroborar con el cuadro 4.6 que representa los valores de C.U. para los goteros de este tipo y se observa que el valor más alto fue de 91.9 por ciento, siendo el más bajo de 66.15 por ciento. Las diferencias entre la uniformidad de la distribución entre ambos goteros se puede deber principalmente a las características de fabricación de éstos.

Los cuadros 4.9 y 4.10 muestran los resultados de los análisis de varianza que se hicieron sobre los datos de coeficiente de uniformidad, con el único fin de detectar si había diferencias entre los tratamientos, los datos muestran que hay diferencias altamente significativas entre éstos. La causa por la cual se hizo un análisis para cada tipo de gotero es debido a que las diferencias entre ambos son cualitativas.

La función de flujo de los emisores para los goteros probados corresponden ampliamente a lo reportado por la literatura, aunque es necesario hacer la aclaración que los valores reportados en las ecuaciones (21) y (22) provienen de la media de un gran cantidad de datos. Ambos tipos de goteros presentan ecuaciones de función de flujo bastante similares, lo cual se debe principalmente a las características muy parecidas de los goteros.

El riego por goteo requiere dadas sus características, una buena distribución del agua a lo largo del lateral de acuerdo con Parchomchuk (1976), uno de los factores que tienen marcada influencia sobre ésta es la temperatura del agua que puede variar en tiempo o de extremo a extremo del lateral, para el caso de este trabajo no se observaron variaciones muy grandes de la temperatura respecto al tiempo y desafortunadamente no se tomaron registros en los extremos del lateral. Sin embargo, de acuerdo con el autor anteriormente citado y dado que el flujo en este tipo de goteros es turbulento el efecto de la temperatura sobre la uniformidad en la distribución del gasto no es significativa.

CONCLUSIONES

El análisis estadístico respecto a coeficiente de uniformidad reporta diferencias altamente significativas entre tratamientos.

En los tratamientos que incluían laterales de menor longitud se obtuvieron los valores más altos de coeficiente de uniformidad, lo cual, posiblemente se deba a una menor variación de la presión sobre la línea o al hecho de que al haber menor cantidad de goteros la probabilidad de ocurrencia de emisores defectuosos fue menor.

Existen grandes diferencias entre los valores de pérdida de carga calculados teóricamente, ecuación (8) y los reales. Estas diferencias se deben a que se tomó un valor fijo de "C" para utilizarlo en la ecuación anterior, observándose en esta prueba que este valor varía con las condiciones de la línea regante.

El régimen de flujo al cual trabajan los dos tipos de goteros probados es de turbulento a completamente turbulento.

Es necesario que los fabricantes de goteros efectúen un control de calidad más estricto sobre su producto, de tal manera que el agricultor tenga plena seguridad del funcionamiento correcto de los emisores.

RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo en un terreno ubicado al sureste del edificio "La Gloria" propiedad de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", durante los meses de Mayo, Junio y Julio de 1975.

El objetivo principal de este trabajo fue el de analizar un lateral desde el punto de vista de uniformidad en la distribución. Llegándose a obtener valores hasta 96.8 por ciento y tan bajos como 66.15 por ciento. En general los valores del coeficiente de uniformidad encontrados se pueden considerar bajos, ya que el lateral descansaba en un terreno nivelado.

Los materiales usados fueron: tubería de polietileno de mediana densidad con un diámetro de 1/2 pulgada, goteros, medidor de agua, probetas graduadas y manómetros de carátula, principalmente.

Las variables estudiadas fueron: tres longitudes de lateral 50, 100 y 200 m; cuatro espaciamientos entre goteros, 0.75, 1.50, 3.0 y 6.0 m. y cuatro presiones de operación, 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 kg/cm² lo cual da un total de 48 tratamientos para cada tipo de gotero. Los datos se obtuvieron del aforo directo de los emisores durante un tiempo de 30 segundos, tomando tres repeticiones para cada lectura.

Se hicieron análisis respecto a pérdida de carga, número de Reynolds, tasa de flujo de los emisores, uniformidad en la distribución del gasto a lo largo del lateral y análisis de varianza para datos de coeficiente de uniformidad para ambos tipos de goteros.

LITERATURA CITADA

- A.S.A.E., 1995. Field evaluation of microirrigation systems. A.S.A.E. Standards 42nd. Edition. December. pp. 756-761. U.S.A.
- Baldoceda, Y. 1997. Desarrollo de un programa computacional para el diseño de sistemas de microirrigación: Microaspersión (Visual Microirri V1.0). Tesis de Licenciatura. Facultad de Agronomía, U.A.N.L. Marín, N.L., México.
- Bucs, D.A. and Nakayama, F.S. 1982. Principles, practices and potencialities of trickle (Drip) irrigation. *Advances in Irrigation*. Edited by Hillel D. Ed. Academic Press Inc. USA. Vol. 1. pp. 219-239.
- Davis, S. and W.J. Pugh 1974. Dripper flow consistency proceedings of The Second International Drip Irrigation Congress. July 7-14 San Diego California, U.S.A. pp. 22.
- Damsker, Matt. 1995. "The way to water wisely". *Organic Gardening*, Mar 95. Vol. 42, ISSUE 3, U.S.A. p. 37.
- Gilaad, Y. 1974. Hydraulics and mechanical properties of drippers. *Proceedings of The Second International Drip Irrigation Congress*. July 7-14. San Diego California, U.S.A.
- Giles, R.V. 1969. *Mecánica de los fluidos e hidráulica*. Serie de Compendios de Schaum. Libros Mc Graw-Hill, México, D.F.
- Hanson, G.R. 1973. *Hydraulics of trickle irrigation emitterlines* M.S. Thesis Utha State University, Logan.U.S.A.
- Heller, J. and E. Bresler 1973. *Trickle Irrigation arid zone irrigation*. *Ecological studies* No. 5. Edited by: V. Yaron, E. Danfors and Y, Vaadia. U.S.A.
- Howell, T.A. and E.A. Hiler 1974. *Designing trickle irrigation, laterals for uniformity* Texas A & M University. Texas Agricultural Experiment Station.U.S.A.
- Howell, T.A. and E.A. Hiler 1974. *Designing trickle irrigation laterals for uniformity*. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*. No. IR 4 paper 10983.U.S.A.

- Howell, T.A. and E.A. Hiler 1974. Trickle irrigation lateral design. Transactions of the ASAE sept-Oct. Vol. 17 No. 5.U.S.A.
- Karmeli, D. and Keller 1974. Evaluation of a trickle irrigation system Proceedings of the Second International Drip Irrigation Congress. July 7-14. San Diego, California. U.S.A.
- Karmeli, D. and J. Keller 1975. Trickle irrigation design. Edited and published by Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation. Glendora, California. 91740 U.S.A.
- King, H.W. 1950. Hydraulics fifth edition John Wiley and Sons Inc. London.
- Kourik, Robert. 1991. Drip Irrigation, Garbage May/Jun 1991. Vol. 3 ISSUE 3, p. 52.U.S.A.
- Losada, A. 1993. Estimation of yield responses to operation alternatives in small drip irrigation systems. Acta Horticulturae No. 335 Univ. Pol. de Madrid, Madrid, Spain. pp. 461-467.
- Medina, S.J. 1988. Riego por goteo, teoría y práctica. 3a. Ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. pp. 256.
- Myers, L.E. and D.A. Bucks. 1972. Uniform irrigation with low-pressure trickle system. Journal of the irrigation and drainage division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers.U.S.A.
- Nekrasov, B. 1968. Hdráulica 3a. edición modificada . Editorial MIR Moscú.
- Parchomchuk, P. 1976. Temperature effects on emitter discharge rates Transactions of th ASAE Jul-Ago. Vol. 19 No. 4 pp. 690-692.U.S.A.
- Peña, L. 1997. Diseño y evaluación de un sistema de riego por microaspersión para una huerta de nogal (Carya illinoensis, Koch) de la Facultad de Agronomía de la U.A.N.L., Tesis de Licenciatura. Fac. de Agronomía de la U.A.N.L., Marín, N.L. México.
- Rouse, H. 1946. Elementary mechanics of fluids John Wiley and Sons Inc.New York, U.S.A.
- Sotelo, A.G. 1974. Hidráulica general. Volumen 1. Fundamentos. Ed. LIMUSA, México, D.F. pp. 277.
- Summer, 1994. Center pivot irrigation attached sprayer. A.S.A.E. No. 94-1028. International Summer Meeting of ASAE, Kansas City, Missouri, U.S.A. pp. 19-22.

- Streeter, V.L. 1966. Mecánica de los fluidos. Libros Mc Graw-Hill, México, D.F. pp. 242.
- Shames, I.H. 1962. La Mecánica de los Fluidos. Libros Mc Graw-Hill. México, D.F. pp. 322.
- Trueba, C.S. 1971. Hidráulica. Ed. CECOSA. México, D.F.
- Wu, I-Pai and H.M. Gitlin 1974. Design of drip irrigation lines Hawaii Agricultural Experiment Station. University of Hawaii. Technical Bull. No. 96. U.S.A.
- Wu, I-Pai and H.M- Gitlin 1974. Drip irrigation design based on uniformity. Transactions of the ASAE May-Jun. Vol. 17 No. 3.U.S.A.
- Wu, I-Pai and H.M. Gitlin 1974. Design charts. Lateral and sub-main design for a drip irrigation system. Cooperative Extension Service, University of Hawaii No. 13. April.U.S.A.
- Wu, I-Pai and H.M. Gitlin 1974. Drip irrigation design charts. Cooperative Extension Service. University of Hawaii, No. 15 August.U.S.A.
- Zazueta, R.F. 1992. Microirrigation. I.C.F.A. International Inc. México, D.F.