

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**



**“Influencia de la Temperatura del Agua en el Régimen Hidráulico de Ocho  
Cintas Comerciales de Riego por Goteo.”**

**Por:**

**OCTAVIO MARTÍNEZ URBINA**

**T E S I S**

**Presentada como Requisito Parcial  
para Obtener el Título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.  
Junio del 2003.**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA.**

**Influencia de la Temperatura del Agua en el Régimen Hidráulico de Ocho  
Cintas Comerciales de Riego por Goteo.**

**TESIS**

**Realizada por:**

**Octavio Martínez Urbina**

**Que somete a consideración del H. Jurado Examinador como Requisito Parcial  
para Obtener el Título de:**

**Ingeniero Agrónomo en Irrigación.**

**Aprobada:**

---

**MC. Gregorio Briones Sánchez  
Asesor Principal.**

---

**Dr. Juan P. Munguía López  
Coasesor.**

---

**MC. Luis E. Ramírez Ramos.  
Coasesor.**

---

**Ing. Felipe Hernández Castillo.  
Coasesor.**

---

**MC. Luis Edmundo Ramírez Ramos  
Coordinador de la División de Ingeniería.**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila; México.  
Junio del 2003.**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA.**

**Influencia de la Temperatura del Agua en el Régimen Hidráulico de Ocho  
Cintas Comerciales de Riego por Goteo.**

**TESIS**

**Realizada por:**

**Octavio Martínez Urbina**

**Que somete a consideración del H. Jurado Examinador como Requisito Parcial  
para Obtener el Título de:**

**Ingeniero Agrónomo en Irrigación.**

**Aprobada:**

---

**MC. Gregorio Briones Sánchez  
Asesor Principal Interno.**

---

**Dr. Juan P. Munguía López  
Asesor Principal Externo.**

---

**MC. Luis E. Ramírez Ramos.  
Coasesor interno.**

---

**Ing. Felipe Hernández Castillo.  
Coasesor externo.**

---

**MC. Luis Edmundo Ramírez Ramos  
Coordinador de la División de Ingeniería.**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila; México.  
Junio del 2003.**

**“De todas las ocupaciones de las que se deriva beneficio alguno, no hay ninguna tan amable, tan saludable y tan merecedora de la dignidad del hombre libre, como la “AGRICULTURA”.**

**CICERON**

## **AGRADECIMIENTOS.**

A mí **ALMA TERRA MATER** por que en tus aulas adquirí los conocimientos suficientes para llevar en alto tu nombre. Gracias por darme la oportunidad de ser un Buitre agrónomo de la Narro.

### **A Mis Asesores:**

Dr. Juan Munguía López  
MC. Gregorio Briones Sánchez  
MC. Luis E. Ramírez Ramos  
Ing. Felipe Hernández Castillo

Por el valioso apoyo de cada uno de ellos en la elaboración de esta tesis.

**Al Centro de Investigación de Química Aplicada (C.I.Q.A.)**, por permitir la realización de este trabajo de investigación en el departamento de Agroplásticos bajo la asesoría del Dr. Juan Munguía López.

### **A Mis Padres:**

Sr. Octavio Martínez Serrano  
Sra. Rosa Urbina Zavaleta

Por darme la vida, apoyarme y por que siempre confiaron en mí. Gracias de todo corazón.

### **A Mí Esposa:**

Por su cariño, amor y por darme felicidad. Gracias Yanet.

### **A Mis Suegros:**

Sr. José Luis arroyo  
Sra. María Fe Mendoza

Por apoyarme en esos momentos cuando más se necesita.

### **A Mis Hermanos:**

Juan José  
Rosa Alicia  
Flor de Azucena

Por que en la mayoría de los momentos que compartimos me brindaron cariño.

## **DEDICATORIA**

**A Mí Hija:**

**Por que eres mi fortaleza en esos momentos difíciles y por que das alegría a mi  
vida te dedico esta meta alcanzada.  
Con amor para ti “Ximena Guadalupe”.**

## INDICE GENERAL

	Pag.
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA	vi
INDICE GENERAL	vii
INDICE DE GRAFICAS	viii
INDICE DE CUADROS	ix
INTRODUCCION	1
Objetivo General	4
Objetivos Específicos	4
REVISION DE LITERATURA	5
MATERIALES Y METODOS	13
Características del sitio experimental.	13
Localización	13
Material y equipo para el desarrollo del trabajo	13
Metodología	14
Coeficiente de variación de manufactura (C.V.)	14
Procedimiento	15
Indice de sensibilidad	19
Curva característica del emisor	19
procedimiento	20
RESULTADOS Y DISCUSIONES	26
CONCLUSIONES	42
RESUMEN	43
LITERATURA CITADA	46
ANEXO 1	48
GLOSARIO	55

## INDICE DE GRAFICAS

	Pag.
Gráfica 3.1. Curva característica del emisor correspondiente a la cinta T-tape a una temperatura de 23°C.	25
Gráfica 4.1. Relación de incremento porcentual del gasto del emisor con Relación al exponente de ecuación de las ocho cintas de Riego por goteo.	30
Gráfica 4.2. Curva característica del emisor para la cinta de riego T-tape En cuatro temperaturas de agua de riego.	33
Gráfica 4.3. Curva característica del emisor para la cinta de riego Chapin en cuatro temperaturas de agua de riego.	34
Gráfica 4.4. Curva característica del emisor para la cinta de riego Aquatraxx en cuatro temperaturas de agua de riego.	35
Gráfica 4.5. Curva característica del emisor para la cinta de riego Rain Tape en cuatro temperaturas de agua de riego.	36
Gráfica 4.6. Curva característica del emisor para la cinta de riego Roberts en cuatro temperaturas de agua de riego.	37
Gráfica 4.7. Curva característica del emisor para la cinta de riego Pathfinder en cuatro temperaturas de agua de riego.	38
Gráfica 4.8. Curva característica del emisor para la cinta de riego Streamline en cuatro temperaturas de agua de riego.	39
Gráfica 4.9. Curva característica del emisor para la cinta de riego Hydromatic en cuatro temperaturas de agua de riego.	40



## INDICE DE CUADROS

	Pag.
Cuadro 2.1. Valores experimentales de las constantes m y n para Varios emisores.	9
Cuadro 3.1. Especificaciones de las ocho cintas de riego por goteo Evaluadas.	14
Cuadro 3.2. Ejemplo de captura y análisis de datos para el coeficiente De variación de las cintas evaluadas.	17
Cuadro 3.3. Ejemplo de captura y análisis de datos para la curva Característica de los emisores de las cintas evaluadas.	22
Cuadro 3.4. Datos de los gastos obtenidos a diferentes presiones para La cinta T-tape a una temperatura de 23 °C.	23
Cuadro 3.5. Logaritmos de los valores de gasto y presión para correr la Regresión lineal.	23
Cuadro 3.6. Parámetros a y b obtenidos al correr la regresión lineal	24
Cuadro 3.7. Valores de gasto corregidos con la ecuación del emisor Correspondiente a la cinta T-tape a una temperatura De 23 °C.	24
Cuadro 4.1. Coeficiente de variación (C.V.) en % de ocho cintas de Riego por goteo bajo condiciones de cuatro temperaturas Y dos presiones.	27
Cuadro 4.2. Medias de coeficiente de variación (C.V.) de ocho cintas de Riego por goteo evaluadas en condiciones de cuatro Temperaturas del agua y dos presiones de operación.	28
Cuadro 4.3. Medias de coeficiente de variación (C.V.) de cuatro Temperaturas del agua de ocho cintas de riego y dos Presiones de operación.	29
Cuadro 4.4. Medias de coeficiente de variación (C.V.) de dos presiones De operación de ocho cintas de riego y a cuatro Temperaturas del agua de riego.	29
Cuadro 4.5. Incremento porcentual de caudal relativo al caudal inicial ( $q_{(23)}$ ) de ocho cintas d riego por goteo.	30
Cuadro 4.6. Ecuaciones del emisor para ocho cintas de riego por goteo Evaluadas a cuatro temperaturas del agua de riego.	31

## I. INTRODUCCIÓN.

La forma de aplicar agua a los cultivos a sufrido muchos cambios a través del tiempo, persiguiendo siempre un objetivo muy importante que es hacer un uso eficiente del agua.

Básicamente hay cinco sistemas de riego

- 1.-Riego de superficie, que cubre toda la superficie cultivada o casi toda.
- 2.-Riego por aspersión, que imita a la lluvia.
- 3.-Riego por goteo, que aplica el agua gota a gota solamente sobre el suelo que afecta a la zona radicular.
- 4.-Riego subterráneo de la zona radicular, mediante contenedores porosos o tubos instalados en el suelo.
- 5.-Subirrigación, si el nivel freático se eleva suficientemente para humedecer la zona radicular.

Actualmente, el riego de superficie es sin duda la técnica mas común especialmente entre los pequeños agricultores, por que no requiere operar ni mantener equipos hidráulicos complejos. Por esta razón, es probable que el riego de superficie se siga utilizando por un buen tiempo, aunque consume mas agua y en ocasiones cause problemas de anegamiento y salinización.

El riego por aspersión comparado con el riego de superficie es un poco mas eficiente pero tiene la desventaja que se pierde una considerable cantidad de agua por evaporación.

El riego por goteo y el riego subterráneo son dos tipos de riego localizado, que es un sistema de riego cada día mas popular por su máxima eficacia, ya que aplica el agua solamente donde es necesaria logrando así que las perdidas sean pequeñas. Los agricultores adoptaran tecnologías de riego que ahorren agua si tienen incentivos, siendo uno de los mas importantes el aumento del precio del agua de riego. El riego subterráneo y el riego por goteo son probablemente las principales tecnologías que serán aplicadas en los países en desarrollo, donde la mano de obra es abundante y los recursos financieros escasos. Ambas tecnologías se basan en la aplicación frecuente de pequeñas cantidades de agua directamente a las raíces de los cultivos. Además estas tecnologías que ahorran agua, particularmente el riego por goteo, tienen la ventaja adicional de incrementar los rendimientos de los cultivos y reducir la salinización de los suelos (FAO, 2002).

El riego por goteo a tomado mucha importancia en los últimos días un ejemplo visible esta en la producción de hortalizas donde es común ver el riego por goteo con cintas bajo acolchado plástico; este método de riego es el que mejor se adapta a esta técnica de producción logrando así ventajas inmediatas como producción precoz, aumento en el rendimiento, calidad, uso eficiente del agua, de fertilizantes y disminución en la aplicación de agroquímicos (Benavides, 2002).

En esta técnica de producción de acolchado plástico con riego por goteo debemos poner un especial cuidado en los emisores de las cintas de riego ya que estos deben proporcionar un caudal lo más uniforme posible para lograr una buena distribución del agua y fertilizantes.

Lo ideal es que todos los emisores provean el mismo gasto de forma que todas las plantas reciban la misma cantidad de agua. En general podríamos decir que sobre esta uniformidad actúan dos tipos de factores:

- Factores hidráulicos: comportamiento hidráulico de los emisores; diseño hidráulico de la red; etc.
- Factores no hidráulicos: sensibilidad a la temperatura; obturaciones; salinidad; agresividad química; etc.

En un suelo bajo acolchado plástico existen temperaturas relativamente altas que pueden influir en el funcionamiento hidráulico de los emisores de las cintas de riego. En el presente trabajo analizaremos si ese aumento en la temperatura del agua ocasiona algún cambio importante en el funcionamiento hidráulico de dichos emisores, tomando como base la temperatura de la norma mexicana para evaluar cintas de riego.

Se han realizado trabajos de investigación donde evalúan el efecto de la temperatura en goteros rígidos y expuestos a la radiación directa, es decir que están colocados sobre la superficie del suelo, y no bajo cubierta de acolchado de suelo.

El conocer si la temperatura del agua afecta al régimen hidráulico de las cintas de riego es de mucha importancia agronómica ya que de resultar cierto repercutiría en una mala uniformidad en este tipo de riego y por consiguiente tendríamos un mal desarrollo de las plantas que son cultivadas bajo esta técnica de acolchado y riego por cintas.

## **OBJETIVO GENERAL**

- Determinar el efecto de la temperatura del agua en el régimen hidráulico de los emisores de ocho cintas de riego por goteo.

## **Objetivos Específicos.**

- Determinar los cambios del gasto del emisor por efecto del incremento en la temperatura del agua.
- Determinar los cambios en el coeficiente de variación (C.V.) por efecto del incremento en la temperatura del agua.

## II. REVISION DE LITERATURA

De acuerdo a la norma mexicana de Requisitos Mecánicos y Funcionales de Cintas de Goteo para su Instalación y Operación en Campo Especificaciones y Métodos de Prueba **NMX-E-225-1998-SCFI** (1998) las cintas de goteo se clasifican de la siguiente manera:

- Por la uniformidad del gasto de emisión se clasifican en:

Categoría A: Cintas de goteo que tienen una alta uniformidad de gasto de emisión y pequeñas desviaciones del gasto de emisión nominal.

Categoría B: cintas de goteo que tienen una baja uniformidad de gasto de emisión y pequeñas desviaciones del gasto de emisión nominal.

- Por su capacidad de uso se clasifican en:

Cintas de goteo no reutilizables

Cintas de goteo reutilizables

- Por su operación se clasifican en:

Cintas de goteo autorreguladas

Cintas de goteo sin autorregulación

Valdez *et al* (2000) compararon el funcionamiento de dos cintas de riego por goteo en tomate, en el valle del yaqui y una de sus conclusiones fue, que existen diferencias en cuanto a su funcionamiento hidráulico por ejemplo:

La uniformidad de la cinta T-Tape al inicio del funcionamiento del sistema fue de 96.6, clasificada por Zazueta (1992) como excelente y como regular la final, lo que indica que se presentó taponamiento parcial de sus goteros. La cinta Queen Gil de 3 l/m/h pasó de uniformidad excelente a inaceptable, al final del funcionamiento del riego, lo que indica mayor taponamiento de sus goteros, condiciones semejantes de funcionamiento se presentaron en la cinta Queen Gil de 2 l/m/h.

Losada *et al* (1992) mencionan que los parámetros que describen el comportamiento hidráulico de los goteros pueden no ajustarse, por razones diversas, a los valores previstos en la fábrica pero que esta variación de manufactura a sido caracterizada por un coeficiente que puede calcularse fácilmente de la siguiente manera:

$$CV_m = \frac{S_q}{\bar{Q}}$$

Donde:

$CV_m$  es el Coeficiente de Variación de manufactura.

$S_q$  es la estimación de la desviación típica.

$Q$  es el gasto medio de los goteros.

De acuerdo a la norma mexicana de Requisitos Mecánicos y Funcionales de Cintas de Goteo para su Instalación y Operación en Campo Especificaciones y Métodos de Prueba **NMX-E-225-1998-SCFI** (1998) el coeficiente de variación (C.V.) del gasto de emisión no debe exceder del cinco por ciento para la categoría A, ni más del diez por ciento para la categoría B.

Keller y Karmeli (1975) mencionan que la sensibilidad de la descarga del emisor a la temperatura es mínima en los emisores que trabajan con un régimen de flujo turbulento como son los emisores de tipo laberinto y tipo vortex. Mientras que para los emisores helicoidales de larga trayectoria la sensibilidad de la descarga a la temperatura será igual a la sensibilidad de la viscosidad a la temperatura ya que este tipo de emisores trabajan en un régimen de flujo laminar.

Peña *et al.* (1978) estudiaron el efecto de la temperatura del agua sobre la descarga de los emisores de riego por goteo y concuerdan con otros autores en que existe un efecto de la temperatura del agua sobre el funcionamiento hidráulico de los emisores, en particular, sobre su descarga, y que éste es más notorio cuando trabajan en régimen laminar.

Pizarro F. C. (1990) menciona que el aumento de la temperatura disminuye la viscosidad cinemática del agua y aumenta el número de Reynolds. En consecuencia disminuye el coeficiente de rozamiento de la formula de Darcy-Weisbach y aumenta el caudal.



García *et al*(1992) menciona en sus ensayos realizados que los goteros autocompensantes disminuyen su gasto al aumentar la temperatura, los de laberinto son prácticamente insensibles y las tuberías goteadoras lo aumentan con la temperatura.

Pérez N.S (1999) desarrolló un modelo semiempírico para evaluar el efecto de las variables térmicas en el funcionamiento hidráulico de las líneas laterales de riego por goteo y un programa de computadora para efectuar los cálculos. Los resultados de la simulación indicaron que:

- El régimen hidráulico en la línea lateral es siempre variable y decreciente.
- Que los goteros son mas afectados cuando la condición térmica es máxima, cuando funciona en el régimen laminar y las longitudes de las laterales son grandes.
- En todos los casos analizados el gasto de los goteros es mayor cuando se considero el efecto térmico.

Medina J.A. (1988) menciona que la temperatura afecta al caudal de los goteros en dos sentidos: En primer lugar el diseño del gotero puede ser tal que trabaje en régimen laminar y que, por tanto, dependa de la viscosidad del liquido, entonces también el caudal será afectado. Pero, además, puede afectar al material de que está fabricado el gotero, produciendo variaciones en el tamaño del orificio de salida y por tanto, en el caudal.

Nakayama y Bucks (1986) mencionan que el comportamiento hidráulico de un modelo de emisor se caracteriza mediante su exponente de descarga, el coeficiente de variación debido a la fabricación y la sensibilidad a la temperatura del agua.

Zur and Tal (1981) mencionan que la sensibilidad de la temperatura es grande en los emisores de largo conducto, aumentando con la presión interior y su sección de paso de agua; son poco sensibles los emisores de tipo laberinto, aumentando esta con la presión de trabajo y, por último, en los emisores tipo vortex la descarga decrece cuando aumenta la temperatura. Ellos obtuvieron los siguientes valores experimentales de las constantes m y n para varios emisores:

**Cuadro 2.1. Valores experimentales de las constantes m y n para varios emisores**

Presion en K <sub>pa</sub>	n	m	Coeficiente de determinación
(a) Helicoidal 2 l/h			
100	0.0169	1.6872	0.9946
200	0.0254	2.8927	0.9964
300	0.0303	3.9242	0.9878
(b) Helicoidal 4 l/h			
100	0.0323	3.0612	0.9948
200	0.0470	5.1131	0.9964
300	0.0651	6.7083	0.9898
(C) Laberinto 4 l/H			
100	0.0079	4.8769	0.9040
200	0.0092	7.3293	0.8574
300	0.0139	9.1871	0.8594
(d) Vortex 7.5 l/h			
100	-0.0180	7.2695	0.9913
200	-0.0222	9.8105	0.9740
300	-0.0213	11.6188	0.9817

Van der Guilk T. (1999) menciona que los emisores de flujo laminar (X es de un valor cercano a 1.0) son muy sensibles a las variaciones en la temperatura del agua. Para obtener una buena uniformidad de aplicación a través del sistema de riego localizado, el efecto de la temperatura del agua debe ser conocido. La temperatura del agua tiende a incrementarse a lo largo de la línea lateral, a medida que la exposición al sol aumenta. El exponente del flujo del emisor (X) puede ser usado para determinar el efecto de la temperatura en el funcionamiento del emisor.

Rodrigo *et al.* (1993) menciona que entre las características a considerar al seleccionar un emisor está la poca sensibilidad a los cambios de temperatura. Según este autor el gasto de un gotero se calcula con la siguiente ecuación:  $Q = CH^X$  en la que Q es el gasto del emisor ( $Lh^{-1}$ ), H es la carga hidráulica (m) y C y x son constantes obtenidas por regresión que dependen de la geometría del emisor y de las propiedades del flujo.

Según Martínez *et al* (1986) menciona que en una investigación para controlar hongos con acolchado plástico se observó que existen temperaturas mayores de 41 °C a 32 cm de profundidad durante 571 horas. Demostrando así pues que La curva de temperaturas promedio es mayor bajo el suelo acolchado que en el suelo desnudo. La tendencia de las curvas varía considerablemente con relación a la pigmentación de la película y de su composición química.

Robledo y Martín (1988) cuando se refieren a los efectos y ventajas del acolchado de suelos mencionan que la curva de temperaturas promedio es mayor bajo el suelo acolchado que en el suelo desnudo.

Parchomchuk (1976) menciona que la temperatura del agua que fluye en las tuberías de polietileno expuestas a la radiación solar aumenta con la distancia. Este investigador midió un incremento en la temperatura del agua de 16 °C en una tubería de polietileno de 37 metros de longitud expuesta a la radiación solar directa; mientras que en una tubería similar pero que fue enterrada a 15 cm de profundidad en el suelo el incremento fue de 6 °C.

Gilad *et al* (1968) midieron la distribución de la temperatura del agua a lo largo de una tubería plástica o de polietileno de 70 metros de longitud expuesta al sol y reportan un incremento de temperatura de 12 °C; la parte principal del incremento de la temperatura del agua fue en el extremo de la tubería en los últimos 15 metros.

Iglesias J.M (1988) menciona que en las zonas agrícolas donde se ha generalizado la microirrigación como sistema de riego, suelen darse condiciones que posibilitan notables incrementos en la temperatura del agua que circula a través de los ramales. En general, la velocidad en el interior de los ramales es baja, especialmente en tramos finales, lo que facilita aún más el calentamiento del agua.

Bello y Zazueta (1996) desarrollaron un modelo de simulación tanto para predecir las variaciones de temperatura y descarga a lo largo de líneas laterales de riego por goteo sujetas a radiación solar, como para evaluar los efectos de la temperatura sobre la descarga de los emisores, y encontraron que el efecto era mayor en la parte final de la línea y cuando el nivel de radiación es alto. Lo anterior puede influir en la descarga, dependiendo del tipo de emisor empleado.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Características del Sitio Experimental**

##### **3.1.1. Localización**

El presente trabajo experimental se realizó en el laboratorio de Agropásticos del Centro de Investigación en Química Aplicada (C.I.Q.A.), ubicado al Noreste de la ciudad de Saltillo, Coahuila, México; con coordenadas geográficas de 25° 27' de latitud Norte, 100° 02' de longitud oeste y una altura de 1610 msnm.

#### **3.2. Material y Equipo Para el Desarrollo del Trabajo.**

- Depósito de 5,000 litros
- Bomba centrífuga de 7.5 Hp
- Red hidráulica con tubería de aluminio, pvc y poliducto
- Filtros de arena
- Filtros de malla
- Calentador (Boyle) de capacidad volumétrica 106 litros
- Banco de pruebas hidráulicas o mesa hidráulica
- Válvula de esfera
- Válvula de aguja
- Probetas
- Embudos
- Cronómetro
- Manómetros
- Termómetros
- Termopares de cobre constantan
- Micrologger 21X(L) Campbell Scientific
- Tijera
- Pinzas
- Desarmador plano
- Ocho cintas de riego comerciales (T-tape, Chapin, Aqua-traxx, Rain tape, Roberts, Pathfinder, Streamline y Hidromatic) en tramos de prueba de 7.5 metros.

### 3.3. Metodología

La metodología utilizada para la realización de las pruebas esta apegada a la norma: **NMX-E-225-1998-SCFI** “Requisitos Mecánicos y Funcionales de Cintas de Goteo para su Instalación y Operación en Campo Especificaciones y Métodos de Prueba”. Las pruebas realizadas se describen bajo el siguiente orden: coeficiente de variación (C.V.), el índice de sensibilidad a la temperatura y curva característica del emisor.

#### 3.3.1. Coeficiente de variación de manufactura (C.V.)

Se utilizo una mesa de pruebas hidráulicas que esta equipada con los elementos necesarios para realizar dicha prueba, esta mesa cuenta con el equipo que exige la norma **NMX-E-225-1998-SCFI** “Equipo de presión hidrostática capaz de estabilizar progresivamente y sin golpes hidráulicos, la presión y gasto necesarios en un intervalo de 10 a 30 segundos, sostenerla dentro de 2 % de variación y contar con indicadores de presión con una división mínima de escala de 1 kPa (0.01 Kgf7cm<sup>2</sup>).

Se evaluaron ocho cintas comerciales de riego con las siguientes especificaciones:

**Cuadro 3.1. Especificaciones de las ocho cintas de riego por goteo evaluadas.**

Cinta de riego	Gasto/Gotero en LPH	Espaciamiento entre aspersores en Cm.	Espesor en Milésimas de pulgadas.
T-tape	1.02	30	8 mil
Chapin	1.13	30	8 mil
Aqua-traxx	1.02	30	8 mil
Rain tape	1	30	9 mil
Roberts	.894	30	8 mil
Pathfinder	1.4	40	15 mil
Streamline	.98	30	8 mil
Hidromatic	1	30	15 mil

El tramo de cinta de goteo utilizada fue de 7.5 metros que consta de 24 goteros aproximadamente.

#### **3.3.1.1. Procedimiento**

a) Colocación del tramo de cinta en los conectores.

El tramo de la cinta se colocó en el sentido adecuado; es decir siguiendo el sentido del flujo del agua se colocó de la siguiente manera: Entrada al filtro, laberinto y descarga o salida. Con la finalidad de aforar la mayor cantidad de goteros que por lo general fueron 24 goteros por cinta.

b) Llenar el sistema con agua para purgar el aire.

Debido a que la bomba es de 7.5 caballos de potencia (Hp) fue necesario colocar un retorno del agua al depósito con una válvula tipo globo que nos permitiera manejar un rango de presión adecuado para realizar las pruebas. El agua utilizada es de pozo profundo y fue necesario utilizar filtros de arena y mallas de 200 mesh equivalente a 100 micras ( $\mu\text{m}$ ).

c) Presurizar la probeta o tramo de cinta en un intervalo de 10 a 30 segundos, hasta la presión deseada.

Para controlar la presión a la entrada de la cinta se utilizaron válvulas de tipo esfera y una válvula tipo aguja para tener mejor precisión.

Se utilizaron manómetros con una graduación de 0 a 15 psi y con una división mínima de escala de 1 psi.

Para esta prueba de coeficiente de variación (C.V.) se trabajó con dos presiones ocho psi y 12 psi.



d) Regular a la temperatura deseada.

La temperatura se controlaba por medio de válvulas de esfera que permitían el paso de agua fría y caliente, se monitoreaba con cuatro termopares de cobre constantan conectados a un Micrologger 21X(L) Campbell Scientific. Los termopares estaban colocados al inicio, a  $\frac{1}{4}$ , a  $\frac{3}{4}$  y al final del tramo de la cinta. Se logro estabilizar la temperatura con un margen de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  y se manejaron cuatro temperaturas 23, 28, 33 y 38  $^{\circ}\text{C}$ .

e) Medición de los gastos

La medición de los gastos se realizo cuando la temperatura y la presión tenían una variación mínima. Para el aforo se utilizaron probetas de 100 ml de capacidad y graduadas a cada 1 ml.

f) Registro de datos

El gasto medido para cada punto de emisión se anotó separadamente y se realizaron 4 repeticiones por cada presión con su respectiva temperatura.

**Cuadro 3.2. Ejemplo de captura y análisis de datos para el coeficiente de variación de las cintas evaluadas.**

Coeficiente de variación  
Nombre de la cinta: T – tape

Fecha de prueba: 11/03/03  
Temperatura: 23 °C  
Hora de inicio: 08:31  
Hora de fin: 09:56  
Tiempo de aforo: 5 minutos  
Presión de la prueba: 8 psi  
Unidades: ml / tiempo de aforo

Fecha de prueba: 11/03/03  
Temperatura: 23 °C  
Hora de inicio: 08:31  
Hora de fin: 09:56  
Tiempo de aforo: 5 minutos  
Presión de la prueba: 8 psi  
Unidades: LPH

Gotero	R1	R2	R3	R4	Media(X)
1	88.5	88.5	89	88.5	88.6250
2	87	87.5	87.5	87	87.2500
3	90	90	90	90	90.0000
4	95.5	95	95.5	95	95.2500
5	91.5	92	92	91.5	91.7500
6	86.5	86	86.5	86	86.2500
7	93	93	93	93	93.0000
8	87.5	87	87.5	87	87.2500
9	89	88.5	88.5	88.5	88.6250
10	90.5	90.5	91	90.5	90.6250
11	90	90	90	90	90.0000
12	90	90	90	90	90.0000
13	92	91.5	91.5	91.5	91.6250
14	95	95	95	95	95.0000
15	90.5	90	90.5	90	90.2500
16	90.5	90	90.5	90	90.2500
17	88.5	88	88.5	88	88.2500
18	90.5	91	90.5	90.5	90.6250
19	91	91	91.5	91	91.1250
20	89	89	89	89	89.0000
21	93	93	93	93	93.0000
22	91	91	91	91	91.0000
23	92	92	92	92	92.0000
24					

Gotero	R1	R2	R3	R4	Media(X)
1	1.062	1.062	1.068	1.062	1.0635
2	1.044	1.05	1.05	1.044	1.0470
3	1.08	1.08	1.08	1.08	1.0800
4	1.146	1.14	1.146	1.14	1.1430
5	1.098	1.104	1.104	1.098	1.1010
6	1.038	1.032	1.038	1.032	1.0350
7	1.116	1.116	1.116	1.116	1.1160
8	1.05	1.044	1.05	1.044	1.0470
9	1.068	1.062	1.062	1.062	1.0635
10	1.086	1.086	1.092	1.086	1.0875
11	1.08	1.08	1.08	1.08	1.0800
12	1.08	1.08	1.08	1.08	1.0800
13	1.104	1.098	1.098	1.098	1.0995
14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.1400
15	1.086	1.08	1.086	1.08	1.0830
16	1.086	1.08	1.086	1.08	1.0830
17	1.062	1.056	1.062	1.056	1.0590
18	1.086	1.092	1.086	1.086	1.0875
19	1.092	1.092	1.098	1.092	1.0935
20	1.068	1.068	1.068	1.068	1.0680
21	1.116	1.116	1.116	1.116	1.1160
22	1.092	1.092	1.092	1.092	1.0920
23	1.104	1.104	1.104	1.104	1.1040
24					

Media=	1.0863	1.0850	1.0870	1.0842	1.0856
Desv.Est.=	0.0273	0.0278	0.0271	0.0280	0.0275
C.V.=	2.5173	2.5651	2.4888	2.5820	2.5321

g) Formulas empleadas

Conversión de mL a Lph:

$$Lph = \frac{\text{Volumen captado (mL)}}{\text{Tiempo de aforo (minutos)}} * \frac{60 \text{ min/h}}{1000 \text{ mL/L}}$$

Obtención del gasto medio ( $\bar{q}$ )

$$\bar{q} = \frac{\sum_1^n q_i}{n}$$

Calculo de la desviación estándar  $S_q$

$$S_q = \sqrt{\frac{\sum_1^n (q_i - \bar{q})^2}{n - 1}}$$

Calculo del coeficiente de variación de manufactura (C.V.)

$$C_v = \frac{S_q}{\bar{q}} \times 100$$

Donde:

n es el numero de observaciones

$q_i$  es el gasto de emisión observado

$\bar{q}$  es el gasto de emisión promedio de la muestra en litros por hora, y

$S_q$  es la desviación normal de los datos de emisión para la muestra.

### 3.3.2. Índice de sensibilidad

El estudio de sensibilidad a la temperatura se ha hecho utilizando el método de incremento porcentual de caudal relativo al caudal inicial en este caso es el caudal a una temperatura de 23 °C.

Las formulas utilizadas para este análisis fueron las siguientes:

$$\Delta\% = \frac{q_{(38)} - q_{(23)}}{q_{(23)}} * 100 \quad \therefore$$

$$\Delta\% = \frac{\Delta q}{q_{(23)}} * 100$$

Donde :

$\Delta\%$  = Incremento porcentual de caudal relativo al caudal inicial ( $q_{(23)}$ )

$\Delta q$  = Incremento de caudal

$q_{(38)}$  = Caudal a 38 °C.

$q_{(23)}$  = Caudal a 23 °C.

### 3.3.3. Curva característica del emisor

Se utilizo una mesa de pruebas hidráulicas que esta equipada con los elementos necesarios para realizar esta prueba. Esta mesa cuenta con el equipo que exige la norma **NMX-E-225-1998-SCFI** "Equipo de presión hidrostática capaz de estabilizar progresivamente y sin golpes hidráulicos, la presión y gasto necesarios en un intervalo de 10 a 30 segundos y sostenerla dentro de 2 % de variación y con indicadores de presión con una lectura mínima de escala de 10 kPa (0.1 kgf/cm<sup>2</sup>)."

Se evaluaron ocho cintas comerciales de riego, estas cintas evaluadas se muestran en el cuadro 3.1. del apartado correspondiente al coeficiente de variación (C.V.). El tramo de cinta de goteo utilizada fue de 7.5 metros que consta de 24 goteros aproximadamente.

### 3.3.3.1. Procedimiento

a) Colocación del tramo de cinta en los conectores.

El tramo de la cinta se colocó en el sentido adecuado; es decir siguiendo el sentido del flujo del agua se colocó de la siguiente manera: Entrada al filtro, laberinto y descarga o salida. Con la finalidad de aforar la mayor cantidad de goteros que por lo general fueron entre 23 y 24 goteros por cinta.

b) Llenar el sistema con agua para purgar el aire.

Debido a que la bomba es de 7.5 caballos de potencia (Hp) fue necesario colocar un retorno del agua al depósito con una válvula tipo globo que nos permitiera manejar un rango de presión adecuado para realizar las pruebas. El agua utilizada es de pozo profundo y fue necesario utilizar filtros de arena y mallas de 200 mesh equivalente a 100 micras ( $\mu\text{m}$ ).

c) Presurizar la probeta o tramo de cinta en un intervalo de 10 s a 30 s, hasta la presión deseada.

Para controlar la presión a la entrada de la cinta se utilizaron válvulas de tipo esfera y una válvula tipo aguja para tener mejor precisión. Se utilizaron manómetros con una graduación de 0 a 2  $\text{Kg}/\text{cm}^2$  y con una división mínima de escala de .02  $\text{Kg}/\text{cm}^2$ . En esta prueba se manejaron presiones de: 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.1, y 1.3  $\text{Kg}/\text{cm}^2$ .

d) Regular a la temperatura deseada.

La temperatura se controlaba por medio de válvulas de esfera que permitían el paso de agua fría y caliente, se monitoreaba con cuatro termopares de cobre constantan conectados a un Micrologger 21X(L) Campbell Scientific. Los termopares estaban colocados al inicio, a  $\frac{1}{4}$ , a  $\frac{3}{4}$  y al final del tramo de la cinta. Se logro estabilizar la temperatura con un margen de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  y se manejaron cuatro temperaturas 23, 28, 33 y 38  $^{\circ}\text{C}$ .

e) Medición de los gastos

Para la medición de los gastos se utilizaron probetas de 100 ml de capacidad y graduadas a cada 1 ml. La medición de los gastos se realizaron cuando la temperatura deseada era estable para esto se dejo transcurrir un tiempo de al menos 3 minutos después de alcanzar la presión de prueba ya que así lo estipula la norma. Además se cuidó de que no existieran variaciones en las presiones y cuando estas ocurrían se repetía la prueba.

f) Registro de datos

El gasto medido para cada punto de emisión se anotó separadamente y se realizaron 4 repeticiones por cada presión con su respectiva temperatura.

**Cuadro. 3.3. Ejemplo de captura y análisis de datos para curva característica de los emisores de las cintas evaluadas.**

Curva Característica de los emisores  
 Nombre de la cinta: T-tape  
 Fecha de prueba: 08/05/2003  
 Temperatura: 23 °C

Tiempo de aforo: 5 minutos  
 Presion aplicada: 0.1 kg/cm<sup>2</sup>  
 Unidad de medida: ml

Gotero	R1	R2	R3	R4
1	33	32.5	33	32.5
2	35	35	35	35
3	34	34	34	34
4	33	32.5	33.5	32.5
5	34	33	34.5	35
6	32	31.5	32.5	32
7	32	31.5	32	32
8	31	31	31.5	31
9	31.5	31.5	32	31.5
10	34	34	34	34
11	33	32	33	32
12	32.2	32	32.5	32
13	32	32	32.5	32
14	33	32.5	33	32.5
15	33	33	34	33
16	33	32	33	32
17	33.5	33	33.5	33
18	32	32	33	32
19	34	33	34	33
20	31.5	31	32	31
21	32	32	32.5	32
22	32.5	32	33	32
23	31	30.5	30.5	30.5

Unidad de medida: LPH

Gotero	R1	R2	R3	R4
1	0.396	0.39	0.396	0.39
2	0.42	0.42	0.42	0.42
3	0.408	0.408	0.408	0.408
4	0.396	0.39	0.402	0.39
5	0.408	0.396	0.414	0.42
6	0.384	0.378	0.39	0.384
7	0.384	0.378	0.384	0.372
8	0.372	0.372	0.378	0.378
9	0.378	0.378	0.384	0.408
10	0.408	0.408	0.408	0.384
11	0.396	0.384	0.396	0.384
12	0.3864	0.384	0.39	0.384
13	0.384	0.384	0.39	0.39
14	0.396	0.39	0.396	0.39
15	0.396	0.396	0.408	0.396
16	0.396	0.384	0.396	0.384
17	0.402	0.396	0.402	0.396
18	0.384	0.384	0.396	0.384
19	0.408	0.396	0.408	0.396
20	0.378	0.372	0.384	0.372
21	0.384	0.384	0.39	0.384
22	0.39	0.384	0.396	0.384
23	0.372	0.366	0.366	0.366

Media:

0.3924	0.3879	0.3957	0.3897
--------	--------	--------	--------

Valor obtenido para .1 kg/cm<sup>2</sup>

0.3914
--------

En la tabla anterior se obtuvo el valor de  $\bar{q}$  para una presión de .1 kg/cm<sup>2</sup> a una temperatura de 23 °C, este valor fue de 0.3914

Ese mismo procedimiento se aplica para cada presión y para cada temperatura. En el cuadro siguiente se muestran los datos correspondientes a 23°C.

**Cuadro 3.4. Datos de los gastos obtenidos a diferentes presiones para la cinta T-tape a una temperatura de 23 °C.**

Datos obtenidos a 23°C	
Presión	Gasto
H (Kg/cm <sup>2</sup> )	Q(LPH)
0.1	0.3914
0.3	0.7751
0.5	1.0020
0.7	1.1947
0.9	1.3420
1.1	1.4804
1.3	1.6034

Como la ecuación del emisor ( $q = a * H^b$ ) es exponencial, es necesario obtener los logaritmos de los valores de presión (H) y Gasto (Q); esto se realiza con la finalidad de poder utilizar una regresión lineal para encontrar los valores de a y b.

**Cuadro 3.5. Logaritmos de los valores de gasto y presión para correr la regresión lineal.**

Logaritmos de los datos	
Presión	Gasto
H (Kg/cm <sup>2</sup> )	Q(LPH)
-2.3025	-0.938
-1.2039	-0.255
-0.6931	0.002
-0.3566	0.178
-0.1053	0.294
0.0953	0.392
0.2623	0.472



Al realizar la regresión obtuvimos los siguientes parámetros:

**Cuadro 3.6. Parámetros a y b obtenidos al correr la regresión lineal**

Parámetros de regresión	
Valor de intersección (a)	0.3565
Valor de pendiente(b)	0.5459

Como es necesario regresar a la forma exponencial entonces el valor de la Intersección (a) queda de la siguiente manera:

$$e^{.3565} = 1.4283$$

Transformación de (a)= 1.4283

Y para este ejemplo la ecuación queda de la siguiente forma:

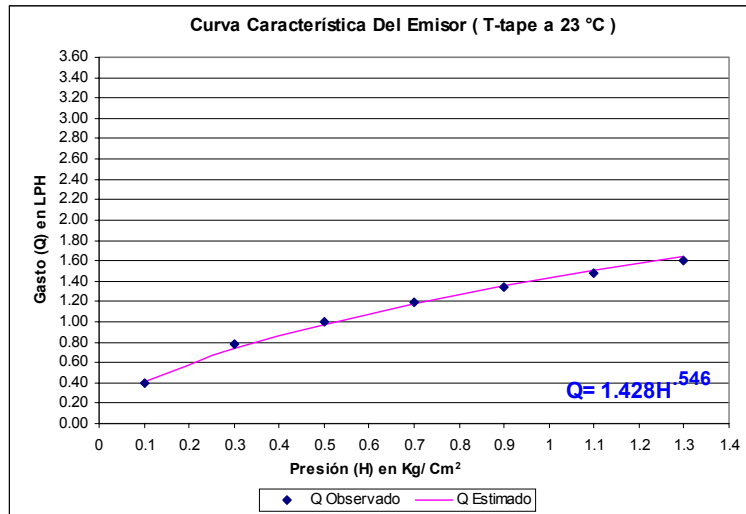
$$q = 1.428 H^{.546}$$

Con la ecuación anterior corregimos los datos de gastos, para eso sustituimos en H los valores de presiones.

**Cuadro 3.7. Valores de gasto corregidos con la ecuación del emisor correspondiente a la cinta T-tape a una temperatura de 23°C.**

Datos corregidos con la ecuación ( $q=1.428 H^{.546}$ )		
Presión	Q Observados	Q Estimados
H (Kg/cm <sup>2</sup> )	Qo(LPH)	Qe(LPH)
0.1	0.3914	0.406
0.3	0.7751	0.740
0.5	1.0020	0.978
0.7	1.1947	1.176
0.9	1.3420	1.349
1.1	1.4804	1.505
1.3	1.6034	1.648

Con los datos del cuadro anterior realizamos una gráfica y obtenemos la curva característica de este emisor T-tape a 23°C.



**Grafica 3.1. Curva característica del emisor correspondiente a la cinta T- tape a una temperatura de 23 °C.**

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En esta capítulo se presentaran los resultados obtenidos de esta investigación y se discutirá cada uno los parámetros evaluados empezaremos con el efecto de la temperatura en el coeficiente de variación (CV), posteriormente se discutirá el análisis de sensibilidad de variación del gasto en función de la temperatura y finalmente se discutirá el efecto de la temperatura en los parámetros de la curva característica del emisor.

De acuerdo con la norma NMX-E-225-1998-SCFI, todas las cintas de riego por goteo cumplen satisfactoriamente dentro de la categoría A que es la mas rigurosa. Esta norma clasifica a las cintas en dos categorías la categoría A con un coeficiente de variación menor de 5%, y la categoría B con un coeficiente de variación mayor de 5% pero menor de 10 %. Cabe mencionar que la única cinta de las 8 evaluadas que presenta un coeficiente mayor del 5% es la cinta Robers y esta misma tendencia se presento para la presión de operación de 12 psi, como se muestra en el cuadro 4.1.

Los valores de coeficiente de variación (C.V.) representan el grado de manufactura de es decir lo bien echo que están los goteros y que el proceso de fabricación es igual para todos los goteros y no es función del diseño hidráulico.

**Cuadro 4.1. Coeficiente de variación (C.V.) en % de 8 cintas de riego por goteo bajo condiciones de 4 temperaturas y 2 presiones.**

Cintas	Presion	Temperaturas °C			
	psi	23	28	33	30
T-Tape	8	2.53	2.37	2.47	2.55
	12	2.23	1.99	2.08	1.06
Chapin	8	1.12	1.15	1.07	1.00
	12	0.96	1.05	1.03	1.00
Aqua-Traxx	8	2.36	2.22	2.06	1.83
	12	2.13	1.04	1.90	1.09
Rain Tape	8	4.87	4.72	4.55	4.45
	12	4.31	4.41	4.49	4.36
Roberts	8	5.99	8.04	7.77	7.78
	12	5.77	6.05	15.26	23.19
Pathfinder	8	1.56	1.60	1.65	1.66
	12	1.70	1.73	1.70	2.45
Streamline	8	2.3	2.32	2.37	2.52
	12	2.59	2.54	2.54	2.38
Hydromatic	8	2.13	2.13	2.01	1.922
	12	2.06	1.97	1.94	1.98

La cinta que presento el rango de mayor de coeficientes de variación por efecto de temperatura fue también la cinta Roberts, esto debido a su proceso de fabricación en la cual la entrada del agua al emisor es la unión de la película con la que se realiza la cinta.

Con respecto a la presión se puede observar que el coeficiente de variación bajo al cambiar la presión de operación de 8 psi a 12 psi, esto demuestra que se obtiene valores mas estables a presiones mayores pero no se presentan valores muy diferentes demostrando que el coeficiente de variación esta en función de los procesos de manufactura de las cintas de riego por goteo.

Se realizo un análisis de varianza utilizando un diseño estadístico en bloques al azar con arreglo en parcelas subdivididas ( A\*B\*C) donde los factores fueron: A= 8 Cintas, B= 4 Temperaturas, C= 2 Presiones y 4 Repeticiones.

Los resultados encontrados en el análisis de varianza fue diferencias estadísticas para cintas de riego, lo que indica que a pesar de que la mayoría de las cintas de riego, con excepción de Roberts todas cumplen con la norma mexicana de cintas de riego, cabe hacer mención que en la actualidad las cintas de riego no se fabrican de la misma manera. Se puede mencionar que existen cintas con el laberinto del gotero grabado en la pared de la cinta de riego (Roberts y Rain- Tape), También existen cintas que contienen un material que permite sellar la película para formar la cinta de riego y con este material que permite pegara la cinta se forma el laberinto del gotero ( T-Tape y Chapin ), también existen cintas con una tira en interior en donde se encuentra grabado el laberinto del gotero (PhatFinder y Aqua-Traxx) y finalmente cintas en las cuales el gotero es independiente de la cinta, es un pequeño gotero que se pega a la pared interior del la cinta de riego( Streamline y hydromatic)

**Cuadro 4.2. Medias de coeficiente de variación (CV) de 8 cintas de riego por goteo evaluadas en condiciones de 4 temperaturas del agua y dos presiones de operación**

Cintas de riego por goteo	MEDIA
T.Tape	2.36
Chapin	1.07
Aqua Traxx	2.05
Rain Tape	4.55
Roberts	10.03
Pathfinde	1.76
Streanline	2.45
Hydromatic	2.03

**Cuadro 4.3. Medias de coeficiente de variación (CV) de cuatro temperaturas del agua de 8 cintas de riego y dos presiones de operación.**

<b>Temperatura del agua en °C</b>	<b>MEDIA</b>
23	2.80
28	2.95
33	3.45
38	3.94

**Cuadro 4.4. Medias de coeficiente de variación (CV) de dos presiones de operación de 8 cintas de riego y a cuatro temperaturas del agua de riego.**

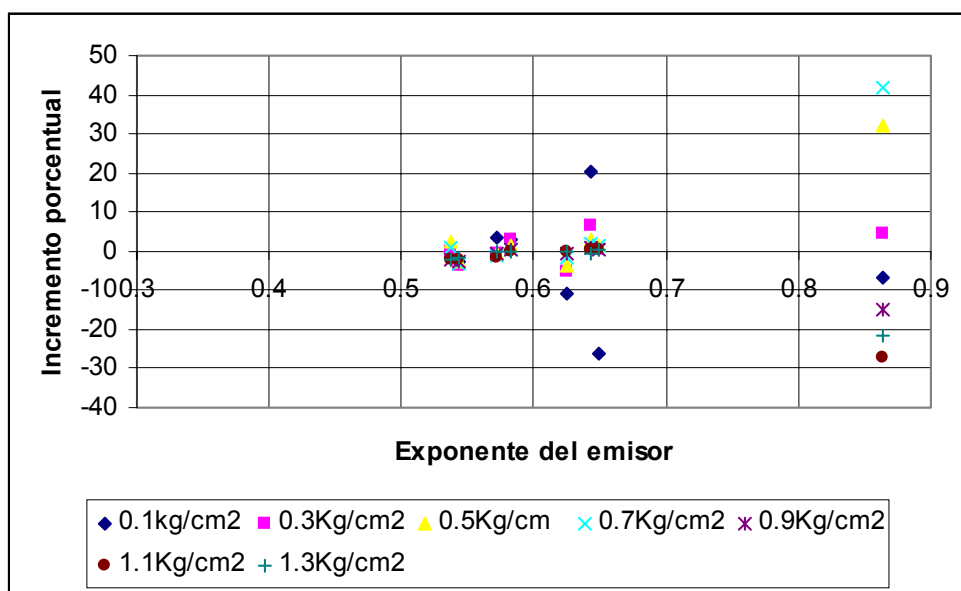
<b>Presión de operación</b>	<b>MEDIA</b>
8 psi	3.00
12 psi	3.57

Los resultados de la medias del coeficiente de variación para temperaturas y presiones se encontró diferencia estadística significativa, a aun cundo todos los valores se encuentran dentro del rango de la norma mexicana para cintas de riego y se puede clasificar como categoría A, se puede observar que los cambios en temperatura afectan al funcionamiento de las cintas de riego (Cuado 4.3 y Cuadro 4.4 )

Los resultados del análisis de sensibilidad determinados mediante el incremento porcentual de caudal relativo al caudal inicial de  $(q_{(23)})$ , se presentan en el cuadro 4.5.

**Cuadro 4.5. Incremento porcentual de caudal relativo al caudal inicial  $(q_{(23)})$  de ocho cintas de riego por goteo.**

Cintas	Presión ( Kg/cm <sup>2</sup> )						
	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3
T-tape	-0.4565	-0.2692	2.6228	0.7097	-2.0471	-1.9530	-2.3590
Chapin	2.8186	2.7519	1.4602	0.2966	0.2337	0.0352	-0.1786
Aqua-Traxx	20.1053	6.7764	3.1919	1.9055	0.8032	0.2803	-0.6825
Rain Bird	-26.4351	0.3446	1.5579	1.2939	0.5830	0.5452	0.6287
Roberts	-6.8611	4.6944	32.1055	41.8528	-14.9035	-27.3301	-21.7599
Pathfinder	-11.0260	-5.3171	-3.9423	-1.3956	-0.6663	-0.3352	-0.2726
Streamline	-2.4609	-3.4415	-2.5906	-3.1225	-2.8089	-2.1714	-1.5220
Hydromatic	3.6369	-0.6043	-0.7998	-1.1295	-0.5634	-1.4083	-0.2884



**Grafica 4.1. Relación de incremento porcentual del gasto del emisor con relación al exponente de ecuación de las 8 cintas de riego por goteo**

En el cuadro 4.5. se muestran los valores del incremento porcentual del gasto relativo al gasto inicial. Tal como se aprecia en la Grafica 4.1 donde se representa dichos incrementos porcentuales en función del exponente de la ecuación del emisor, no muestra un tendencia lineal entre ambos parámetros. De esta tendencia se puede deducir que la temperatura afecta tanto a la viscosidad del agua como al material del cual se fabrican las cintas de riego ya que caso contrario para exponentes de 0.5 a 0.6 se observa como no hay variaciones lo que nos da una idea de una mayor estabilidad tanto del gasto como del material con que están fabricadas las cinta de riego y en nuestro caso se considerarían como mejores las cintas T-Tape y Streamline y la peor seria la Roberts con un valor de exponente de 0.86

Efecto de la temperatura del agua en los parámetros de la ecuación del emisor para ocho cintas de riego por goteo.

**Cuadro 4.6. Ecuaciones del emisor para 8 cintas de riego por goteo evaluadas a cuatro temperaturas del agua de riego.**

Cintas	Temperaturas en °C			
	23	28	33	38
R <sup>2</sup> =	0.9579	0.9588	0.9557	0.9422
T-tape	Q=1.428H <sup>.546</sup>	Q=1.418H <sup>.534</sup>	Q=1.411H <sup>.544</sup>	Q=1.414H <sup>.538</sup>
R <sup>2</sup> =	0.9662	0.9653	0.9644	0.9631
Chapin	Q=1.338H <sup>.595</sup>	Q=1.34H <sup>.586</sup>	Q=1.341H <sup>.584</sup>	Q=1.341H <sup>.582</sup>
R <sup>2</sup> =	0.9573	0.9571	0.9576	0.9528
Aqua-Traxx	Q=1.468H <sup>.715</sup>	Q=1.472H <sup>.688</sup>	Q=1.466H <sup>.654</sup>	Q=1.467H <sup>.643</sup>
R <sup>2</sup> =	0.9277	0.9331	0.9347	0.8965
Rain Bird	Q=1.189H <sup>.538</sup>	Q=1.188H <sup>.517</sup>	Q=1.186H <sup>.514</sup>	Q=1.227H <sup>.649</sup>
R <sup>2</sup> =	0.7010	0.6126	0.5525	0.4523
Roberts	Q=2.483H <sup>.939</sup>	Q=2.446H <sup>.876</sup>	Q=2.294H <sup>.82</sup>	Q=2.329H <sup>.864</sup>
R <sup>2</sup> =	0.9614	0.9637	0.9565	0.9648
Pathfinder	Q=1.889H <sup>.579</sup>	Q=1.887H <sup>.6</sup>	Q=1.898H <sup>.662</sup>	Q=1.878H <sup>.625</sup>
R <sup>2</sup> =	0.9558	0.9575	0.9563	0.9615
Streamline	Q=1.002H <sup>.54</sup>	Q=0.995H <sup>.533</sup>	Q=0.996H <sup>.543</sup>	Q=0.978H <sup>.543</sup>
R <sup>2</sup> =	0.9600	0.9638	0.9619	0.9642
Hydromatic	Q=1.728H <sup>.588</sup>	Q=1.713H <sup>.581</sup>	Q=1.716H <sup>.58</sup>	Q=1.709H <sup>.572</sup>



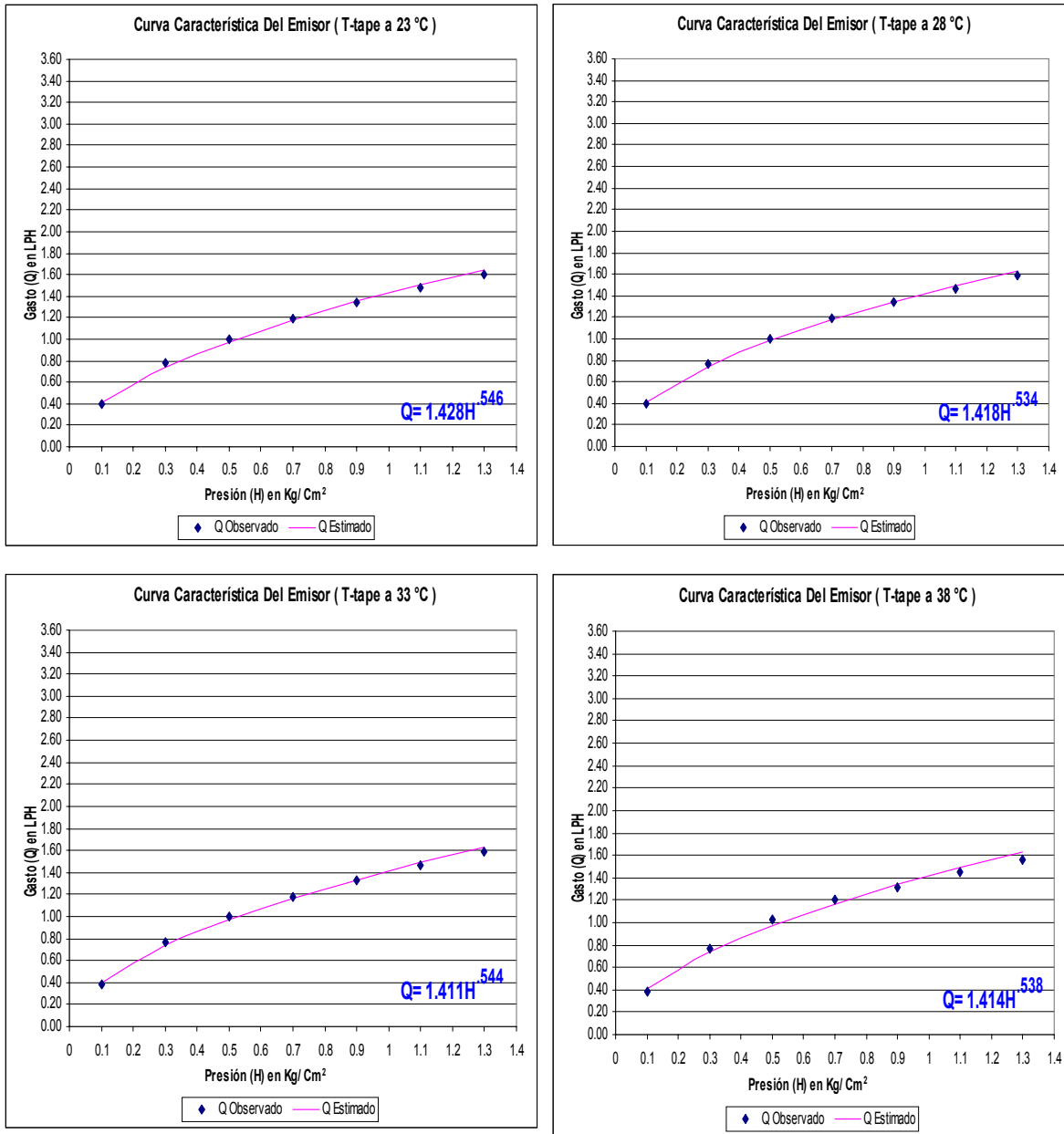
En en el cuadro 4.6 se puede observar que el coeficiente de determinación de la cintas cuya manufactura es con el laberinto grabado en la pared de la cinta, presenta los valores de  $r^2$  mas bajos en promedio 0.57, también se observa que conforme se incrementa la temperatura hasta 38°C los valores son mas bajos, demostrando el efecto de la temperatura en la manufactura de este tipo de cinta la Roberts y Rain Tape.

En este mismo cuadro se observa que la cintas de riego por goteo que presenta un mejor ajusta a la curva característica de un emisor son la Streamline y Hydromatic, que son cintas que contiene el gotero independiente y de una forma mas rígida del emisor con un valor en promedio de 0.96 estos datos coinciden (Zur 1981).

Con respecto al emisor se puede observar que la cinta que presento el valor de exponente menor en las cuatro temperaturas fue Streamline lo que refuerza la anteriormente dicho con un valor promedio de 0.53, seguido de T-Tape con 0.54 y Chapin con 0.58. También se puede observar que las cintas que presentaron un valor del exponente mayor y que tienden a trabajar en un régimen laminar son Robert y Rain Tape con 0.87 y 0.77 respectivamente.

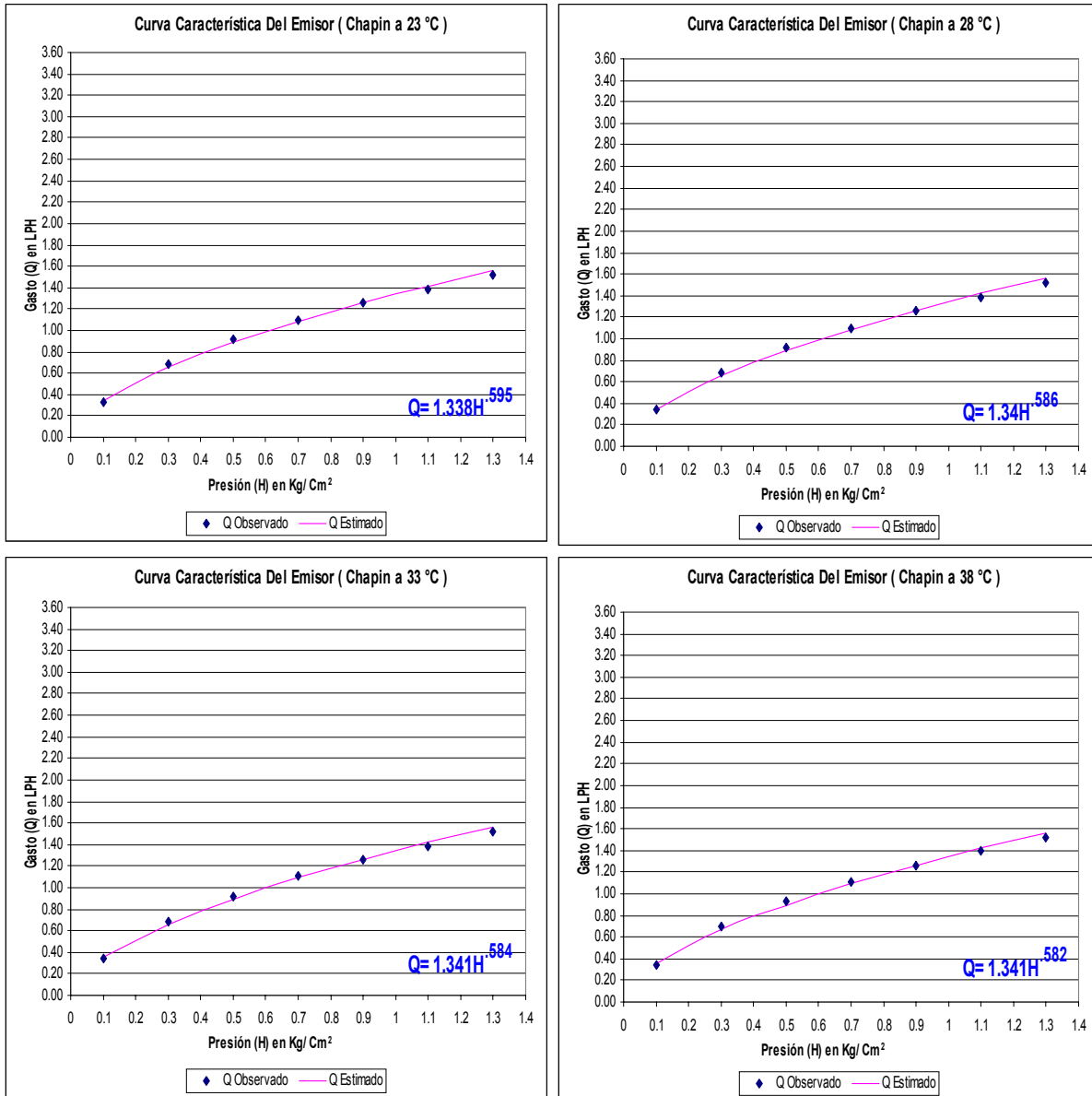
Efecto de la temperatura del agua en la tendencia de la curva característica del emisor.

A continuación presentaremos las curvas características de cada una de las cintas a diferentes temperaturas (23, 28, 33 y 38 °C).



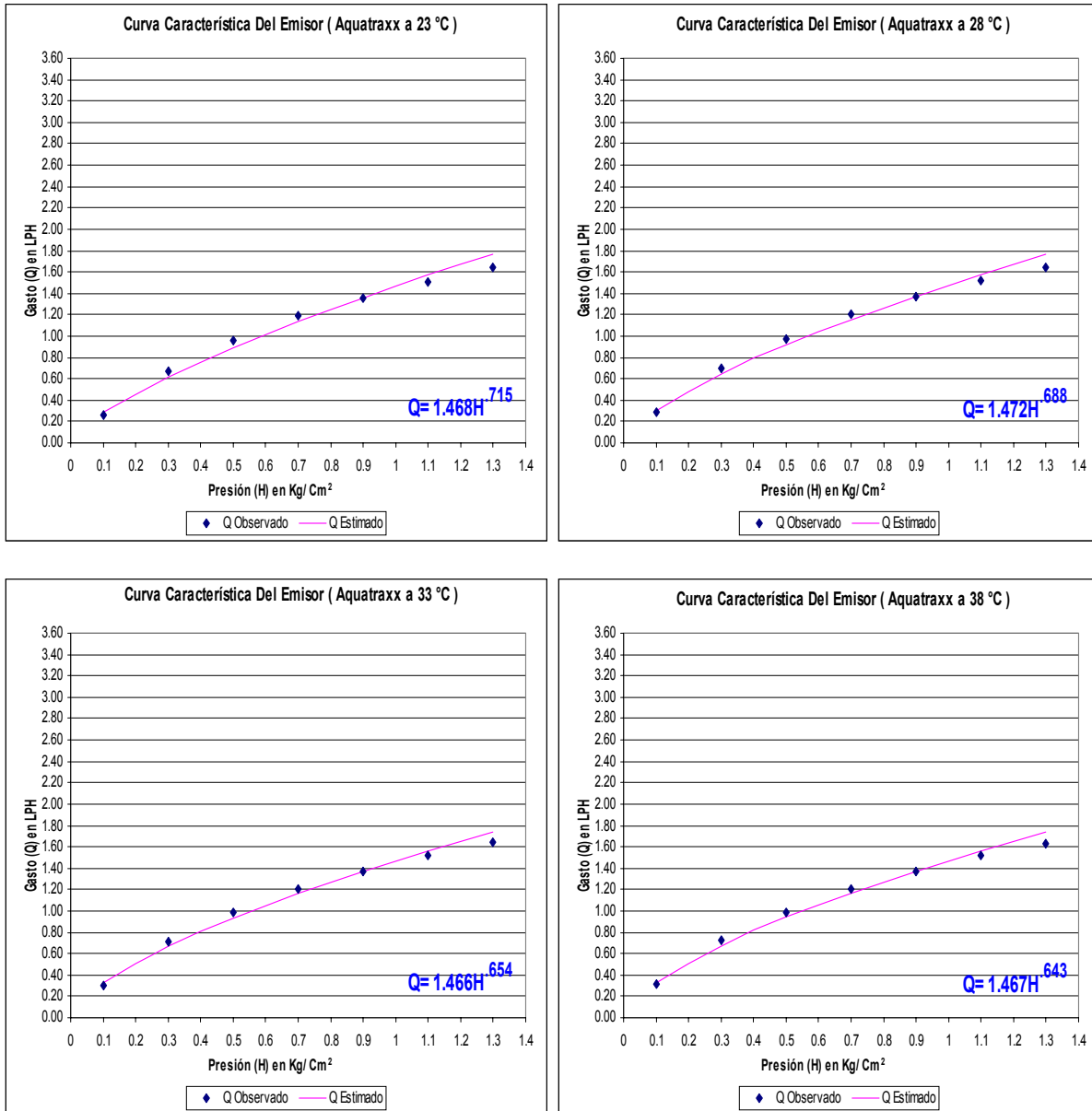
**Grafica 4.2. Curva característica del emisor para la cinta de riego T-Tape en cuatro temperaturas de agua de riego.**

En las curvas características de los emisores de la cinta T-tape podemos observar una tendencia similar en las cuatro temperaturas lo que demuestra que esta cinta trabaja bajo el régimen de flujo turbulento.



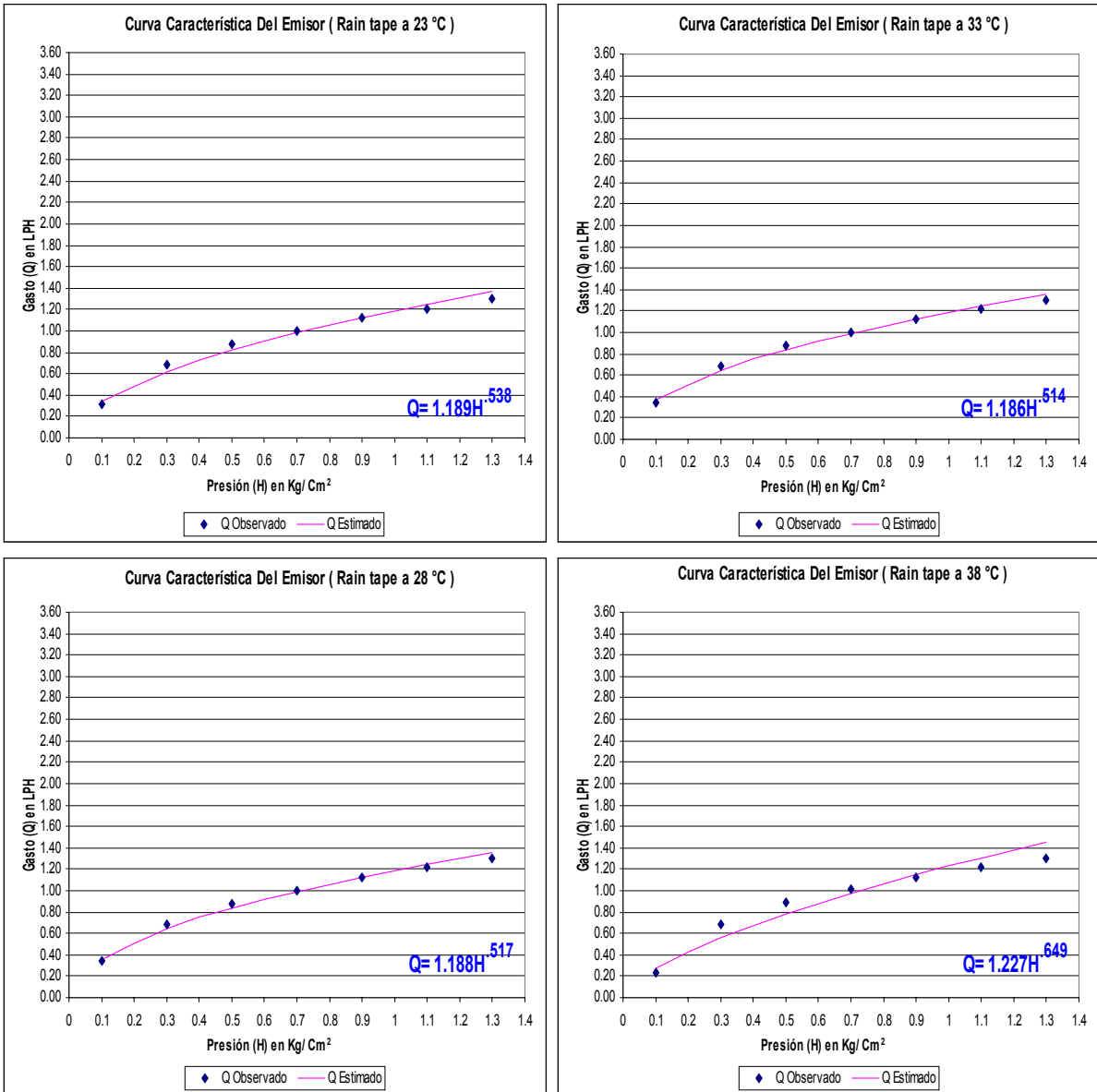
**Grafica 4.3. Curva característica del emisor para la cinta de riego Chapin en cuatro temperaturas de agua de riego.**

Gráficamente resulta difícil observar que esta cinta presenta un decremento en el valor del exponente a medida que aumenta la temperatura pero si observamos la ecuación notaremos que a una temperatura de 23 °C esta cinta presenta un valor de exponente muy cercano a .6 eso nos indica que su régimen de flujo no es completamente turbulento pero que si es aceptable.



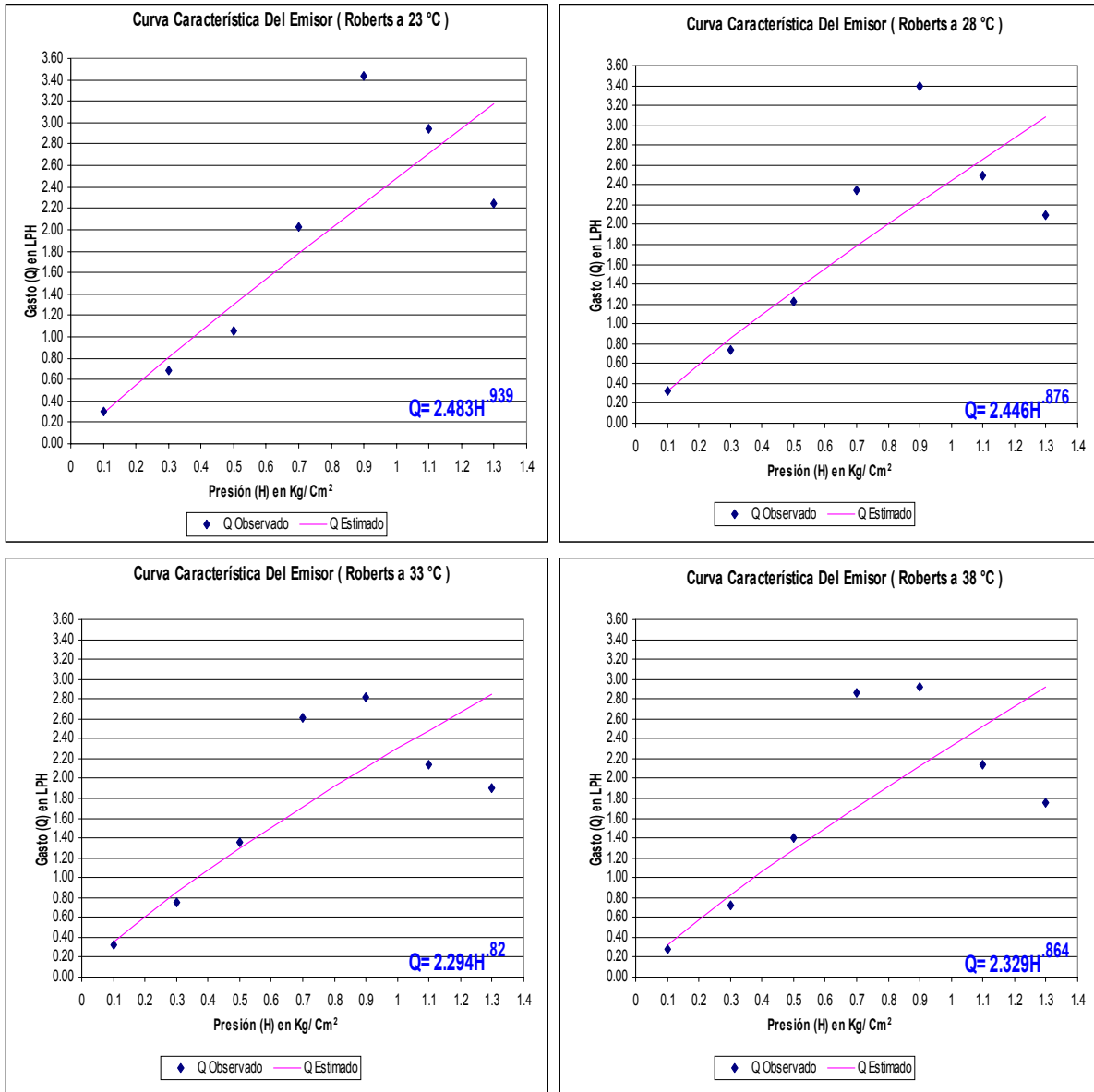
**Grafica 4.4. Curva característica del emisor para la cinta de riego Aquatraxx en cuatro temperaturas de agua de riego.**

En las curvas características de esta cinta podemos observar que a 23 °C la curva presenta un grado de inclinación mayor y es que a esta temperatura presenta un valor del exponente de 0.715 el cual es característico de un régimen de flujo laminar ya que esta muy alejado de 0.5.



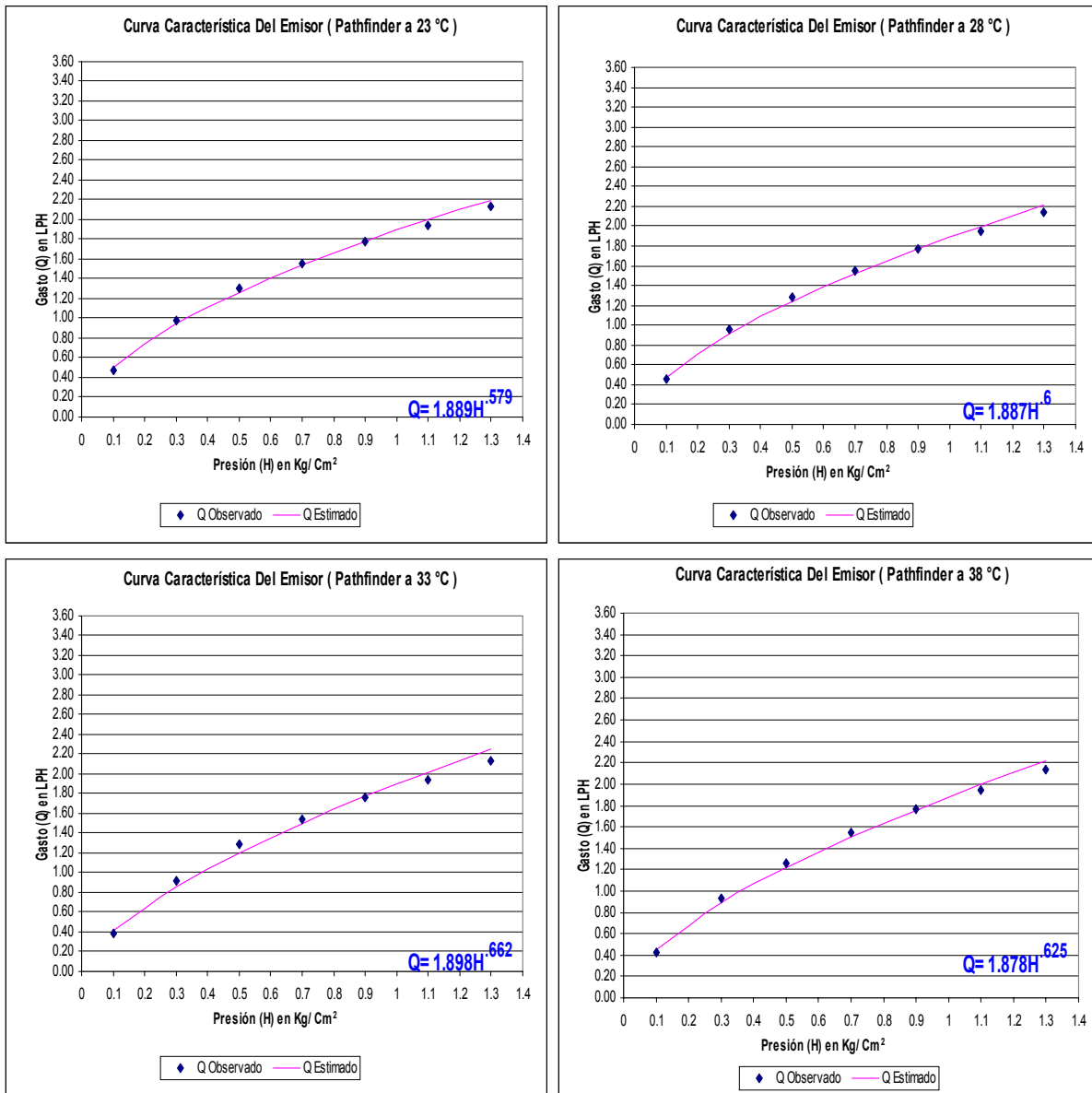
**Grafica 4.5. Curva característica del emisor para la cinta de riego Rain Tape en cuatro temperaturas de agua de riego.**

Esta cinta en las temperaturas de 23, 28, y 33 °C mantiene exponentes de .5 pero a una temperatura de 38 °C el exponente incrementa tomando un valor de .649 esto nos indica que su régimen de flujo se ve afectado solamente a temperaturas altas.



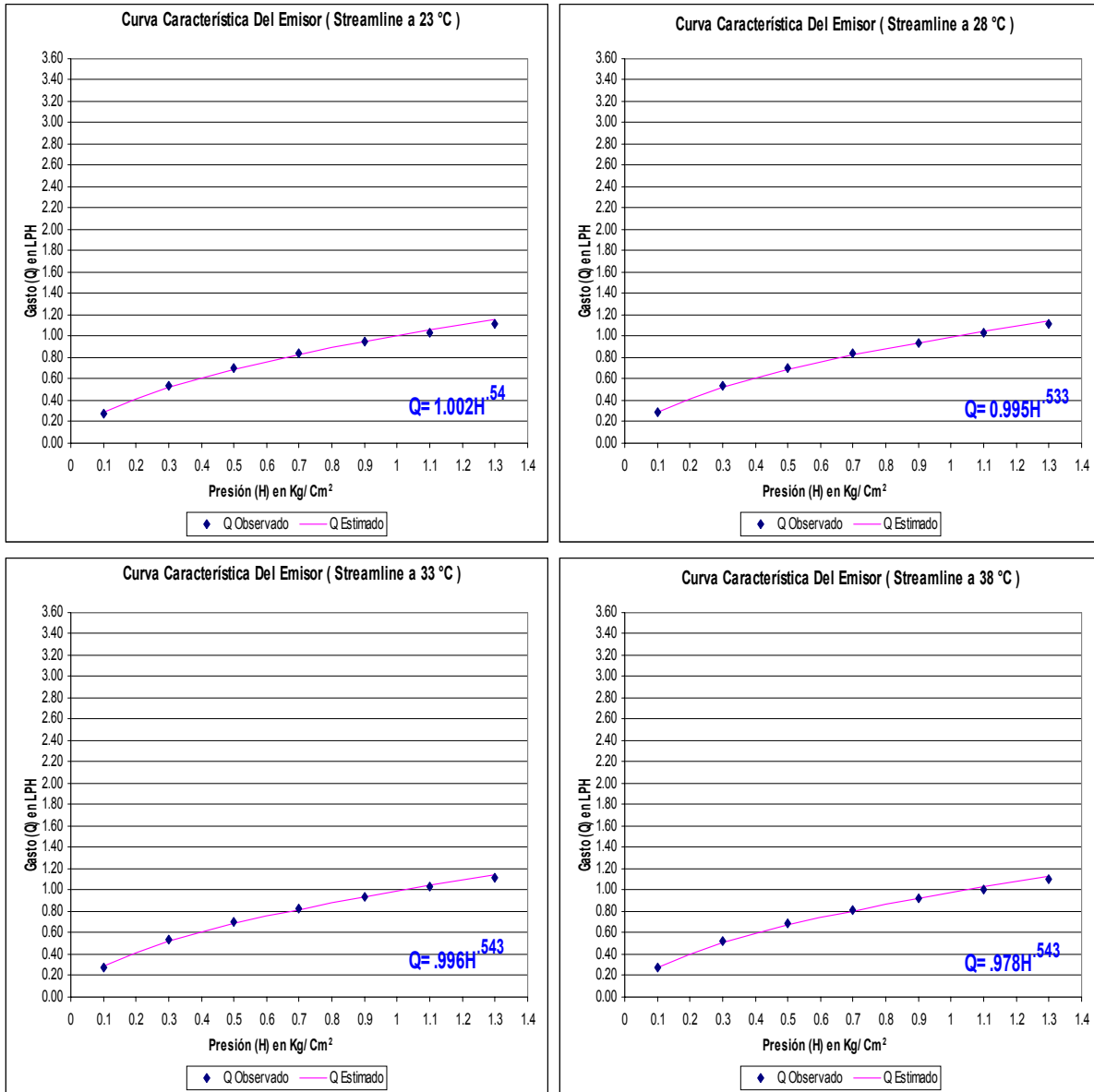
**Grafica 4.6. Curva característica del emisor para la cinta de riego Roberts en cuatro temperaturas de agua de riego.**

Esta cinta presenta variaciones muy notorias como por ejemplo a los 23 °C tiene un valor de exponente de .939 podemos asegurar que esta cinta trabaja en un régimen laminar ya que sus exponentes son cercanos a uno.



**Grafica 4.7. Curva característica del emisor para la cinta de riego Pathfinder en cuatro temperaturas de agua de riego.**

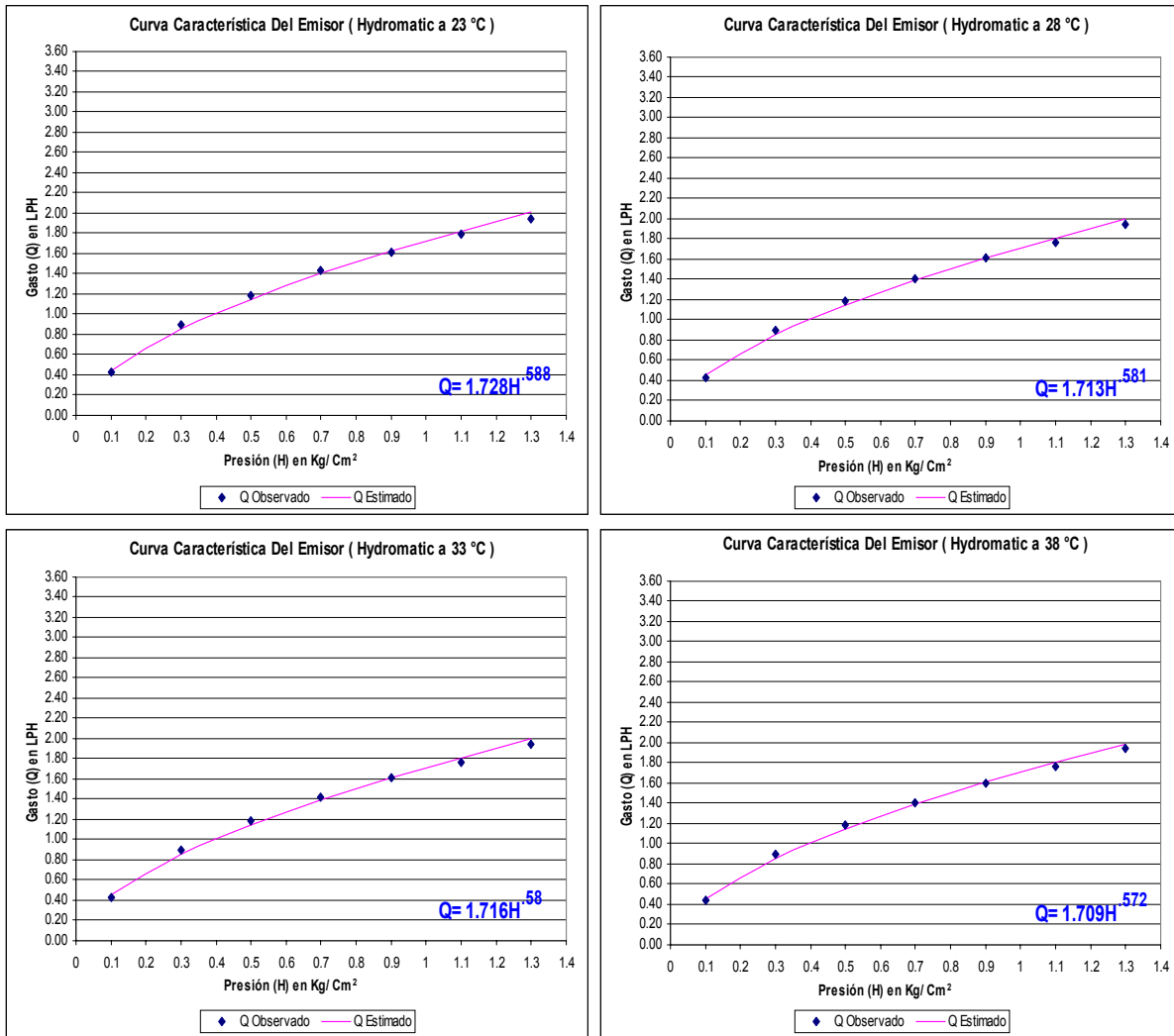
En las curvas características de los emisores de esta cinta se observan valores de exponente de 0.6 lo que indica que el régimen no es completamente turbulento.



**Grafica 4.8. Curva característica del emisor para la cinta de riego Streamline en cuatro temperaturas de agua de riego.**

Podemos observar que las curvas características de los emisores de esta cinta son los mas apegados a un curva característica de los emisores que trabajan en un régimen de flujo turbulento además de que no se aprecia variación alguna al incrementar la temperatura.





**Grafica 4.9. Curva característica del emisor para la cinta de riego Hydromatic en cuatro temperaturas de agua de riego.**

En las curvas características de los emisores de esta cinta se observan exponentes de 0.58 aunque no trabaje en un régimen completamente turbulento se mantiene estable.

En las graficas anteriores podemos observar que las cintas que presentan valores de exponentes cercanos a 0.5 y que además presentan poca variación en las tendencias de las curvas con respecto a las temperaturas son Streamline y T-tape y la que presenta mas variaciones y exponentes altos es la Roberts.

Tomando en cuenta que los goteros que trabajan en un régimen de flujo laminar ( $x=1$ ) se ven mas afectados por la temperatura que los que trabajan en régimen de flujo turbulento ( $x=0.5$ ) tendremos entonces que la cinta Roberts es la mas afectada por los efectos de la temperatura y las menos afectadas son la streamline y T-tape.

## V. CONCLUSIONES

La mayoría de los emisores de las cintas de riego por goteo presentan sensibilidad a la temperatura unos en mayor escala que otras por efecto de régimen hidráulico así como por manufactura principalmente.

Es muy cierto que el incremento de la temperatura modifica la viscosidad cinemática del agua y este efecto repercute en el caudal de los emisores ya sea incrementando o disminuyendo el caudal; pero para el caso de los emisores de las cintas evaluadas en este trabajo no respondieron con patrones lineales de incremento o decremento en gastos mas bien fueron variaciones muy marcadas pero sin seguir una proporción directa o inversa.

A si como resultaron emisores que prácticamente quedan exentos del efecto de la temperatura del agua ya sea por el diseño de su pequeño gotero pegado y rígido a la pared interior de la cinta (Streamline y Hydromatic) o por su diseño de laberinto (T-tape) también resultaron emisores que resultan grandemente afectados por la temperatura del agua como es el caso de los emisores de la cinta Roberts.

La mayoría de las cintas de riegos están encaminadas a emplear emisores con diseños especiales que permitan reducir esos efectos que repercuten en una variación de gasto.

## VI. RESUMEN

En los tiempos actuales la agricultura esta viviendo una situación muy preocupante que es la poca disponibilidad de agua de calidad para producir. Cada vez mas el agua disponible se escasea por que durante años no hemos hecho un uso racional de ella; ante esta preocupante alarma surgen nuevas estrategias de produccion de cultivos que nos permiten hacer un buen uso del vital liquido; una de esas estrategias es la implementación de tecnología para producir alimentos con la cantidad de agua justa y necesaria; tal es el caso del riego por goteo bajo acolchado plástico que nos permite ahorrar una considerable cantidad de agua, pero no basta con adoptar y hacer uso de esas estrategias, necesitamos estar seguros que es la mejor de todas, es por eso que es necesario encontrar hasta el mas mínimo detalle para dar crédito a dicha tecnología.

Sabemos que el riego por goteo con cintas bajo acolchado plástico es muy eficiente y que nos proporciona muchas ventajas, pero actualmente existen infinidad de cintas comerciales que al parecer son casi idénticas.

La mayoría de los productores de hortalizas adquieren cintas de riego sin importarles los parámetros que definen a una cinta como buena o mala. En el presente trabajo mencionamos algunos de esos parámetros y utilizamos herramientas científicas para llegar a una buena conclusión y esta es saber que cinta de riego es mas eficiente.

En esta investigación determinamos el coeficiente de variación (C.V.) que es el que nos dice que tan bien hechos están los emisores de las cintas de riego, obtuvimos la curva característica de los emisores de las cintas para saber en que régimen hidráulico están trabajando y saber si se ven afectados o no por el incremento de temperatura.

Estas evaluaciones son de mucha importancia por que nos ayudan a decidir ante una situación tan común como la de escoger una buena cinta de riego.

En la medida que seamos analíticos y aprendamos a tomar decisiones con buenas bases en esa medida llegaremos a producir y a solventarnos económicamente.

El coeficiente de determinación de la cintas cuya manufactura es un laberinto grabado en la pared de la cinta, presenta los valores de  $r^2$  mas bajos en promedio 0.57, también se observa que conforme se incrementa la temperatura hasta 38°C los valores son mas bajos, demostrando el efecto de la temperatura en la manufactura de este tipo de cinta la Roberts y Rain Tape.

Las cintas de riego por goteo que presenta un mejor ajusta a la curva característica de un emisor son la Streamline y Hydromatic, que son cintas que contiene el gotero independiente y de una forma mas rígida del emisor con un valor en promedio de 0.96 .Con respecto al emisor se puede observar que la cinta que presento el valor de exponente menor en las cuatro temperaturas fue Streamline lo que refuerza la anteriormente dicho con un valor promedio de 0.53, seguido de T-

Tape con 0.54 y Chapin con 0.58. También se puede observar que las cintas que presentaron un valor del exponente mayor y que tienden a trabajar en un régimen laminar son Robert y Rain Tape con 0.87 y 0.77 respectivamente.

Por lo que se puede mencionar que la temperatura del agua de riego modifica el régimen hidráulico de trabajo de las cintas de riego por goteo y además afecta su geometría debido a que por ser un material muy delgado se deforma, afectando la geometría del emisor.

## VII. LITERATURA CITADA

- Bello F., F. and F.S. Zazueta R. 1996. Simulación of temperature discharge variations along a drip irrigation lateral line exposed to solar radiation. In: Proc. Sixth Int. Conf. Computers in Agriculture. Zazueta R., F.S. (ed.). Am. Soc. Agric. Eng. And Instituto Mexicano de Tecnología del agua. Cancún, Quintana Roo, México. pp: 958-966.
- Benavides Mendoza A.(2002). Agropásticos: Control microambiental, control metabólico y morfogénesis. Departamento de horticultura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.
- FAO, 2002. "Agua y cultivos logrando el uso óptimo del agua en la agricultura". Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.
- García Turienzo,M.A.;J. Roldán ; M. Alcaide, A. Losada. 1992 "Influencia de la temperatura sobre el caudal de descarga a través de emisores de riego por goteo". XII Congreso internacional de Plásticos en Agricultura; Granada España.
- Gilad, Y.,Peleg, d., and Tirosh, G., (1968)"Irrigación Equipment Tests," No. 81268, ICWA,
- Iglesias, J.M. 1988. Influencia de la temperatura del agua en la uniformidad del riego por goteo. Tesis Doctoral. Universidad politécnica de Cataluña.
- Keller, J. and D. Karmeli. 1975. Trickle Irrigation Design. Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corp. Glendora, Cal. USA. 133 p.
- Losada A., L.R. Sinobas., L. Juana., J. Roldan, M. Alcalde. (1992). "Parámetros Hidráulicos de Elementos Plásticos en Ramales de Goteo". XII Congreso internacional de Plásticos en Agricultura; Granada España."
- Martinez P.F.;Cenis J.L.;Gonzalez A.;Aragon R. 1986. Niveles térmicos en la desinfección del suelo por energía solar (solarización). Actas II Congreso SECH :1099-1116. <http://www.ivia.es/~vcebolla/solariza/solariza.htm>
- Medina San Juan J.A. (1988). Riego por goteo Teoría y Practica. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Nakayama, F. And D. Bucks. 1986. Trickle irrigation for crop production. Elsevier, Amsterdam, Holanda.

- NMX-E-225-1998-SCFI (1998). "Requisitos Mecánicos y Funcionales de Cintas de Goteo para su Instalación y Operación en Campo Especificaciones y Métodos de Prueba". México. D.F.
- Parchomchuk, J.,(1976) "Water Temperature Effects on Emitter Discharge Rates," Transactions, ASAE, Vol. 19, pp690-692
- Peña P., E., M. A. Escobar A., y C. Ramírez C. 1978. Análisis y evaluación del funcionamiento hidráulico de goteros. In: Memorias II Seminario Nacional sobre Riego por Goteo. Tomo 1. Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego. Región Lagunera, México. pp: 9-14.
- Pérez N. S. 1999. "Modelo para evaluar los efectos térmicos en el funcionamiento hidráulico de sistemas de riego por goteo". -Agrociencia vol. 33, numero 2.
- Pizarro, F,C. (1990). Riegos Localizados de Alta Frecuencia. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España.
- Robledo. P. F. Y Martín V. L. 1988. "Aplicación de los plásticos en la agricultura." Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España.
- Rodrigo L., J. R., J. M. Hernández A., A. Pérez R., y J.F. González H. 1993. Riego Localizado. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 405 p.
- Valdez T.L.C, H. A.C. Lopez; A. E.L. Rivera. (agosto 2000). "comparación del funcionamiento hidráulico de dos cintas de riego por goteo en tomate, en el valle del yaqui". X congreso nacional de irrigación. Chihuahua México.
- Van der Guilk. 1999. "Corrección del flujo del emisor por efecto de la temperatura". B.C.Manual de riego localizado por goteo y microaspersión. BC Ministry of Agriculture and Food. Abbotsford, B.C.; U.S.A.
- Zur, B. and Tal, S. (1981) "Emitter discharge sensitivity to pressure and temperature". Journal Irrigation and Drainage Division, 16.116.ASAE, 107. Proc. Papers. USA. 1-9p.



## VIII. ANEXO

ANEXO No. 1 Norma **NMX-E-225-1998-SCFI** "Requisitos Mecánicos y Funcionales de Cintas de Goteo para su Instalación y Operación en Campo Especificaciones y Métodos de Prueba.

Nota:

En este anexo se presenta solamente los apartados necesarios que nos ayudaran a realizar de una manera correcta las siguientes pruebas:

- Coeficiente de variación de fabricación (C.V.).
- Curva característica de los emisores de las cintas de riego.
- Ecuación característica de los emisores de las cintas de riego.

### **MÉTODOS DE PRUEBA**

#### **1.1. Uniformidad del Gasto de Emisión**

##### **1.1.1. aparatos y equipos**

Equipo de presión hidrostática capaz de estabilizar progresivamente y sin golpes hidráulicos, la presión y gasto necesarios en un intervalo de 10 s a 30 s, sostenerla dentro de 2 % de variación y contar con indicadores de presión con una división mínima de escala de 1 kPa (0.01 Kgf/cm<sup>2</sup>)

##### **1.1.2. Preparación de la probeta**

La probeta es un tramo de una cinta de goteo con 5 puntos de emisión como mínimo.

### **1.1.3. Procedimiento (para cintas de goteo sin autorregulación)**

- a) Las cintas de goteo sin autorregulación no requieren de acondicionamiento.
- b) Cerrar uno los extremos de la cinta de goteo con una conexión adecuada y conectar el otro extremo al equipo.
- c) Llenar el sistema con agua a  $23\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$  y purgar el aire del sistema.  
NOTA: El agua utilizada debe filtrarse con un dispositivo de apertura nominal de 75  $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$  ( malla 160 a malla 200), o como lo recomiende el fabricante.
- d) Presurizar la probeta en un intervalo de 10 s a 30 s, hasta la presión especificada en la información del fabricante.
- e) Medir los gastos de emisión de los puntos de emisión de la cinta de goteo, cuando la presión hidráulica en la entrada de los puntos de emisión sea igual a la presión nominal de prueba (dato del fabricante)
- f) Registrar separadamente el gasto de emisión medido para cada punto de emisión.

#### 1.1.4. Expresión de resultados

$$C_v = \frac{S_q}{\bar{q}} \times 100$$

El coeficiente de variación  $C_v$  se calcula con la siguiente formula:

Donde:

$\bar{q}$  es el gasto de emisión promedio de la muestra en litros por hora, y

$S_q$  es la desviación normal de los datos de emisión para la muestra.

## 1.2. Gasto de Emisión de los Puntos de Emisión como Función de la Presión de Entrada.

### 1.2.1. Aparatos y equipos

Equipo de presión hidrostática capaz de estabilizar progresivamente y sin golpes hidráulicos, la presión y gasto necesarios en un intervalo de 10 s a 30 s y sostenerla dentro de 2 % de variación y con indicadores de presión con una lectura mínima de escala de 10 kPa (0.1 kgf/cm<sup>2</sup>).

### 1.2.2. preparación de la probeta

La probeta es un tramo de una cinta de goteo con 5 puntos de emisión como mínimo.

### 1.2.3. Procedimiento

- a) el ensamble de la probeta con la fuente de suministro debe ser tal que permita tener un orden ascendente de acuerdo con la medición del gasto de emisión. El punto de emisión número 1 se le asigna al punto de emisión más alejado del ensamble hasta llegar al último que debe ser el más cercano.
- b) Tomar el 25 % de los puntos de emisión de la muestra obtenida o un mínimo de 5; la muestra debe tomarse al azar e identificar los números de orden ascendentes de cada punto y medir su cambio del gasto de emisión como una función de la presión interna.
- c) Probar por etapas cada punto de emisión a intervalos no mayores de 50 kPa (0.5 kgf/cm<sup>2</sup>) desde la presión cero hasta 1.2 veces la  $p_{\text{máx}}$ .
- d) Para registrar los datos de prueba, debe transcurrir un tiempo de al menos 3 min después de alcanzar la presión de prueba.
- e) Si la presión de entrada excede la presión deseada por mas de 10 kPa (0.1 kgf/cm<sup>2</sup>) durante el aumento o disminución de la presión, regresar a la presión cero y repetir la prueba.

#### 1.2.4. expresión de resultados

- a) calcular, para cada nivel de presión, el gasto de emisión promedio,  $\bar{q}$ , obtenido al medir los gastos de emisión de los puntos de emisión al aumentar ésta.
- b) Graficar la curva  $\bar{q}$  como una función de la presión de entrada.
- c) La curva  $\bar{q}$  debe estar conforme con la curva presentada por la información del fabricante con una desviación permisible no mayor de 5 % para la categoría A, y no mayor de 10 % para la categoría B.
- d) Una vez obtenidas las mediciones, se determina el exponente del punto de emisión.
- e) El exponente del punto de emisión es la relación entre el gasto de emisión  $\bar{q}$  en litros por hora (L/h), y la presión de entrada en el punto de emisión  $p$  en kPa, y está dada por la siguiente formula:

$$q = kxp^m$$

Donde:

K es una constante;

M es el exponente del punto de emisión, y

P es la presión de entrada en el punto de emisión

f) usando todos los valores de q y p, calcular el exponente del punto de emisión, m, con la siguiente fórmula:

$$m = \frac{\sum (\log p_i) \left( \log \bar{q}_i \right) - \frac{1}{n} \left( \sum \log p_i \right) \left( \sum \log \bar{q}_i \right)}{\sum (\log p_i)^2 - \frac{1}{n} \left( \sum \log p_i \right)^2}$$

donde:

$\bar{q}$  es el gasto de emisión promedio, en litros por hora;

i 1, 2, 3, ... n;

n es el número de valores de presión usados, y

p es la presión de entrada, en kilopascales.

## SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

$\bar{q}$  es el gasto de emisión promedio;  
 $C_v$  es el coeficiente de variación del gasto de emisión;  
m es el exponente de la ecuación gasto-carga del emisor;  
k es el coeficiente de la ecuación gasto-carga;  
p es la presión hidráulica de entrada;  
 $p_n$  es la presión nominal del producto;  
 $p_{m\acute{a}x}$  es la presión máxima de trabajo;  
 $p_{m\acute{i}n}$  es la presión mínima de trabajo;  
 $q_n$  es el gasto de emisión nominal, y  
 $d_n$  es el diámetro nominal de la cinta.

## **ESPECIFICACIONES DE LAS CINTAS DE GOTEO SIN AUTOREGULACIÓN ( NMX-E-225-1998-SCFI).**

### **1.- UNIFORMIDAD DEL GASTO DE EMISIÓN**

El gasto de emisión promedio,  $\bar{q}_n$ , de las cintas de goteo no debe variar para las cintas de goteo categoría A en más del 5 %, y para las cintas de goteo categoría B en más del 10 % con respecto al gasto de emisión nominal. Esto se verifica de acuerdo a lo indicado en el inciso de uniformidad del gasto de emisión. El coeficiente de variación,  $C_v$ , del gasto de emisión no debe exceder del 5 % para la categoría A, ni más del 10 % para la categoría B.

### **2.- GASTO DE EMISIÓN DE LOS PUNTOS DE EMISIÓN COMO FUNCIÓN DE LA PRESIÓN DE ENTRADA.**

La curva de  $\bar{q}$  debe estar conforme a la curva presentada por la información del fabricante, con una desviación no mayor de 5 % para la categoría A, ni mayor de  $\pm$  10 % para la categoría B. Esto se verifica de acuerdo a lo indicado en el inciso de uniformidad del gasto de emisión.

### **3.- DETERMINACIÓN DEL EXPONENTE DE LA ECUACIÓN GASTO-CARGA DEL EMISOR**

Cuando se aplica a puntos de emisión sin regulación y se indica que son de flujo turbulento, el exponente no debe exceder de 0.6 ni ser menor de 0.4; cuando es calculado de acuerdo al procedimiento correspondiente a las cintas de goteo sin autorregulación.

## IX. GLOSARIO

- **Riego Localizado.-** Denominado internacionalmente Microirrigación, es la aplicación del agua al suelo, en una zona más o menos restringida del volumen radicular.
- **Riego por goteo.-** Se llama así a los sistemas que aplican el agua con caudal no superior a 16 l/h por punto de emisión o metro lineal de manguera de goteo.
- **Riego por difusores o miniaspersores.-** son sistemas con caudales generalmente inferiores a los 200 l/h por punto de emisión, con emisores que se denominan difusores cuando se trata de toberas fijas y miniaspersores cuando disponen de alguna parte en movimiento de rotación y su alcance efectivo no supera los 3 metros.
- **Riego subterráneo.-** este procedimiento se caracteriza por la aplicación del agua bajo la superficie del suelo, a bajo caudal, generalmente similar al riego por goteo. No se debe confundir con el también llamado riego subterráneo, consistente en regar mediante fluctuaciones del nivel freático.
- **Instalaciones de riego localizado o de microirrigación.-** Las forman el conjunto de mecanismos necesarios para aplicar el agua mediante riego localizado. En una instalación tipo podrían ser: La estación de bombeo, el centro de control o cabezal con los filtros y equipos de fertilización, tuberías principales, secundarias, terciarias y laterales, los emisores, válvulas, acoples y demás piezas especiales.
- **Subunidad de riego.-** Es la superficie que se riega simultáneamente desde un mismo punto donde se regula o controla la presión de entrada del agua. En cabecera, lleva, por tanto, un dispositivo regulador de presión.
- **Unidad de riego.-** Es la superficie formada por el conjunto de subunidades que se riegan simultáneamente desde un mismo punto donde se controla la dosis de agua a aplicar en cada riego. Debe llevar, por tanto, en cabecera, una válvula.
- **Unidad operacional o turno de riego.-** Es la superficie suma de las unidades de riego que funcionan simultáneamente desde un mismo cabezal o centro de control.
- **Centro de control o cabezal.-** Es el conjunto de dispositivos que dominan toda la superficie de la instalación y pueden servir para filtrar el agua, tratarla, incorporar fertilizantes, controlar la presión, medir dosis de riego, etc.
- **Tuberías principales.-** Son las que transportan el agua desde el cabezal hasta las unidades de riego.



- **Tuberías secundarias.**- son las que, dentro de una unidad de riego, sirven a las distintas subunidades.
- **Tuberías terciarias.**- dentro de la subunidad de riego, son las que alimenta a las tuberías laterales.
- **Laterales.**- Son las tuberías que llevan conectados los emisores.
- **Emisores.**- Son los dispositivos que controlan la salida del agua, desde las tuberías laterales, en puntos discretos o continuos.
- **Punto de emisión.**- Son los orificios de salida de agua procedente de los emisores. Cuando el mismo emisor dispone de varios puntos de emisión, se denomina <<multisalida>>.
- **Punto de emisión.**- Es el orificio de la cinta de goteo, repetido a intervalos regulares, por el que el agua sale al exterior.
- **Goteros.**- son emisores con caudales no superiores a 16 l/h. En ellos se produce una disipación de energía que para caudales inferiores a 8 l/h es casi total, por lo que el agua sale <<gota a gota>> y para caudales mayores conserva parte de la energía saliendo el agua en forma de pequeños <<chorros>>.
- **Sistemas integrados.**- Se trata de conducciones en las que, en el propio proceso de fabricación, se inserta interiormente goteros uniformemente espaciados, generalmente con caudales inferiores a 4 l/h.
- **Difusores.**- son emisores por cuyo orificio de salida se lanza el agua al exterior con la suficiente presión para permitir su difusión a través del aire, tras incidir el chorro en un deflector fijo.
- **Miniaspersores.**- Son aspersores de baja presión y caudal. El alcance es pequeño, normalmente no superior a los 3 m. (Tanto los difusores como los miniaspersores tienen caudales que no sobrepasan los 200 l/h. En este caso el aire es el principal medio de propagación del agua.
- **Tuberías emisoras o cintas.**- Son conducciones que a su vez aplican agua de riego mediante perforaciones poco espaciadas (generalmente menos de 0.50 m), pared porosa, etc. El caudal que descargan no sobrepasa los 16 l/h.
- **Cinta de goteo autorregulada (compensación de presión).**- Son cintas de goteo con gasto de emisión relativamente constante con respecto a la variación de presión hidráulica a la entrada del producto, dentro de los límites especificados por el fabricante.

- **Cinta de goteo.-** Son tuberías flexibles capaces de tomar una forma plana, provista de puntos de emisión regularmente espaciados a distancias variables, y que consisten en dos conductos paralelos, uno principal del cual el agua pasa al secundario a través de un orificio que provoca una primera pérdida de carga, y uno secundario del cual el agua sale al exterior con un gasto que no excede de 15 L/h por punto de emisión.
- **Cintas de goteo no reutilizables.-** Son cintas de goteo no propuestas para remoción y reinstalación.
- **Cinta de goteo reutilizable.-** Son cintas de goteo que están diseñadas para retirarse y reinstalarse, con el manejo adecuado, de una temporada a otra, o bajo circunstancias diferentes.
- **Cinta de goteo sin autorregulación.-** Son cintas de goteo en las cuales el gasto de emisión varía con las diferentes presiones hidráulicas.
- **Diámetro nominal,  $d_n$ .-** Es la designación numérica convencional utilizada para indicar el diámetro de la cinta de goteo y es similar al diámetro exterior de la misma, expresada en milímetros.
- **Gasto de emisión nominal,  $q_n$ .-** Es el caudal en litros por hora, del punto de emisión a la presión nominal de prueba y a una temperatura del agua de 23 °C.
- **Presión nominal,  $p_n$ .-** Es la presión de referencia a 100 kPa, o a cualquier otra especificada por el fabricante, en la entrada de un punto de emisión.
- **Unidad de la cinta de goteo.-** Es la longitud de un tramo de la cinta de goteo que contiene un punto de emisión.