

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

**EVALUACIÓN DE LA DESCARGA Y UNIFORMIDAD DE APLICACIÓN EN
RIEGO POR MICROASPERSIÓN, CON Y SIN EL USO DE REGULADORES
DE FLUJO**

Felipe Reinoso Cambiaso

Santiago, Chile
2005

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

MEMORIA DE TITULO

**EVALUACIÓN DE LA DESCARGA Y UNIFORMIDAD DE APLICACIÓN EN
RIEGO POR MICROASPERSIÓN, CON Y SIN EL USO DE REGULADORES
DE FLUJO**

Memoria para optar al título
profesional de Ingeniero Agrónomo
Mención Manejo de Suelos y Aguas

Felipe Reinoso Cambiaso

PROFESOR GUÍA	Calificaciones
Julio Haberland A. Ingeniero Agrónomo PhD.	7,0
PROFESORES CONSEJEROS	
Victor García de Cortázar G.de C. Dr. Ingeniero Agrónomo	6,8
Ian Homer B. Dr. Ingeniero Agrónomo	6,7

Santiago, Chile
2005

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer, a todos aquellos que participaron directa e indirectamente en el desarrollo de ésta memoria.

A mi profesor guía, el señor Julio Haberland por sus continuos consejos y apoyo durante el desarrollo de la memoria.

A mi jefe y amigo Andres Cosio, por permitir el desarrollo de la memoria debido a su gran respaldo y paciencia. No puedo dejar de mencionar a don Claudio Carter por su preocupación y ánimo.

Por último a mis padres y amigos que siempre estuvieron dando ánimo y apoyo incondicional.

A todos ellos muchas gracias.....

ÍNDICE

RESUMEN	1
✓ Palabras clave	1
ABSTRACT	2
✓ key Words	2
INTRODUCCIÓN	3
MATERIALES Y MÉTODOS	7
✓ Materiales	7
✓ Metodología	8
✓ Procedimiento y variables a medir	8
✓ Determinación de la uniformidad de emisión de caudales	8
✓ Rango de presión en el cual trabajan los reguladores de flujo	10
✓ Determinación de los parámetros de uniformidad de aplicación del agua	11
✓ Análisis estadístico	15
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
✓ Determinación de la uniformidad de emisión de caudales	16
✓ Rango de presión	18
✓ Análisis de los parámetros de uniformidad de aplicación del agua	22
✓ Coeficiente de uniformidad de Christiansen	22
✓ Uniformidad de Distribución	24
✓ Distribución de las precipitaciones	25
✓ Patrón de mojamiento	26
✓ Curvas de distribución	31
CONCLUSIONES	33
BIBLIOGRAFÍA	35
APÉNDICES	36
✓ Apéndice I	36
✓ Apéndice II	37
✓ Apéndice III	38
✓ Apéndice IV	40

RESUMEN

La evaluación de la descarga y uniformidad de aplicación del agua, en riego por microaspersión con el uso de reguladores de flujo, tiene por propósito, entregar información técnica, del comportamiento de los reguladores de flujo, para obtener óptimos resultados de uso, tanto por el usuario como por el diseñador de un sistema de riego que considere necesaria su utilización. Por lo cual, los objetivos de la investigación son evaluar el funcionamiento y la calidad de fabricación de los reguladores de flujo y comparar los parámetros de uniformidad de aplicación del agua en microaspersores con y sin el uso de los reguladores de flujo.

Siguiendo la normativa internacional (normas ISO y ASAE), se determinó la uniformidad de emisión de caudales para 5 tipos de reguladores de flujo de 50, 70, 105, 142 y 200 Lh⁻¹, calculando la descarga para cada uno de ellos, a presiones de 20, 30, 50, 100, 150, 200, 250, 300 y 350 Kpa. A partir de los resultados obtenidos de ésta prueba, se seleccionaron los emisores utilizados, para determinar el rango de presión en el cual trabajaban los reguladores de flujo, generando una curva presión/descarga. Finalmente se probaron microaspersores con y sin reguladores de flujo y se determinó el patrón de mojamiento, el coeficiente de uniformidad (CU_C), y la uniformidad de distribución (UD) a partir de dos situaciones distintas de traslape

Los resultados obtenidos, muestran una alta uniformidad de la tasa de emisión al usar reguladores de flujo. Sin embargo, el regulador de flujo de 50 l/h, presenta una desviación de caudal considerable, respecto al caudal nominal. En tanto, las ecuaciones de descarga de todos los tratamientos presentan exponentes de emisión bajos, los cuales, determinan autocompensación por parte de los reguladores de flujo. En lo que respecta a los coeficientes de uniformidad, uniformidad de distribución y patrón de mojamiento, los microaspersores que arrojaron mejores resultados, fueron los que no utilizaron reguladores de flujo y funcionaron a presión nominal (200 Kpa), en comparación al uso de microaspersores con reguladores de flujo y no uso de estos a presiones mayores (300 Kpa).

Por lo tanto, los reguladores de flujo, entregan caudales mayores a las especificaciones técnicas a presión nominal, sin embargo han respondido de manera satisfactoria en cuanto a los CU_C. Además, existe un claro efecto de compensación de presión por parte de los reguladores de flujo. En casos reales de campo los reguladores son una opción a considerar si existen diferencias de presión en el sistema de 200 y hasta 350 Kpa.

Palabras clave

- ✓ Coeficiente de uniformidad
- ✓ Riego tecnificado

ABSTRACT

The objective of evaluate the discharge and uniformity of water application is generate technical information on flow regulator behavior to allow the right use of the device. The specific objectives are evaluate the performance and quality of manufacture, and compare parameter of water application using micro sprinklers with flow regulators and the same micro sprinklers working alone.

To 5 types of flow regulator (50, 70, 105, 142 and 200 l/h), the uniformity of flow discharge was determined measuring the discharge of the device working at 20, 30, 50, 100, 150, 200, 250, 300 and 350 Kpa following the international standards (ISO and ASAE). Based in the results obtained in this test some flow regulators was selected and taken to obtain a pressure discharge curve. Finally a test to obtain uniformity coefficient (CU), Uniformity distribution (UD) and spray coverage pattern was set. This was done using micro sprinklers with and with no flow regulators.

The results obtained in this work, showed a high uniformity flow rate using flow regulator device. However the 50 L regulator show a high deviation comparing the nominal flow with the real flow measured. The discharge equations of all treatments have low exponents meaning that it maintain the discharge when the work pressure change. About uniformity coefficient (CU), uniformity distribution (UD) and spray coverage pattern the micro sprinklers that have the better results are those that work at nominal pressure and with no flow regulator.

The flow emitted by the flow regulators are above the information provided by the manufacturer. However the CU of the flow regulators are high and exist a clear behavior of flow stability when the pressure change. On field, the use of flow regulators is a valid option to compensate pressure changes in ranges of 200-300 kpa.

Word keys

- ✓ **Coefficient of distribution uniformity**
- ✓ **Tecnical irrigation systems**

INTRODUCCIÓN

El sistema de riego por microaspersión es un método de riego localizado de alta frecuencia (RLAF) que tuvo su origen en Sudáfrica alrededor de 1970, desde donde se condujo a California y posteriormente al resto del mundo (Post et al, 1986). A diferencia de los otros métodos de RLAF en que el agua cae en forma de gotas sobre una superficie reducida y en donde la distribución del agua se produce en forma lateral a través del suelo (goteo), este sistema de riego consiste en la aplicación de agua asperjada como una lluvia de gotas finas a baja altura que alcanza el suelo mojando una superficie considerable (alrededor del 50% y más). En este tipo de sistema, se pueden aplicar caudales importantes a baja presión —150 y hasta 250 Kpa — lo que disminuye el costo de operación del sistema. Las descargas normales de un microaspersor fluctúan entre 25 a 200 Lh⁻¹, por esto se clasifican como emisores de caudal medio.

En la actualidad, los sistemas de RLAF son diseñados en función de la disponibilidad de los distintos componentes que se encuentran en el mercado. Así, la elección entre los equipos e implementos de riego, depende principalmente de la información entregada por el fabricante y por las empresas proveedoras. En este contexto, la información y las especificaciones técnicas indicadas pueden ser incompletas y por esto puede que no se obtengan los resultados esperados tanto por el usuario como por el diseñador del sistema.

Machuca (1995), al igual que diversos autores, señala que, para lograr buenos resultados en el diseño de cualquier sistema RLFA se deben cumplir los siguientes requisitos:

- ✓ Sistema económico.
- ✓ Un coeficiente de uniformidad que garantice una altura de aplicación uniforme en superficie.
- ✓ Cubrir las necesidades de evapotranspiración máxima de las plantas.
- ✓ Humedecer un determinado porcentaje del volumen de raíces.
- ✓ La velocidad de aplicación de agua debe ser igual o menor a la velocidad de infiltración estabilizada del suelo a regar.
- ✓ Debe ser un sistema simple de manejar.

Uno de los objetivos que se busca al implementar un sistema de riego de alta frecuencia es suministrar el agua lo más uniforme posible, de acuerdo a las necesidades del cultivo, logrando de esta forma una mayor homogeneidad del mismo, simplificando su manejo. Según Santa Cruz (1994, citado por Machuca, 1995), al hacer uniforme la descarga se mejoraría la uniformidad, la eficiencia y probablemente otros parámetros de calidad del RLAF.

Según la norma **ANSI/ASAE S553 MAR01**, en los sistemas de RLAF —salvo las cintas de exudación— la relación entre el caudal emitido y la presión de operación se describe a través de la ecuación general de descarga, la cual se expresa del siguiente modo:

$$q = K * P^m \quad (\text{Ecuación 1}).$$

Donde:

q = Caudal, (Lh^{-1}).

K = Constante.

m = Exponente del punto de emisión.

P = Presión de entrada en el punto de emisión, (kPa).

Usando todos los valores de q y p , es posible calcular el exponente del punto de emisión, m , con la siguiente fórmula:

$$m = \frac{\sum(\log p_i)(\log q_i) - 1/n (\sum \log p_i)(\sum \log q_i)}{\sum (\log p_i)^2 - 1/n (\sum \log p_i)^2} \quad (\text{Ecuación 2}).$$

Donde:

q = Caudal de emisión promedio, (Lh^{-1}).

$i = 1, 2, 3, \dots, n$.

n = Número de valores de presión usados

p = Presión de entrada, (kPa).

El conocimiento de esta relación es de utilidad al momento de selección del emisor, facilitando el manejo del riego, dado que la descarga está directamente relacionada con el tiempo de riego. Asimismo, debe tenerse en cuenta que el régimen de presiones no suele ser uniforme dentro del sistema viéndose afectado el coeficiente de uniformidad.

Al existir terrenos muy escarpados, las diferencias de cota tienden a producir desuniformidad en la descarga y, en consecuencia, desuniformidad en el cultivo¹, por lo cual, existen alternativas como los reguladores de flujo, cuya función consiste en reducir las variaciones de descarga existentes, asociadas tanto a la topografía como al diseño del sistema de riego.

Por lo tanto, los reguladores de flujo compensarían la descarga de los microaspersores a presiones de operación mayor de la presión nominal acercando la pendiente de la ecuación de descarga a 0¹.

¹Julio Haberland A., Ing. Agrónomo PhD, Universidad de Chile, riego 2004. (Comunicación personal).

Estos reguladores consisten en pequeñas boquillas, compuestas de membranas de goma en su interior (figura 11). Van instalados entre el microtubo y el microaspersor (Figura 1).

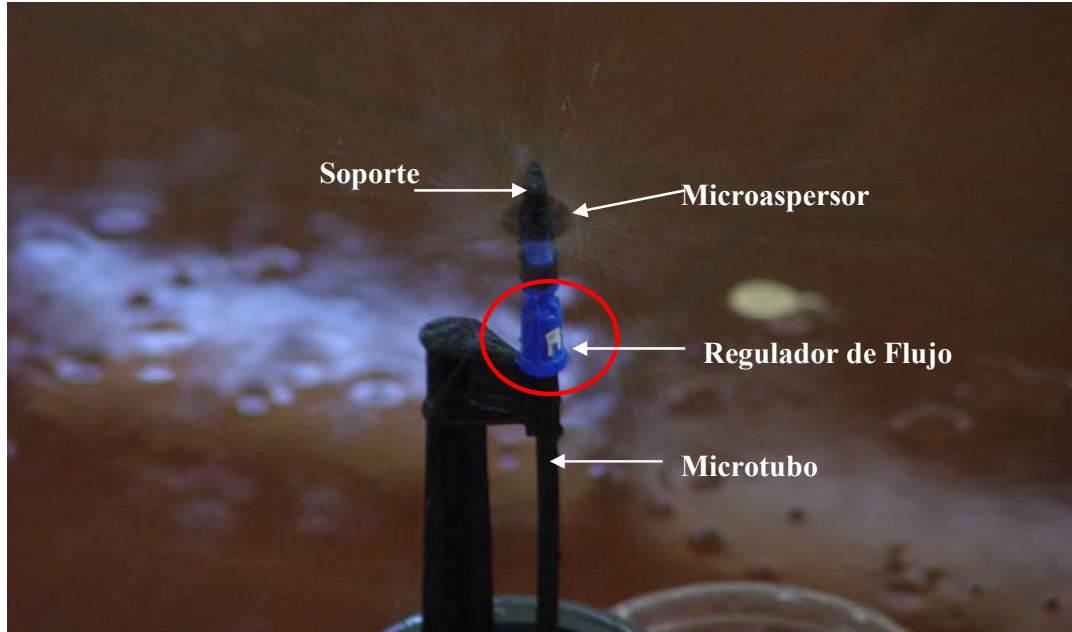


Figura 1. Microaspersor y regulador de flujo.

Este regulador de flujo es un dispositivo adicional que permite el uso de emisores no autocompensados, teniendo la ventaja de actuar directamente sobre el emisor — a diferencia de un regulador de presión— constituyendo una de las tecnologías que permiten aumentar la uniformidad del riego de manera simple y económica compensando la presión¹.

¹ Julio Haberland A., Ing. Agrónomo PhD, Universidad de Chile, riego 2004. (Comunicación personal).

Para evaluar el riego localizado de alta frecuencia (RLAF), se analizan parámetros directamente relacionados a la eficiencia de riego, como el coeficiente de uniformidad, la uniformidad de distribución, el coeficiente de variación y otros (Zimmerman, 1966; Saint-Foulc, 1972; Armoni, 1989).

El coeficiente de uniformidad (CU) es un valor agronómico que interviene en el diseño del sistema de riego, pues afecta el cálculo de las necesidades totales de agua. En función del CU se define los límites entre los que se permite que varíen los caudales de los distintos microemisores (Pizarro, 1990).

Los RLAF, por ser sistemas de riego de mayor tecnología, el CU debiera ser superior al 90%, dependiendo de la calidad de los microemisores, existencia de traslape y otros, y principalmente se elige comparando el costo (y la posibilidad) del mayor consumo de agua y la mayor inversión inicial en la instalación (Armoni, 1989; Pizarro, 1990).

Cuanto mayor es el valor de CU, cara resulta la instalación del riego, debido a que si se busca una menor dispersión de caudales el régimen de presiones debe ser más uniforme. Esto exige mayores diámetros en tuberías, laterales mas cortos, mayor inversión en reguladores de presión y otros, lo que se justifica para cultivos de alto valor (Pizarro, 1990).

Por otro lado, la uniformidad de distribución (UD) de Merriam y Keller (1978) o eficiencia de distribución (E_d) (Saint – Foulc, 1972), es un parámetro que se define, como la relación entre alguna medida de mínima altura aplicada y la altura media aplicada. El sentido de mínimo lo proporciona la media de las menores alturas interceptadas en una fracción concreta de una zona con planta. La media del 25% menor es una de las más utilizadas (Crea, 2004.)

En el marco de esta investigación, la hipótesis del proyecto de memoria sostiene que “existirán diferencias en la descarga de agua, con y sin el uso de reguladores de flujo”.

Los objetivos generales de esta investigación son:

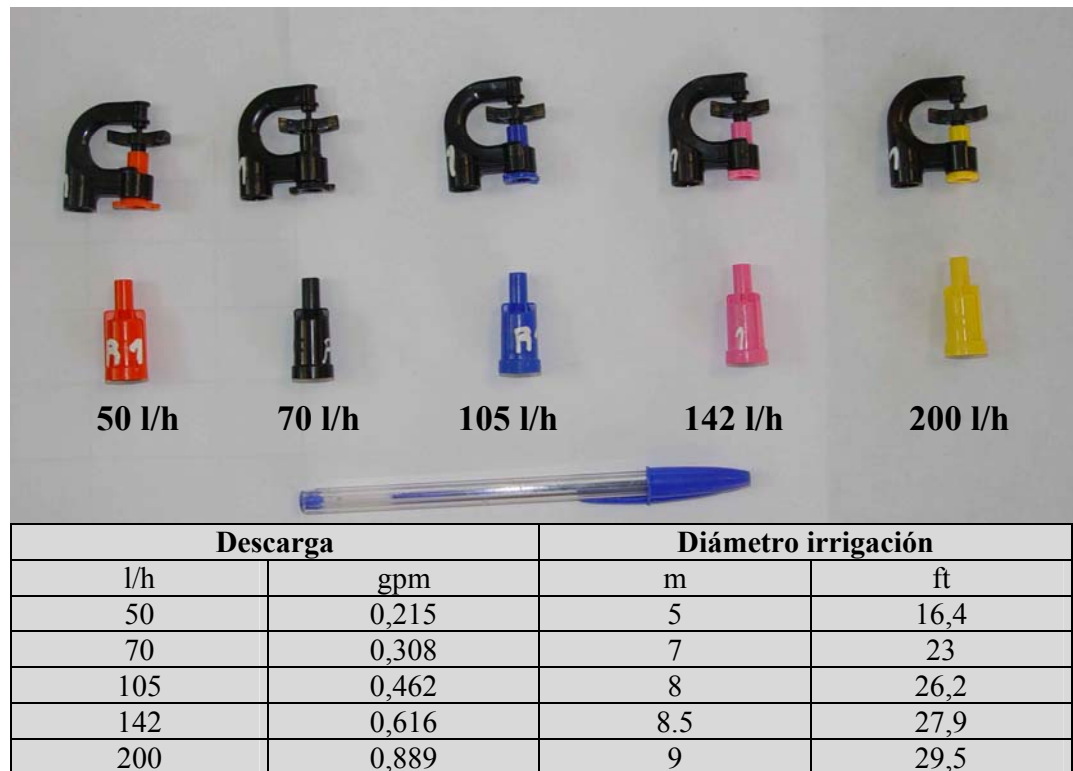
- ✓ Evaluar el funcionamiento y la calidad de fabricación de los reguladores de flujo.
- ✓ Comparar los parámetros de uniformidad de aplicación del agua en microaspersores con y sin el uso de reguladores de flujo.

MATERIALES Y MÉTODO

El presente estudio se realizó el primer semestre de 2005, en el Laboratorio de Hidráulica del Departamento de Ingeniería y Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

Materiales

El emisor de riego evaluado se divide en dos componentes: el microaspersor y el regulador de flujo. Se utilizaron 5 tipos de reguladores de flujo y 5 tipos de microaspersores, que entregan caudales de: 50, 70, 105, 142 y 200 (Lh⁻¹) cada uno respectivamente (figura 2). El modelo de microaspersor corresponde a un pal rotating super sprayer 3003, los cuales fueron facilitados por la empresa Palaplast, al igual que los reguladores de flujo. Como materiales accesorios se emplearon dos motobombas centrífugas, dos manómetros de glicerina, una balanza de precisión, un cronómetro, tuberías PVC y vasos colectores.



Presión nominal: 200 Kpa (29 PSI)

Figura 2. Tipos de reguladores de flujo y microaspersores utilizados (foto) Datos microaspersores (cuadro).

Metodología

Se realizaron tres pruebas, en dos de las cuales (determinación de la uniformidad de emisión de caudales y rango de presión en el cual trabajan los reguladores de flujo), se consideró a cada tipo de regulador de flujo como un tratamiento, es decir cinco tratamientos por prueba (50, 70, 105, 142 y 200 Lh⁻¹ respectivamente). Una tercera prueba, utilizó a los reguladores de flujo en conjunto con los microaspersores, en la cual, se plantearon tres casos diferentes (cuadro 2), para así determinar diferencias entre el uso o no de los reguladores de flujo sobre el microaspersor.

Procedimiento y variables a medir

Las condiciones generales de prueba se realizaron según la normativa ANSI/ASAE e ISO vigente para microaspersores y emisores (Rojas, 2003), las que se detallan a continuación:

Determinación de la uniformidad de emisión de caudales. (ISO 9260: 1991)

La unidad de muestra comprendió un tramo de tubería de PVC de 40 mm, constituida por 25 reguladores de flujo continuos (sin microaspersores), espaciados a 0.4 m (Figura 3). Se conectaron los emisores al banco de prueba (Figura 4), por un tiempo mínimo de una hora, a una presión igual a la mitad de la presión de operación. Inmediatamente después, se operó tres veces a la máxima presión de operación $p_{\text{máx}}$ (350 Kpa), y tres veces a la mínima presión de operación p_{min} (20 Kpa) según norma. Se realizaron 3 repeticiones.

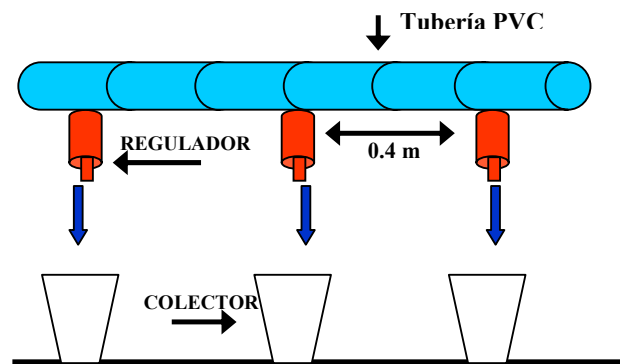


Figura 3. Esquema regulador de flujo, inserto en la tubería de PVC.

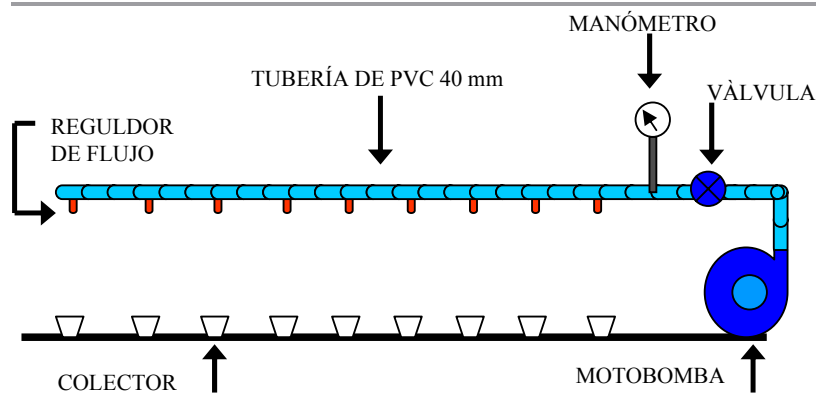


Figura 4. Banco de prueba

En cada incremento y disminución, se mantuvo la presión por al menos tres minutos, para luego aforar los emisores. Durante los últimos 10 minutos de prueba, la presión fue igual a la mitad de la presión de operación donde se aforó nuevamente. La presión y la tasa de flujo, se midió con un error no superior a un 2 % respecto de su valor real.

Se calculó la descarga usando la siguiente ecuación:

$$P_a = P_f - P_i \quad \text{(Ecuación 3).}$$

Donde:

- P_a = Peso de la descarga de agua (g).
- P_f = Peso final del colector (g).
- P_i = Peso inicial del colector (g).

Luego:

$$V = m * D^{-1} \quad \text{(Ecuación 4).}$$

Donde:

- V = Volumen de la descarga (m^3).
- M = Masa de la descarga (Kg).
- D = Densidad del agua. ($Mg m^{-3}$).

Dado que los emisores se clasifican de acuerdo a su uniformidad de emisión, éstos se agrupan en dos categorías:

- a) Categoría A: emisores con una alta uniformidad de su tasa de emisión y una baja desviación respecto a su flujo nominal.
- b) Categoría B: emisores con una baja uniformidad de su tasa de emisión y una alta desviación respecto a su flujo nominal.

Se determinó la descarga media (q_{prom}), la desviación estándar (Sq) y el coeficiente de variación (Cv). Los valores obtenidos se evaluaron siguiendo las tolerancias requeridas por la norma (ISO 9260: 1991), la cual define:

La tasa de emisión promedio, q_{prom} , de los emisores de prueba no puede tener una desviación respecto del flujo nominal, q_n , superior a un 5 % para emisores pertenecientes a la categoría A y no más de un 10 % para emisores pertenecientes a la categoría B.

El coeficiente de variación, Cv , de la tasa de emisión de los emisores de prueba no debe ser mayor a un 5 % para los emisores pertenecientes a la categoría A y un 10 % para emisores pertenecientes a la categoría B.

Para la norma **ASAE EP405.1 DEC01**, la variabilidad en la descarga del emisor es debido a la presión y cambios de temperatura, coeficiente de variación de fabricación, obturaciones y envejecimiento. Una guía general para clasificar valores de Cv según norma ASAE AP405.1 DEC01, se muestra en la cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación recomendada para coeficiente de variación de fabricación.

Tipo emisor	Rango de Cv	Clasificación
Point source	< 0.05	excelente
	0.05 a 0.07	promedio
	0.07 a 0.11	marginal
	0.11 a 0.15	pobre
	> 0.15	inaceptable

Fuente: ASAE EP405.1 DEC01

Rango de presión en el cual trabajan los reguladores de flujo (curva presión-descarga) (ISO 9260: 1991).

Se enumeraron los reguladores evaluados durante la prueba de uniformidad de emisión de caudales, de acuerdo a su descarga, siendo el número 1 el emisor de menor flujo y el número 25 el de mayor flujo (la prueba nuevamente no incluye los microaspersores). Luego se tomaron 4 reguladores, cuyos números de orden fueron 3, 12, 13, 23 para medir inmediatamente después, el cambio de la tasa de emisión en función de la presión (Figura 5). Se realizaron 3 repeticiones.

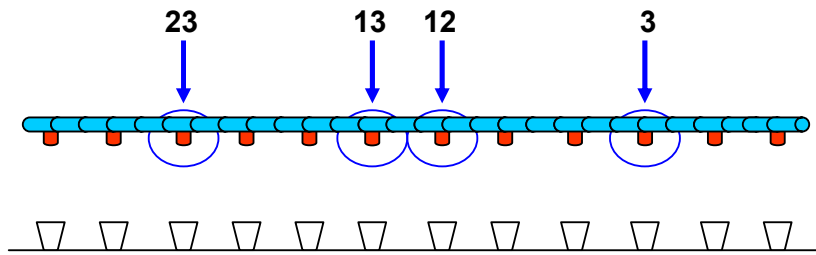


Figura 5. Selección reguladores curva presión – descarga.

La descarga de los emisores fue medida de 0 a 350 Kpa, pasando en total por nueve presiones de prueba (20, 30, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 Kpa) en incrementos no superiores a 50 KPa. Las mediciones se realizaron una vez transcurrido 3 minutos de haber variado la presión.

Se determinaron la descarga media, q_{prom} , desviación estándar, Sq y el coeficiente de variación Cv , para cada presión. Paralelamente, se determinaron los caudales emitidos por los distintos emisores durante la evaluación de cada presión a través de la obtención de las ecuaciones de descarga de los microemisores (Ecuación 1), y de las curvas de descargas de los distintos tratamientos.

Determinación de los parámetros de uniformidad de aplicación del agua. (ISO 8026: 1995/Amd 1:2000)

Según Armoni (1989), en el caso de los microaspersores se pueden distinguir tres niveles críticos de operación:

1. Presión mínima: Se define como la mínima presión de trabajo que permite una distribución adecuada del agua de riego.
2. Presión nominal: Es la presión estándar de referencia para todos los microemisores, la cual es informada por el fabricante.
3. Presión máxima: Se define como el límite superior de la presión de trabajo que permite aún mantener el diámetro de las gotas producidas dentro de un marco aceptable y también alcanzar el diámetro de cobertura deseado. A presiones más elevadas se produce una nebulización excesiva, lo que produce una reducción del diámetro de cobertura, una alteración en la distribución del agua y se reduce la vida útil de las tuberías y microemisores.

Es por ello, que el análisis de los parámetros de uniformidad de aplicación del agua en microaspersores, se realizó en función de dos presiones de operación: presión nominal y máxima presión de prueba (50% incremento de la presión nominal). Ambas para tres casos diferentes como lo señala el cuadro 2. No se analizó para el rango de presión mínima, ya que el objetivo contempla presiones mayores de operación.

Cuadro 2. Diseño experimental prueba con microaspersores.

Tratamiento	Caso	Presión (Kpa)	Presencia (P)/Ausencia (A) Regulador de flujo
1	1	200	A
	2	300	A
	3	300	P
2	1	200	A
	2	300	A
	3	300	P
3	1	200	A
	2	300	A
	3	300	P
4	1	200	A
	2	300	A
	3	300	P
5	1	200	A
	2	300	A
	3	300	P

Se dividió el área de prueba en cuadrados con una dimensión máxima de sus lados de 0,5 m para microaspersores con un diámetro efectivo de cobertura menor o igual a 6 m y con cuadrados de lado 1,25 m para microaspersores con un diámetro efectivo de cobertura mayor a 6 m (Figura 6 a).

Los colectores se localizaron en las esquinas de los cuadrados, mientras que el microaspersor de prueba quedó ubicado al centro geométrico del área de prueba. La distancia vertical desde la boquilla del microaspersor de prueba hasta la boca de los colectores fue de 0.2 m. (Figura 6 b).

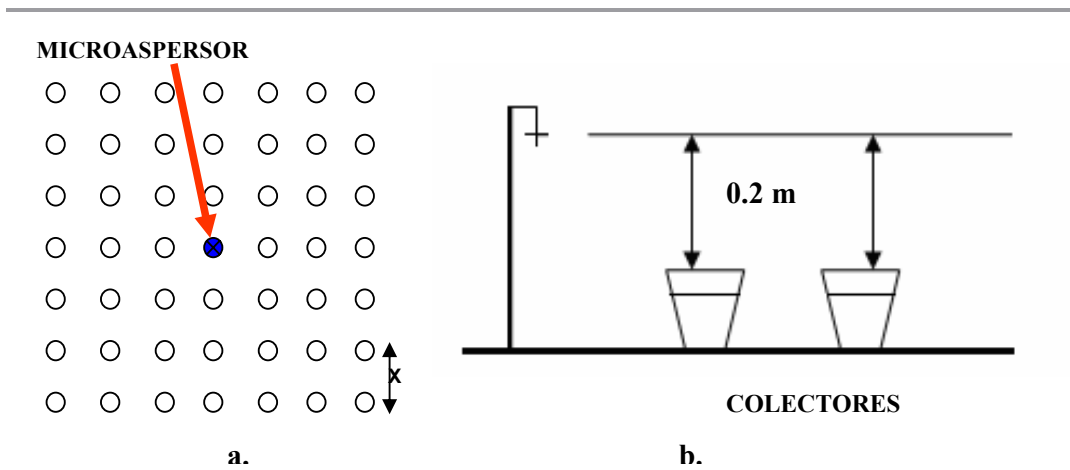


Figura 6. a) Distribución microaspersor- vasos colectores. b) distancia desde la boquilla del microaspersor de prueba hasta la boca de los colectores

Distribución de las precipitaciones. Se midió en dos radios, en ángulos de 180°, dentro del área de cobertura (Figura 7), para luego calcular la tasa de aplicación de agua, h , en $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$, según la siguiente ecuación:

$$h = V * 1000 * t^{-1} * A^{-1} \quad (\text{Ecuación 5}).$$

Donde:

- h = Tasa de aplicación ($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$)
- V = Volumen de agua depositado en cada colector (m^3).
- A = área de la apertura del colector (m^2).
- t = duración de la prueba (hrs).

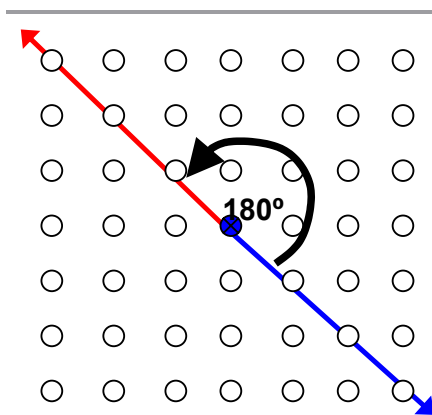


Figura 7. Distribución de agua.

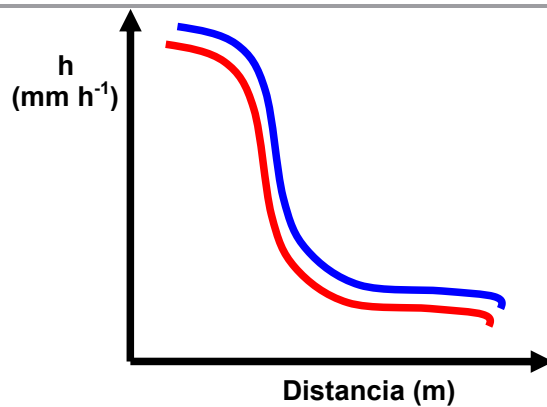


Figura 8. Curvas de distribución de agua.

Se graficaron las curvas de distribución como función de la distancia de cada colector al microaspersor de prueba, en los dos radios evaluados (Figura 8). A partir de estas dos curvas, se calculó la curva de distribución promedio. Esta, debe cumplir con los requerimientos del fabricante, con una desviación máxima de +/- 15 %.

Patrón de mojado. Para obtener el patrón de mojado, se utilizaron los datos recolectados a partir de la cantidad de agua acumulada en cada colector de prueba en el área de cobertura, donde se graficaron en tres dimensiones las curvas, interpolando puntos de igual tasa de recolección de agua o isoyetas.

Luego los parámetros de uniformidad de aplicación del agua a calcular fueron: Coeficiente de uniformidad y uniformidad de distribución, los cuales se describen a través de las siguientes ecuaciones:

- ✓ Coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU_c): Determinado a partir de los resultados obtenidos de la prueba distribución. El 100 % representa una uniformidad perfecta a lo largo del campo de prueba. (ISO 7749-2:1990)

$$CU_c = 1 - \frac{\sum (h_m - h_i)}{n * h_m} \quad \text{(Ecuación 6).}$$

Donde:

CU_c = Coeficiente de uniformidad de Christiansen.
 h_i = lecturas individuales de cada colector.
 h_m = Promedio de las lecturas.
 n = Número de lecturas.

- ✓ Uniformidad de Distribución (UD) de Merriam y Keller (1978).

$$UD = I_{25} * I_{\bar{y}}^{-1} \quad \text{(Ecuación 7).}$$

Donde:

UD = Uniformidad de distribución de Merriam y Keller (1978).
 I_{25} = Promedio de las alturas infiltradas en el 25 % del área de menor infiltración.
 $I_{\bar{y}}$ = Promedio de las alturas infiltradas en toda el área evaluada.

Análisis Estadístico

El análisis estadístico utilizado, fue del tipo descriptivo, usando parámetros de posición y dispersión. Para el análisis de la relación presión descarga, se utilizó un análisis de regresión simple.

Las normas internacionales tienen definidos los estándares de medición, los parámetros y rangos de clasificación de las distintas pruebas mencionadas en la memoria.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de la uniformidad de emisión de caudales

Para evaluar el funcionamiento y calidad de fabricación de los reguladores de flujo, se determinaron los coeficientes de uniformidad y coeficientes de variación de la descarga de cada uno de los tratamientos, para un rango de presión, el cual, varió entre 20 y 350 Kpa durante el tiempo de medición de los ensayos.

Al analizar los resultados obtenidos, se observa que en todos los tratamientos evaluados los coeficientes de uniformidad (CU_C), son superiores al 90% (Figura 9). Según lo que señalan Armoni y Pizarro (1989, 1990), el CU_C de los RLAF, por ser sistemas más precisos, debiera ser superior al 90%. Queda demostrado que los reguladores de flujo trabajando en conjunto, en una misma línea de descarga (sin microaspersores), se clasifican como emisores de alta uniformidad respecto de su tasa de emisión.

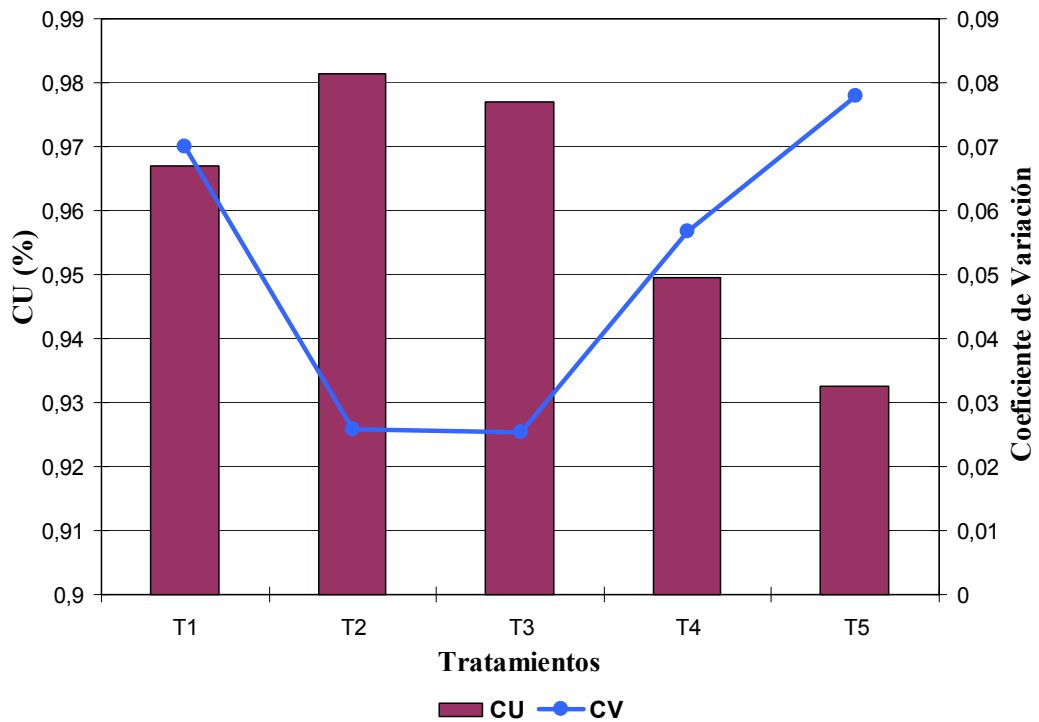


Figura 9. Relación promedio de las repeticiones, entre el coeficiente de uniformidad y el coeficiente de variación de fabricación de los reguladores de flujo de los tratamientos 1 (50 l/h), 2 (70 l/h), 3 (105 l/h), 4 (142 l/h) y 5 (200 l/h).

Al analizar los datos de Cv de fabricación bajo la clasificación (ISO 9260: 1991; figura 9; Apéndice I), los tratamientos 2 y 3 pertenecerían a la categoría A, quedando el tratamiento 1, 4 y 5 en la categoría B. El tratamiento 4 queda muy cerca de pertenecer a la categoría A, con un Cv de 5.6 %. Cabe destacar que todos los tratamientos quedan dentro del rango de emisores de RLAF por presentar Cv de fabricación inferior a un 10 % (Figura 9).

Para la norma ASAE A DEC01, la cual clasifica a los emisores según el Cv de fabricación (Cuadro 1) se obtiene que los tratamientos 2 y 3 son excelentes emisores, el tratamiento 1 y el tratamiento 4 corresponden a emisores promedio y el tratamiento 5 se clasificaría como un emisor marginal.

La discusión se genera al analizar los resultados y clasificarlos según lo estipula cada norma. Es así, que para poder comparar ambas clasificaciones y llegar a un punto de comparación se tomó como referencia el Cv de fabricación, coincidiendo ambas normas en que los tratamientos 2 y 3 son los emisores de mejor comportamiento, el tratamiento 1 y el tratamiento 4 de comportamiento promedio y el tratamiento 5 se clasifico como un emisor de carácter marginal.

El cuadro 3 compara la tasa de emisión promedio (q_{prom}), respecto del flujo nominal (q_n). Se aprecia que los tratamientos 2, 3 y 5 corresponden a emisores pertenecientes a la categoría A, según lo descrito con respecto a la norma ISO 9260:1991 y el tratamiento 4 cae dentro de la categoría B.

El tratamiento 1 presenta una desviación de caudal muy superior a lo estipulado para pertenecer a cualquiera de las categorías (>20%). Este hecho, podría explicarse debido a que el tamaño de la boquilla es superior al estipulado, por lo que la descarga de este regulador es mayor. Si se considera un caudal nominal de 60 l/h, el tratamiento 1 presentaría un Q_d de 0,816 % clasificándose como un emisor categoría A.

Cuadro 3. Desviación de caudal promedio (Q_d) respecto del flujo nominal (q_n).

Tratamiento	q_n	q_{prom}	Q_d	Categoría
	(l/h)			
1	50	60,48	0,2097	-
2	70	70,32	0,0046	A
3	105	107,31	0,0221	A
4	142	132,73	0,0652	B
5	200	199,32	0,0034	A

Rango de presión

Se determinaron los caudales de cada tratamiento para nueve presiones de operación (20, 30, 50, 100, 150, 200, 250, 300, y 350 Kpa), sobre y bajo el rango de operación recomendado por el fabricante (150 – 250 Kpa), con el fin de determinar el rango de presión en el cual trabajan los reguladores de flujo evaluados. La figura 10 muestra las curvas de descarga de cada tratamiento a las presiones evaluadas.

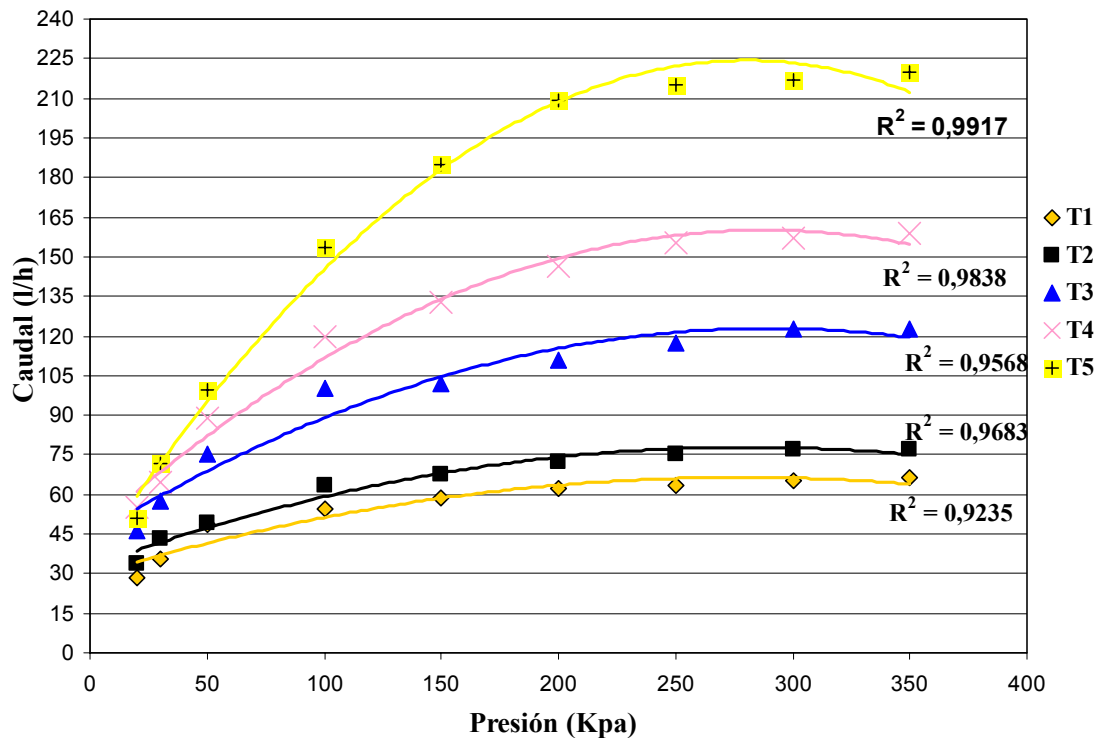


Figura 10. Relación entre la presión y el caudal de los reguladores de flujo de los tratamientos 1 (50 l/h), 2 (70 l/h), 3 (105 l/h), 4 (142 l/h) y 5 (200 l/h).

Se obtuvieron las ecuaciones de descarga de los reguladores de flujo para los cinco tratamientos evaluados a través de una regresión de potencia de la ecuación general de descarga (Ecuación 1) que relaciona el caudal y la presión de operación (Cuadro 4 y Figura 10).

Se determinó, a partir de las curvas de descarga y de los resultados de las ecuaciones de cada regulador de flujo, que el comportamiento de todos los tratamientos a las distintas presiones utilizadas corresponde a un emisor autocompensado, ya que el coeficiente de descarga o exponente (x) de la ecuación (ecuación 1) es cercano a cero y menor a 0.2 (Cuadro 4), como lo especifican las normas internacionales (ISO 9260: 1991)

Cuadro 4. Ecuaciones de descarga de los reguladores de flujo evaluados.

Tratamiento	Ecuación de descarga
1	$q = 46.92 P^{0.094}$
2	$q = 54.12 P^{0.0976}$
3	$q = 80.41 P^{0.107}$
4	$q = 98.49 P^{0.132}$
5	$q = 146 P^{0.119}$

En otras palabras los reguladores de flujo actúan como reguladores de presión, es decir, mantienen el flujo a medida que aumenta la presión. Regulan a través de la membrana de goma que presentan en su interior (figura 11). Esta a medida que se incrementa la presión tiende a contraerse restringiendo el flujo, básicamente por una disminución de la sección conductora.

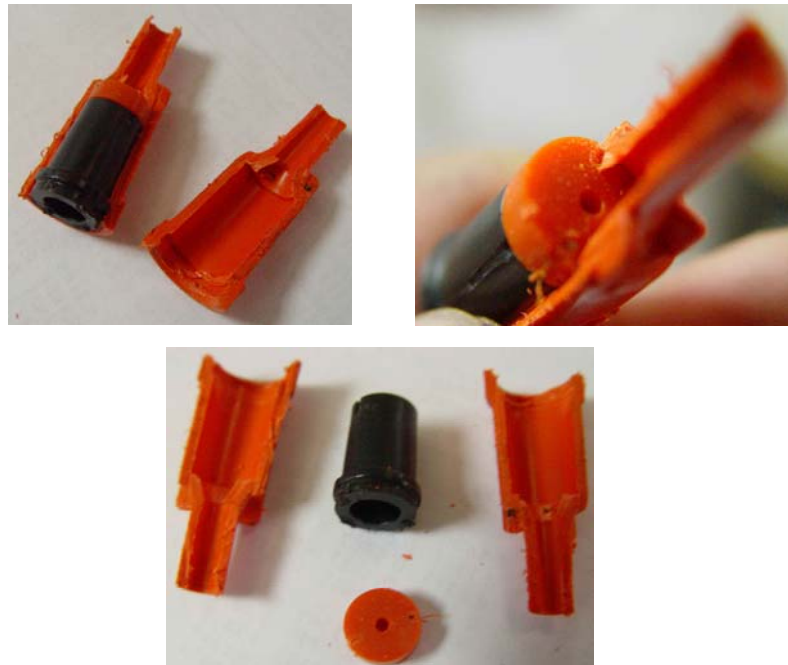


Figura 11. Regulador de flujo seccionado en dos partes, la cual muestra la composición de las partes de éste. Ejemplo extraído del tratamiento 1 (50 l/h).

A pesar de la aparente autocompensación, los reguladores de flujo de todos los tratamientos estarían operando por sobre el caudal informado por el fabricante (Figura 10; apéndice II). Se observa que el promedio de caudal para cada tratamiento, es mayor

al caudal nominal de fabricación, a presión nominal de 200 Kpa. (Figura 10 y figuras individuales de cada tratamiento apéndice II).

El tratamiento 1, presenta un comportamiento fuera de rango a partir de 30 Kpa, ya que el caudal ya es mayor a partir de esta presión (Figura 10; Apéndice II.1). Los tratamientos 2, 3, 4 y 5 (Figura 10; Apéndice II.2, II.3, II.4, II.5), a partir de la presión nominal (20 Kpa), muestran una descarga ajustada al caudal señalado por el fabricante, bajo la presión nominal, la descarga es notoriamente inferior.

Si se analiza cada tratamiento a las presiones de prueba (Figura 12), todos éstos presentan Cv superiores a un 5% dentro del rango de presiones de 20 a 50 Kpa., cayendo en la categoría B de uniformidad de descarga de caudales. Es más, en algunos casos por sobre un 10%, quedando fuera de clasificación de RLAf. Entre 100 y 150 Kpa, aún se observan distorsiones en algunos de los tratamientos.

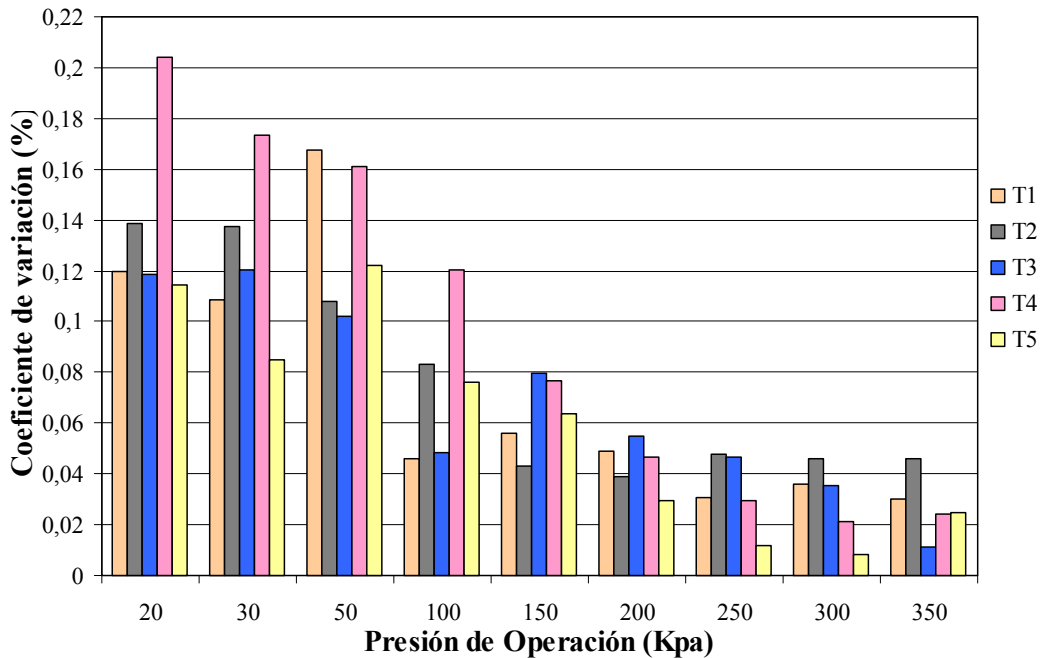


Figura 12. Coeficiente de variación de fabricación promedio de los tratamientos 1 (50 l/h), 2 (70 l/h), 3 (105 l/h), 4 (142 l/h) y 5 (200 l/h), a las distintas presiones evaluadas.

Por otro lado, si se considera lo expuesto por Armoni, (1989) y Pizarro (1990), los cuales describen que el coeficiente de variación de fabricación (CV) es prácticamente independiente de la presión de prueba, dentro del entorno normal de los microemisores, se puede definir entonces, como entorno normal de los reguladores de flujo, presiones de 200 hasta los 350 Kpa, dados los bajos valores de Cv de todos los tratamientos (figura 12; apéndice III).

Es así, que el promedio de los coeficientes de variación para todas las presiones evaluadas da como resultado, que todos los tratamientos evaluados presenten Cv entre un 5 y un 10 %, quedando dentro de la categoría B de emisores (Figura 13).

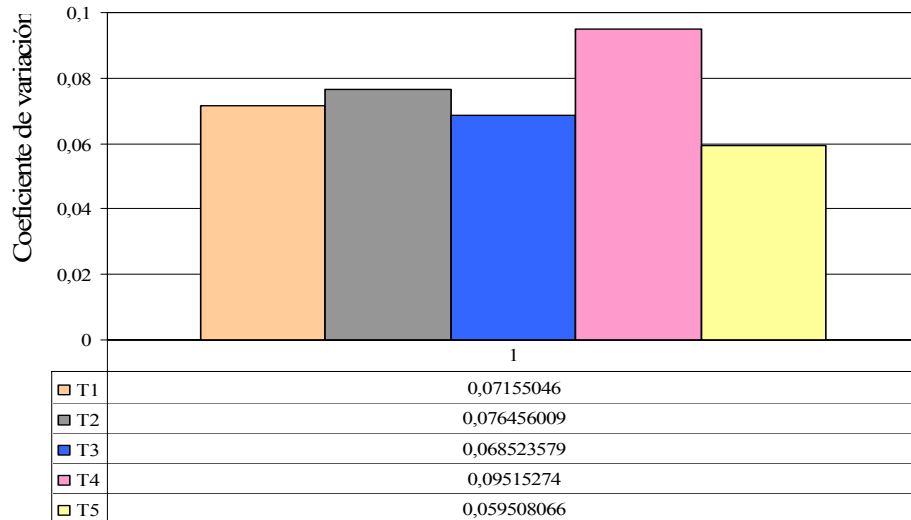


Figura 13. Coeficiente de variación de fabricación promedio de los tratamientos 1 (50 l/h), 2 (70 l/h), 3 (105 l/h), 4 (142 l/h) y 5 (200 l/h), para todas las presiones evaluadas.

No obstante, si se considera el promedio de los coeficientes de variación, a partir de 200 Kpa (Figura 14), se aprecia una baja considerable en el promedio, dando como resultado, que todos los tratamientos se clasificarían dentro de la categoría A de uniformidad de descarga de caudales.

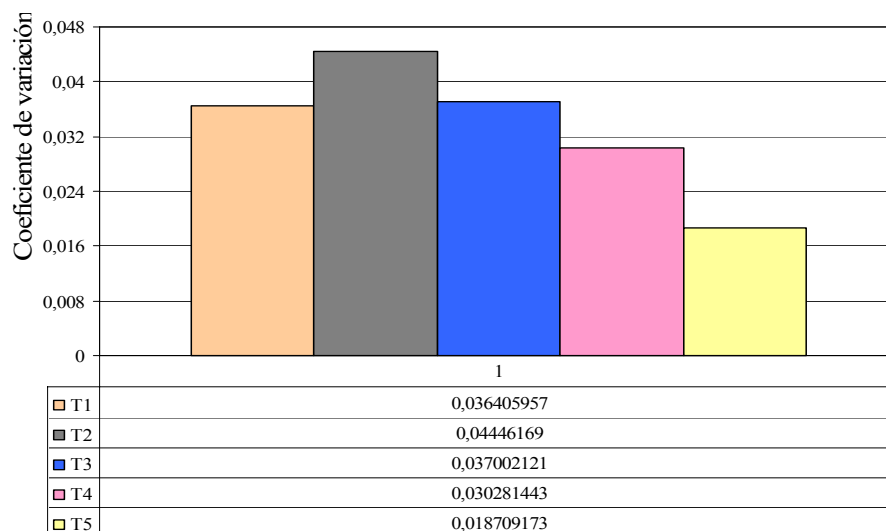


Figura 14. Coeficiente de variación de fabricación promedio de los tratamientos 1 (50 l/h), 2 (70 l/h), 3 (105 l/h), 4 (142 l/h) y 5 (200 l/h), para presiones evaluadas de 20 a 350 Kpa.

Por lo cual, comparando los resultados de los promedios de Cv para ambos casos, se observa que todos los tratamientos disminuyen considerablemente su valor de Cv para presiones evaluadas a partir de 200 Kpa.

Es posible analizar la distribución o ranking entre tratamientos, respecto a los Cv obtenidos en todo el rango de presión (figura 13) versus los obtenidos en el rango de 200 a 350 Kpa (figura 14). El orden se mantiene prácticamente igual en los tratamientos 1,2, 3 y 5 en ambos casos. Sin embargo, se observa una diferencia en el tratamiento 4 entre los Cv, obteniendo la segunda mejor posición para presiones medidas entre los 200 y 350 Kpa, luego de haber sido el de peor comportamiento de Cv para todas las presiones evaluadas.

Por lo tanto, claramente los reguladores de flujo no actúan dentro de un rango de regulación, sino más bien, a partir de una presión mínima, la cual comienza desde los 200 Kpa en adelante (Particularmente, en el caso del tratamiento 4), ya que mantienen caudal constante y Cv muy bajos hasta la máxima presión de prueba.

Análisis de los parámetros de uniformidad de aplicación del agua.

Dado que la hipótesis de la memoria sostiene que existen diferencias en la descarga de agua, con y sin el uso de reguladores de flujo, a continuación se compara la descarga de agua con la utilización de microaspersores, en función de los parámetros de uniformidad de aplicación de ésta (Coeficiente de uniformidad, Uniformidad de Distribución, Patrón de Mojamiento y Distribución Característica).

Las características de distribución y uniformidad del agua, además del comportamiento de los microemisores, se analizaron a partir de dos situaciones bien definidas de traslape: Aplicación de agua por los cuatro costados y aplicación de agua sobre la banda (apéndice IV).

Coeficiente de Uniformidad de Christiansen

La uniformidad de los aspersores, en líneas generales, tiende a comportarse mejor con un traslape por los cuatro costados que el traslape por sobre la banda como se aprecia en la figura 15. Se observa, en todos los tratamientos y para las situaciones de ambos traslapes, que el aspersor sin regulador de flujo a presión de 200 Kpa, junto al aspersor con regulador de flujo a 300 Kpa., presentan CU_C superiores al aspersor sin regulador de flujo a 300 Kpa.

Traslape por los cuatro costados. La diferencia de CU_C entre ellos es mínima en algunos de los tratamientos para este tipo de traslape (T1 y T4 a 300 Kpa sin regulador, versus T3 a 300 Kpa. con regulador) (Figura 15). Para las tres situaciones evaluadas, el tratamiento 3 es notoriamente el de peor comportamiento, a pesar de eso, no se observa una clara tendencia de comportamiento de los tratamientos restantes.

Queda claro, que las uniformidades mas altas se obtuvieron de los aspersores sin el uso de reguladores de flujo (200 Kpa), siendo básicamente el CU_C nominal (por operar a presión recomendada por el fabricante). Es por ello muy importante las uniformidades encontradas en los aspersores con el uso de reguladores (300 Kpa) dado que el CU_C obtenido para este caso se asemeja al CU nominal del aspersor (figura 15).

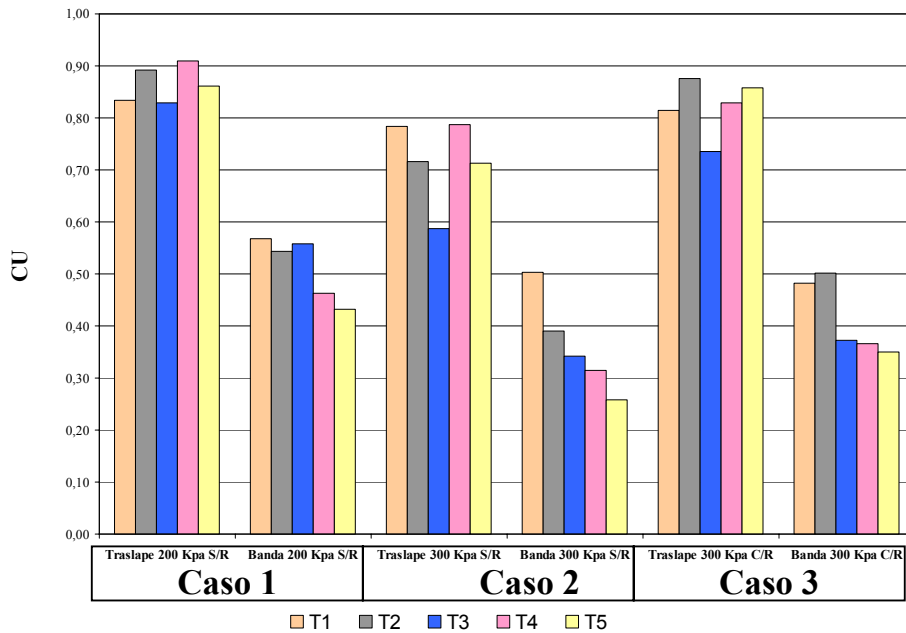


Figura15. Coeficiente de Uniformidad promedio para los tratamientos 1 (50 l/h), 2 (70 l/h), 3 (105 l/h), 4 (142 l/h) y 5 (200 l/h) en situación de traslape por los cuatro costados y de traslape sobre la banda, con presencia y ausencia de reguladores de flujo a las presiones evaluadas.

En otras palabras, existe efecto de regulación en un grado menor al esperado, ya que si fuese 100% la regulación se hubiese obtenidos CU_C idénticos o casi iguales al caso de CU_C nominal.

Traslape por sobre la banda. Prácticamente no se observan mayores diferencias entre los tratamientos a las presiones evaluadas (Figura 15) dado que los CU_C se comportan de manera similar en los tres casos (200 Kpa sin regulador, 300 Kpa sin regulador y 300 Kpa con regulador).

Para los tres casos (200 Kpa sin regulador, 300 Kpa sin regulador y 300 Kpa con regulador) se ve una tendencia a disminuir el CU_C a medida que el tratamiento aumenta su caudal. En particular el caso del aspersor sin regulador a 300 Kpa, se observa claramente que a medida que se utiliza un aspersor de mayor caudal menor es el CU_C (Figura 16). Esta discontinuidad debiese ser investigada más a fondo.

Los CU_C obtenidos son muy bajos para las presiones evaluadas. La implicancia práctica que esto conlleva, cuestiona para este modelo de microaspersor en particular, el uso de traslape en banda en terreno, debido a que la tendencia de diseño por microaspersión, usa mayoritariamente este tipo de traslape y no por los cuatro costados.

Uniformidad de Distribución de Merriam y Keller (1978)

La uniformidad de distribución en líneas generales, tiende a ser superior en el caso del traslape por los cuatro costados versus el traslape en banda como se aprecia en la figura 16. (mismo caso de CU_C).

Traslape por los cuatro costados. La situación de traslape por los cuatro costados, presenta UD superiores en los casos del aspersor a 200 Kpa sin regulador y 300 Kpa con regulador. No obstante, los tratamientos 1 y 4 del caso de 300 Kpa sin regulador, se asemeja a los tratamientos de menores valores de los casos 1 y 3 (figura 16).

Nuevamente se observa que el tratamiento 3 (en las tres situaciones) es aquel que básicamente presenta los valores de UD más bajos, por lo cual, es una situación anómala que necesitaría una investigación mas amplia por parte del fabricante.

Traslape por sobre la banda. En cuanto al caso de traslape en banda, el tratamiento 1 se comporta de manera muy superior en las tres situaciones descritas en la figura 16 en comparación a los demás tratamientos.

Nuevamente, al igual que en el caso de CU_C , es clara la tendencia a disminuir la UD a medida que los tratamientos aumentan el caudal pero de manera menos clara.

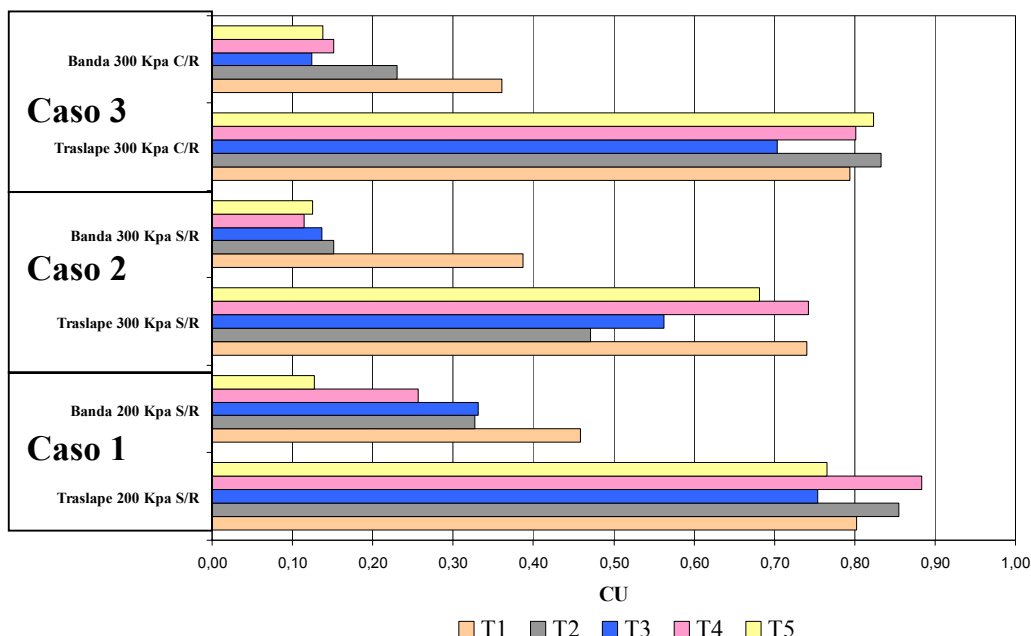


Figura 16. Uniformidad de Distribución promedio para los tratamientos 1 (50 l/h), 2 (70 l/h), 3 (105 l/h), 4 (142 l/h) y 5 (200 l/h) en situación de traslape por los cuatro costados y de traslape sobre la banda, con presencia y ausencia de reguladores de flujo a las presiones evaluadas.

En consecuencia existen diferencias en la descarga de agua, con y sin el uso de reguladores de flujo en cuanto a los CU y UD analizados.

Distribución de las precipitaciones

“La distribución del agua alrededor del microemisor da una idea de la uniformidad del mojamiento y puede ser utilizada junto a los demás parámetros para el análisis de la uniformidad del riego” (Machuca, 1995). Las figuras 17 a la 21 son diagramas tridimensionales que representan la pluviometría de las tres condiciones de prueba², dentro del área de cobertura para cada uno de los cinco tratamientos.

En todos los tratamientos evaluados se observa una distribución proporcional similar (a excepción del tratamiento 2 que se describe más adelante), que corresponde a una concentración de las precipitaciones al centro de la matriz, rodeando al microaspersor. Luego, hacia la periferia, decae constantemente hasta llegar a cero.

² Condiciones de prueba: Caso 1 (200 Kpa sin regulador de flujo), caso 2 (300 Kpa sin regulador de flujo), caso (300 Kpa con regulador de flujo).

El tratamiento 2 se comporta de igual forma que la descrita anteriormente, exceptuando las distribuciones medidas a 300 Kpa sin regulador de flujo. Para ese caso se observa una concentración de las precipitaciones al centro, luego hacia fuera, hay una zona de menores precipitaciones, y luego una zona que forma un anillo de un leve aumento de las precipitaciones, para finalmente disminuir hasta cero al alejarse más del microemisor.

Esta situación es anómala, ya que según Goldhamer et al (1985, citado por Machuca 1995) este patrón en forma de anillo es indeseable y es usualmente asociado a presiones de operación más bajas que las recomendadas por el fabricante.

Patrón de mojado.

Comparando el patrón de mojado del microaspersor a presión nominal (Figuras 17 a 21 letra **a**.) versus los patrones de mojado para microaspersores sin regulador a 300 Kpa y microaspersores con regulador a 300 Kpa (Figuras 17 a 21 letras **b** y **c** respectivamente) se obtuvieron los siguientes resultados:

El comportamiento del tratamiento 1, dadas las presiones de prueba, arroja como resultado, una mayor concentración de las precipitaciones al centro del área a una presión de 300 Kpa sin presencia de regulador de flujo, que con la presencia de éste (figura 17 b y c respectivamente).

El comportamiento del tratamiento 2, varió respecto del tratamiento 1, ya que se observa que el microaspersor con regulador a 300 Kpa, (figura 18 letra **c**) presenta una menor concentración de las precipitaciones, en comparación al microaspersor sin regulador a 300 Kpa (Figura 18 letra **b**), e inclusive menor que el patrón de mojado del microaspersor a presión nominal (figura 18 letra **a**).

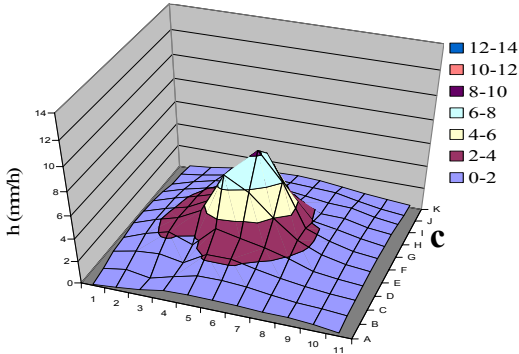
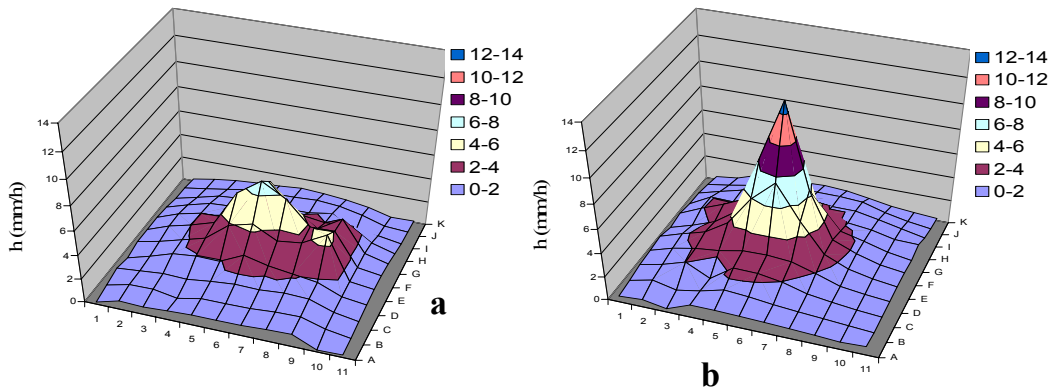


Figura 17. Diagrama tridimensional que representa la pluviometría del tratamiento 1(50 l/h). Letras indican las distintas situaciones de prueba. **a.** 200 Kpa, sin regulador de flujo. **b.** 300 Kpa sin regulador de flujo. **c.** 300 Kpa con regulador de flujo

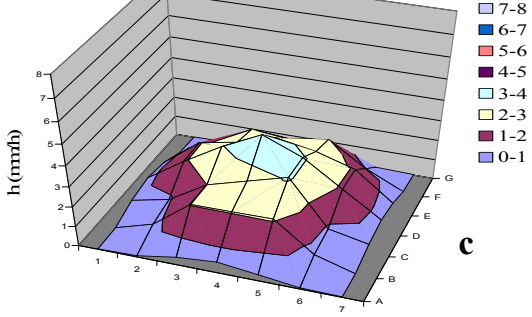
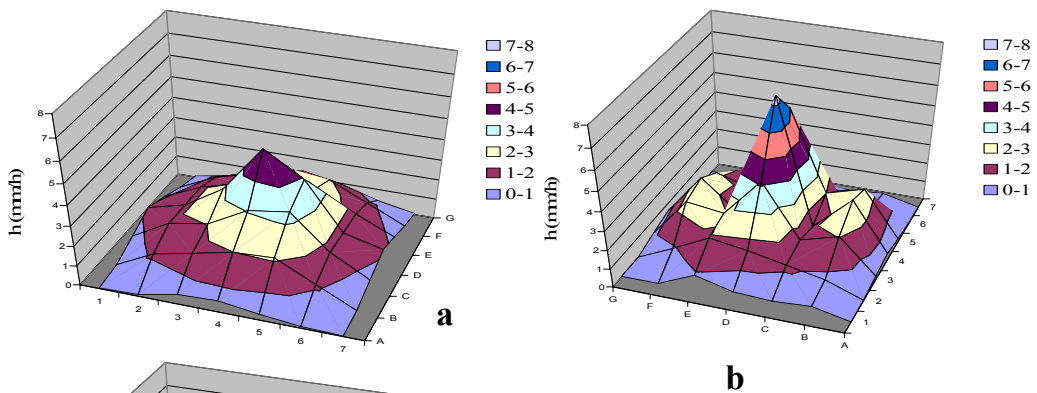


Figura18. Diagrama tridimensional que representa la pluviometría del tratamiento 2 (70 l/h). Letras indican las distintas situaciones de prueba. **a.** 200 Kpa, sin regulador de flujo. **b.** 300 Kpa sin regulador de flujo. **c.** 300 Kpa con regulador de flujo.

El tratamiento 3 refleja claramente, como el exceso de presión afecta las precipitaciones y las concentra de manera significativa al centro del área (bajo el microaspersor) (Figura 19 letra **b**). Es así, que el efecto de autocompensación, por parte del regulador de flujo queda claramente reflejado en la figura 19 letra **c**.

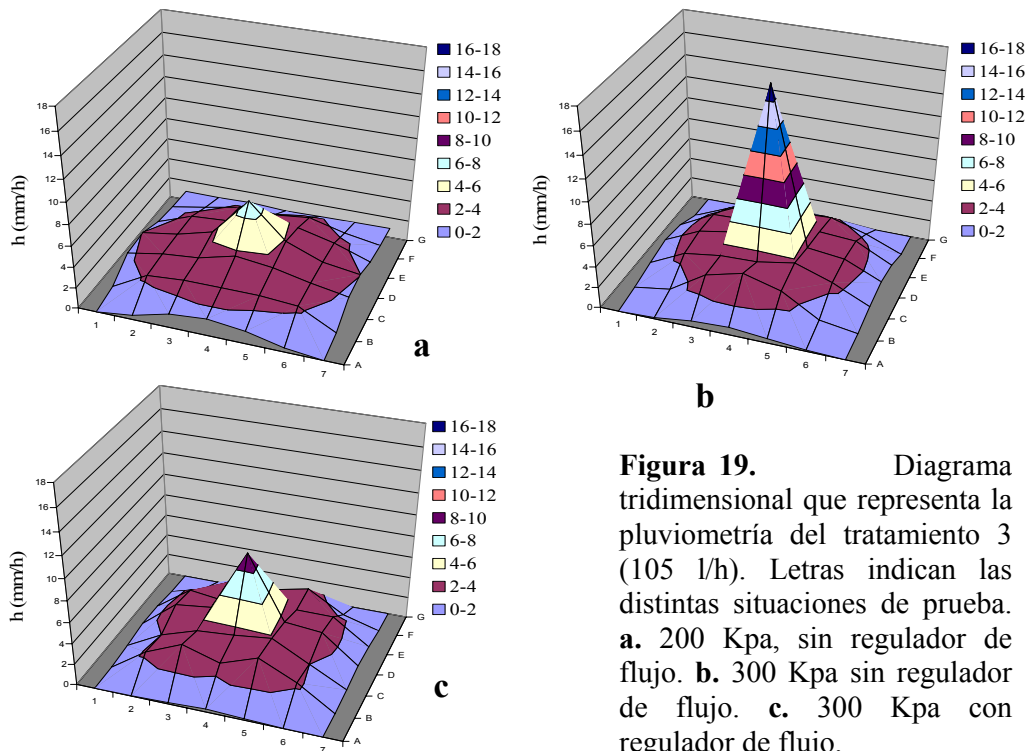
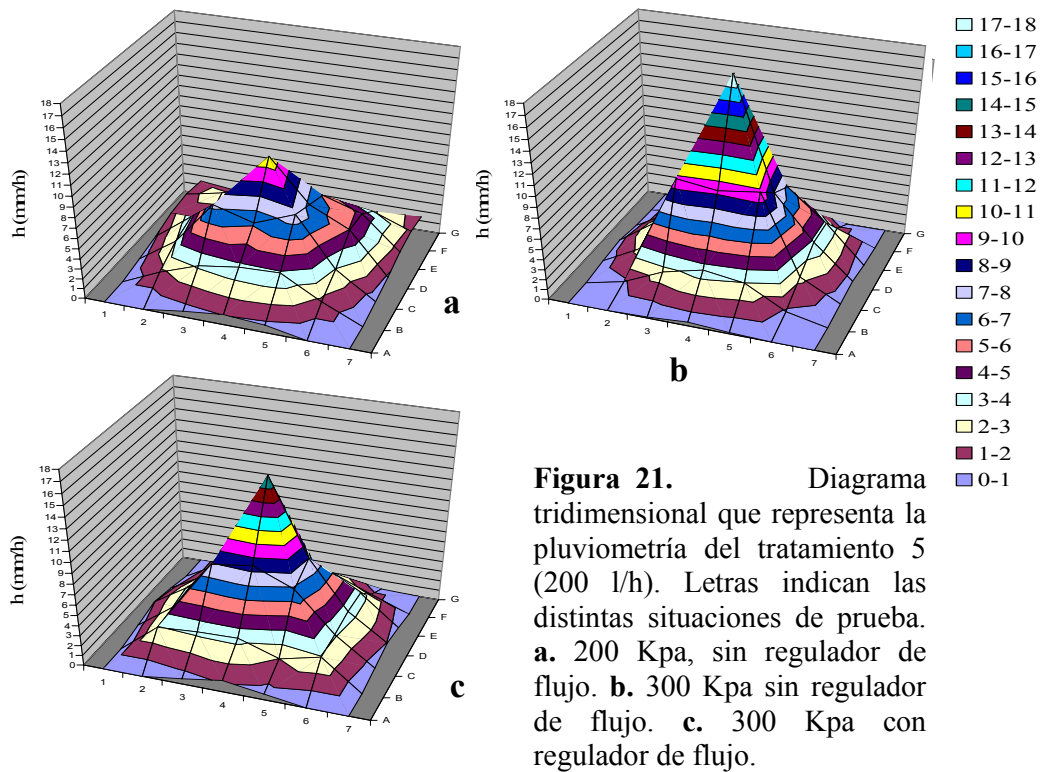
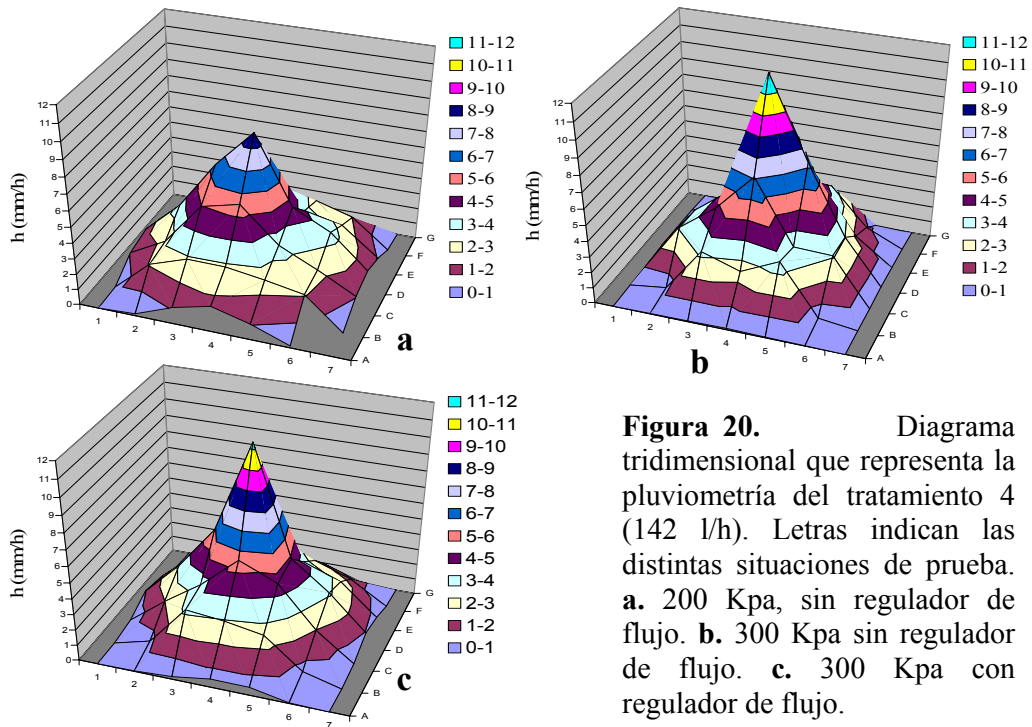


Figura 19. Diagrama tridimensional que representa la pluviometría del tratamiento 3 (105 l/h). Letras indican las distintas situaciones de prueba. **a.** 200 Kpa, sin regulador de flujo. **b.** 300 Kpa sin regulador de flujo. **c.** 300 Kpa con regulador de flujo.

Los tratamientos 4 y 5 no reflejan una tendencia clara de efecto en el patrón de mojado por parte de los reguladores de flujo, ya que en ambos tratamientos se aprecia una mayor concentración de precipitaciones bajo el microaspersor, para los casos de 300 Kpa. con y sin regulador de flujo (figuras 20 y 21 Letras b y c respectivamente).

Por lo tanto, se logra apreciar que a medida que el tratamiento aumenta su caudal se va afectando el patrón de mojado. La causa podría relacionarse más a la forma del microaspersor y su respuesta frente al aumento de caudal, que al efecto del regulador.

Queda claro, que en todos los tratamientos a medida que es mayor la presión, las precipitaciones se concentran al centro, debido a una mayor nebulización de las gotas de agua (gotas más pequeñas).



Cabe destacar que, en todos los tratamientos se detectaron dos aspectos a considerar. Primero, los diámetros de mojamientos de los microaspersores no coinciden con los informados por el fabricante (Cuadro 5). Es de importancia, debido a que parte de los diseños de riego toman en cuenta la información entregada por el fabricante y si ésta no coincide se pueden ver afectados los traslapes entre microaspersores, superficies de mojamiento y otros, produciendo alteraciones en los parámetros de uniformidad de aplicación del agua repercutiendo en el huerto relacionado.

Cuadro 5. Diferencias entre el diámetro de mojamiento del fabricante versus el diámetro real medido a presión nominal.

Tratamiento	Diámetro esp. Fabricante	Diámetro real (*)
	(Metros)	
1	5,0	6,4
2	7,0	7,0
3	8,0	7,5
4	8,5	7,5
5	9,0	8,0

Segundo, se detectó una zona seca dentro del área de mojamiento para todos los casos, la cual era producto del soporte que sostenía el rotor del microaspersor. Básicamente, se ve afectado el patrón de mojamiento y posiblemente los parámetros de uniformidad de aplicación del agua (figura 22).

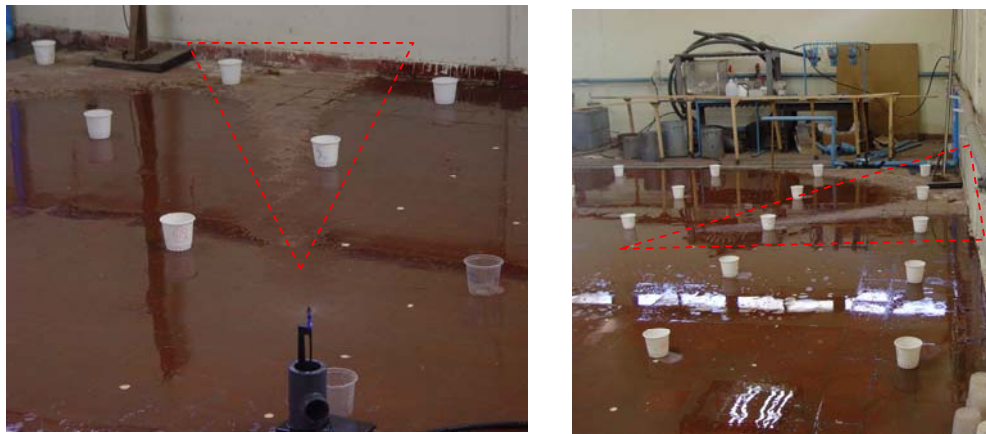


Figura 22. Zona seca dentro del área de mojamiento para el tratamiento 3 (50 l/h) a 300 Kpa con regulador de flujo.

Curvas de distribución

Se confeccionaron las curvas de distribución de agua, en función de la distancia de cada colector al microaspersor de prueba, en dos radios de evaluación formando un ángulo de 180° entre ambos. La curva de distribución promedio, debe cumplir con los requerimientos del fabricante, con una variación máxima de +/- 15%.

Dado que el fabricante no proporciona dicha información, se presenta como información adicional, los diagramas en dos dimensiones, de la distribución promedio de las precipitaciones de todos los tratamientos para las tres situaciones de evaluación (figuras 23, 24 y 25). Demuestran más claramente la tendencia de concentración de las precipitaciones en la zona central que rodea al microemisor, y que va disminuyendo a medida que se aleja hacia la periferia.

Solo en el tratamiento 2 a una presión de 300 Kpa sin regulador (figura 24), se observa una zona de aumento transitorio de las precipitaciones (anillo, figura 18 b).

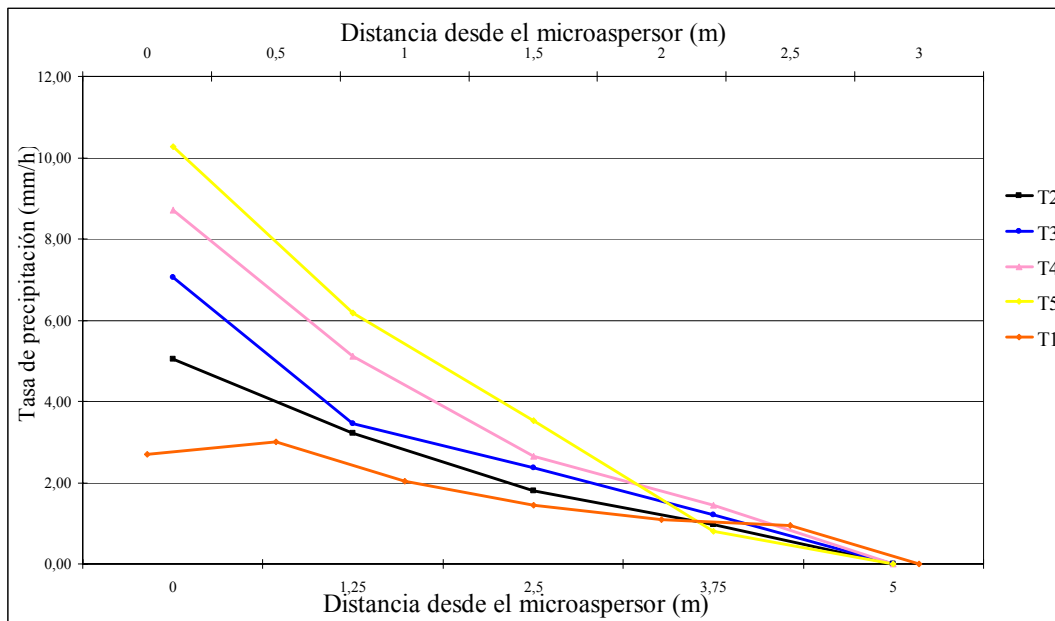


Figura 23. Curvas de distribución promedio para los tratamientos 1 (50 l/h), 2 (70 l/h), 3 (105 l/h), 4 (412 l/h) y 5 (200 l/h), probados a 200 Kpa sin regulador de flujo. Eje horizontal superior corresponde al tratamiento 1, cuya ubicación de los colectores correspondió a 0.5 m entre ellos.

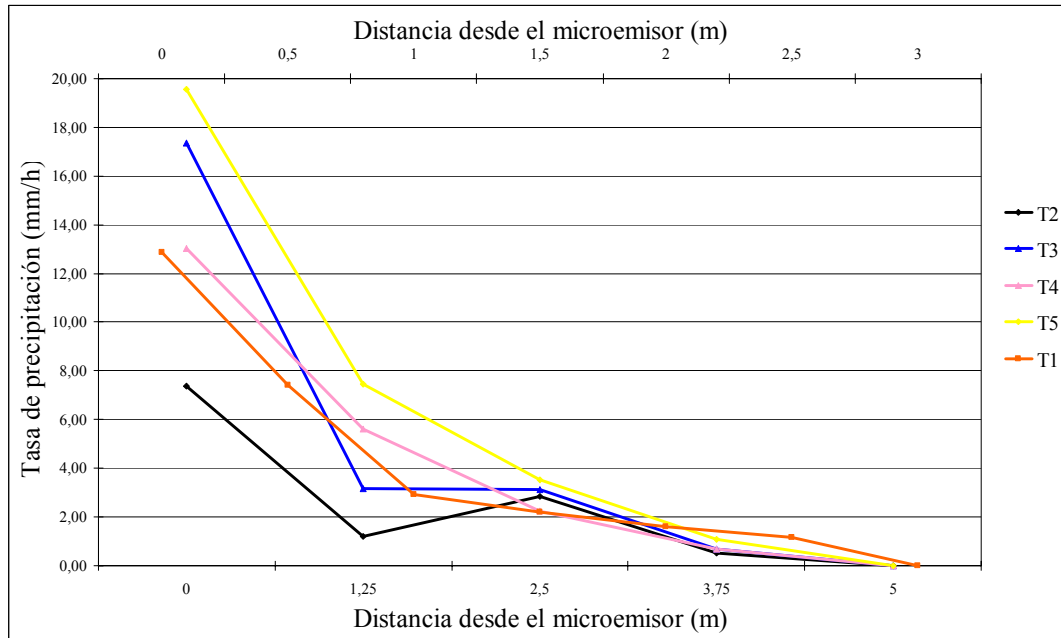


Figura 24. Curvas de distribución promedio para los tratamientos 1 (50 l/h), 2 (70 l/h), 3 (105 l/h), 4 (412 l/h) y 5 (200 l/h), probados a 300 Kpa sin regulador de flujo. Eje horizontal superior corresponde al tratamiento 1, cuya ubicación de los colectores correspondió a 0.5 m entre ellos.

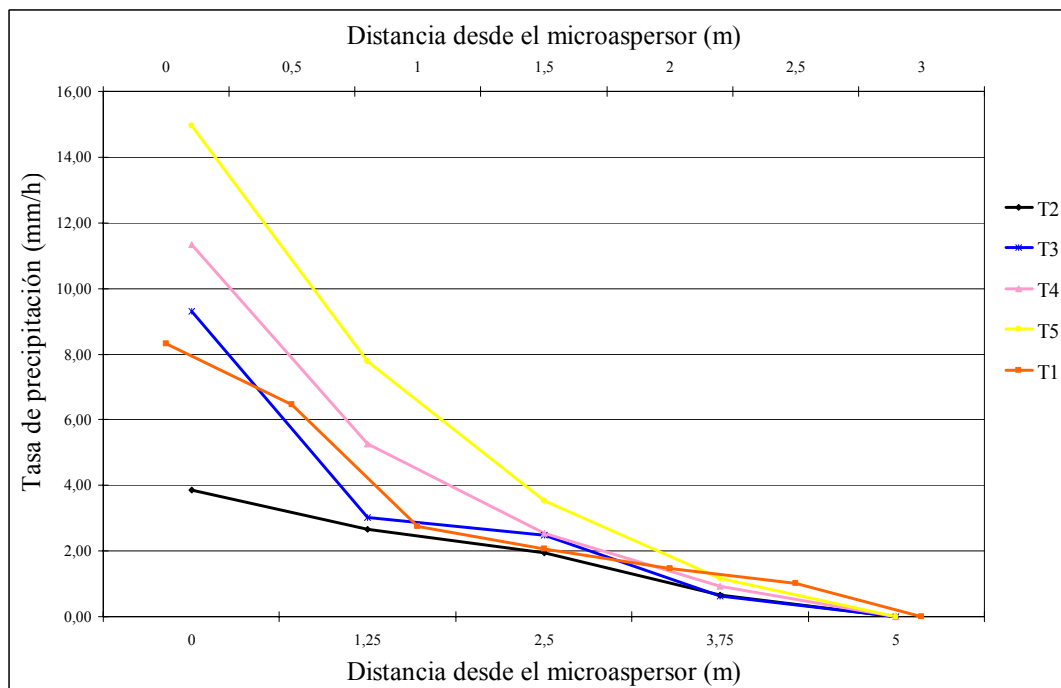


Figura 25. Curvas de distribución promedio para los tratamientos 1 (50 l/h), 2 (70 l/h), 3 (105 l/h), 4 (412 l/h) y 5 (200 l/h), probados a 300 Kpa con regulador de flujo. Eje horizontal superior corresponde al tratamiento 1, cuya ubicación de los colectores correspondió a 0.5 m entre ellos.

CONCLUSIONES

La calidad de fabricación de los reguladores de flujo, depende de cada modelo, ya que los resultados encontrados en la prueba de uniformidad de emisión, indica que los reguladores de flujo quedan divididos entre categorías A y B según norma ISO 9260: 1991, y como emisores de comportamiento desde marginal a excelente según norma ASAE A DEC01.

Dado que la función de los reguladores de flujo es actuar precisamente en el rango de presión que va de 200 Kpa hasta las 350 Kpa y más, la clasificación para este rango de acción es la mejor en cada una de las normas internacionales (categoría A norma ISO y de carácter excelente norma ASAE).

Los reguladores entregan caudales mayores a las especificaciones técnicas a presión nominal, sin embargo en la práctica estas diferencias no causan complicaciones exceptuando al regulador de 50 l/h.

Las desviaciones de caudal (Q_d) acusan de cierta manera, que la información entregada por el fabricante no concuerda con la realidad, tal es el caso del regulador de flujo de 50 l/h.

Los reguladores de flujo han respondido de manera satisfactoria en cuanto a los CU_C , por obtener valores superiores al 93 %.

Existe un claro efecto de compensación por parte de los reguladores de flujo. Ecuaciones de exponentes muy bajos (ceranos a cero) y r^2 de valores superiores a 0,92.

El rango de compensación se ve reflejado además, en los C_v muy bajos obtenidos a partir de 200 Kpa de presión.

Según los resultados de la investigación, los reguladores de flujo son efectivos para trabajar en terrenos escarpados con diferencias de cota de no más de 15 metros.

La comparación de los parámetros de uniformidad de aplicación del agua, permiten concluir:

- ✓ El traslape de mejor uniformidad y distribución es por los cuatro costados.
- ✓ Los CU_C y UD para el traslape en banda son bastante pobres.
- ✓ Los mejores resultados se obtuvieron con el microaspersor funcionando a presión nominal, por lo que con el uso de los reguladores de flujo a mayor presión, no se iguala ese comportamiento
- ✓ La distribución del agua es homogénea entre los distintos tipos de microaspersores, básicamente, por que los patrones de mojamientos se asemejan bastante en las formas.
- ✓ La forma espacial (diseño), de los microaspersores acusa una mala uniformidad y distribución del agua a medida que el caudal de entrega es mayor (Ej: 200 l/h).
- ✓ Los diámetros de mojamientos medidos no corresponden a la información entregada por el fabricante.

BIBLIOGRAFÍA

- ANSI-ASAE 2001. Collapsible emitting hose (drip tape). Specifications and performance testing. American National Standard Institute-American Society of Agricultural Engineers. Miami, Estados Unidos. 4 p.
- ARMONI, S. 1989. Riego por microaspersión. Prensa XXI, España. 187 p.
- ASAE 2001. Design and Installation of Microirrigation Systems. American Society of Agricultural Engineers. Miami, Estados Unidos. 4 p.
- ISO 1991. Emitters. Specification and Test Methods. Agricultural Irrigation Equipment. International Standards Organization. Génova, Italia. 6 p.
- ISO 2000. Sprayers. General Requirements and Test Methods. Agricultural Irrigation Equipment. International Standard Organization. Génova, Italia. 12 p.
- ISO 1990. Rotating Sprinklers. Uniformity of Distribution and Test Methods. Agricultural Irrigation Equipment. International Standards Organization. Génova, Italia. 6 p.
- MACHUCA, L. 1995. Determinación de los patrones de mojamiento de Microaspersores con y sin el uso de pulsadores. Tesis Ing. Agr. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 61 p.
- MERRIAM, J.L. and KELLER, J. 1978. Farm irrigation system evaluation: A guide for management: Utah State University, Logan, Utah. 342 p.
- POST, S., PECK, D., BRENDLER, R., SAKOVICH, N. and Waddle, L. 1986. Evaluation of low-flow sprinklers. California Agriculture 40 (6):27-29.
- PIZARRO, F. 1990. Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): goteo, microaspersión, exudación. 2ª ed. Mundiprensa, Madrid, España. 471 p.
- ROJAS, G. 2003. Diseño de una unidad de certificación de equipos de riego. Tesis Ing. Agr. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 217 p.
- SAINT-FOULC, J. 1972. El riego por aspersión. E.T.A., Barcelona, España, 252 p.
- UNIVERSIDAD CASTILLA LA MANCHA, Uniformidad de distribución [en línea] <http://crea.uclm.es/~siar/8_1_2.html> [consulta: 11 diciembre 2004]
- ZIMMERMAN, J. 1966. Irrigation. Wiley, New York, USA. 516 p.

APÉNDICES

Apéndice I. Detalle de los valores calculados, de coeficiente de uniformidad y el coeficiente de variación de fabricación calculados de los reguladores de flujo de los tratamientos 1 (50 l/h), 2 (70 l/h), 3 (105 l/h), 4 (142 l/h) y 5 (200 l/h). Determinación de la uniformidad de emisión de caudales

Tratamiento	Repetición	Suma	Promedio	Desv. Estandar	Coef. Variación	Coef. Uniformidad
1	1	1479,60	59,18	5,6843	0,09604	0,9722
	2	1554,24	62,17	2,3293	0,03747	0,9669
	3	1502,88	60,12	4,6766	0,07779	0,9616
2	1	1746,76	69,87	3,0144	0,04314	0,9715
	2	1710,17	68,41	1,2233	0,01788	0,9859
	3	1817,31	72,69	1,2233	0,01683	0,9867
3	1	2688,72	107,55	2,8198	0,02622	0,9764
	2	2706,42	108,26	2,4958	0,02305	0,9788
	3	2653,68	106,15	2,8198	0,02656	0,9761
4	1	3415,68	136,63	2,4612	0,01801	0,9864
	2	2967,84	118,71	15,2883	0,12878	0,8921
	3	3571,92	142,88	4,8775	0,03414	0,9700
5	1	5027,70	201,11	21,9962	0,10937	0,8989
	2	4974,30	198,97	15,9718	0,08027	0,9364
	3	4947,00	197,88	8,5735	0,04333	0,9627

Apéndice II. Relación promedio individual, entre la presión y el caudal de los reguladores de flujo para los tratamientos 1 (50 l/h), 2 (70 l/h), 3 (105 l/h), 4 (142 l/h) y 5 (200 l/h).

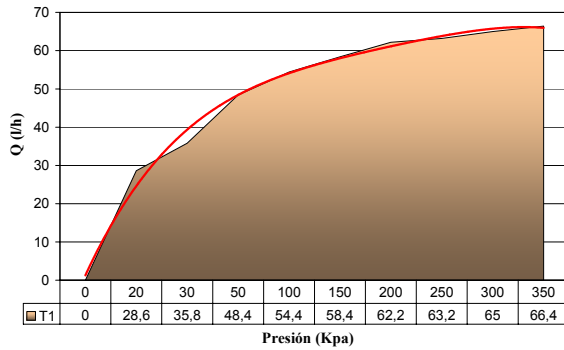


Figura II.1. Relación promedio entre la presión y el caudal para el tratamiento 1 (50 l/h).

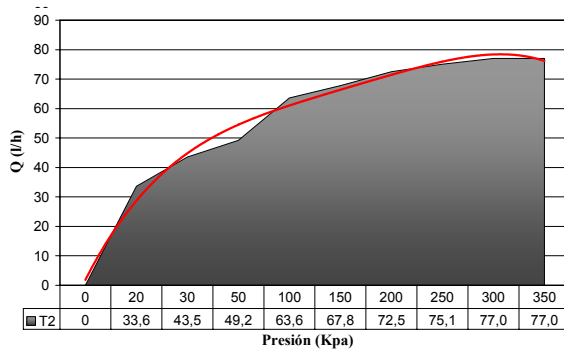


Figura II.2. Relación promedio entre la presión y el caudal para el tratamiento 1 (70 l/h).

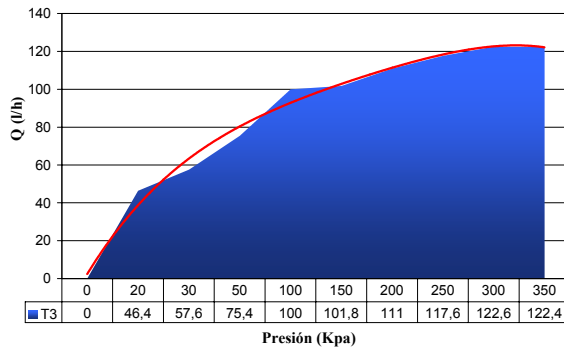


Figura III.3. Relación promedio entre la presión y el caudal para el tratamiento 1 (105 l/h).

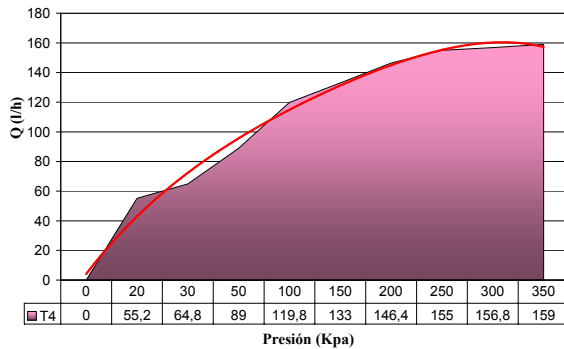


Figura II.4. Relación promedio entre la presión y el caudal para el tratamiento 1 (142 l/h).

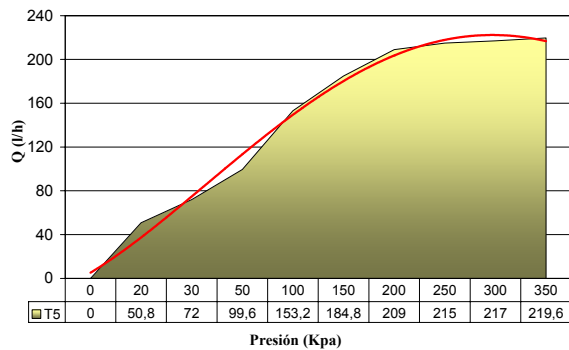


Figura II.5. Relación promedio entre la presión y el caudal para el tratamiento 1 (200 l/h).

Apéndice III. Detalle de los valores obtenidos de Cv de fabricación por tratamiento, prueba rango de presión.

NARANJO 50 l/h

PRESION (Kpa)	R1	R2	R3	PROM
20	0,120736322	0,04347826	0,19543399	0,119883
30	0,125288218	0,05621398	0,144610057	0,108704
50	0,134184724	0,04159452	0,327167746	0,167649
100	0,086161608	0,03367175	0,018624202	0,046153
150	0,043157415	0,0186242	0,106043927	0,055942
200	0,041513323	0,01785619	0,086859551	0,048743
250	0,045360921	0,03220024	0,015327883	0,030963
300	0,060159986	0,03220024	0,015327883	0,035896
350	0,043740888	0,03099649	0,015327883	0,030022

NEGRO 70 l/h

PRESION (Kpa)	R1	R2	R3	PROM
20	0,11111	0,15193428	0,151934281	0,138326558
30	0,1066	0,15344610	0,153093109	0,137709232
50	0,1347	0,09482896	0,093541435	0,107674536
100	0,1366	0,05656854	0,056568542	0,083261840
150	0,0288	0,05050763	0,050507627	0,043285157
200	0,0159	0,05084746	0,049616634	0,038779036
250	0,0249	0,05902007	0,058665265	0,047540788
300	0,0145	0,06244834	0,060349313	0,045763469
350	0,0145	0,06244834	0,060349313	0,045763469

AZUL 105 l/h

PRESION (Kpa)	R1	R2	R3	PROM
20	0,051024997	0,17418118	0,1304769	0,118561026
30	0,040945985	0,16561866	0,153846154	0,120136933
50	0,059076023	0,15091413	0,095450342	0,101813497
100	0,037974684	0,06976228	0,038122124	0,048619697
150	0,012987013	0,12643678	0,099293927	0,079572574
200	0,011494253	0,08510638	0,067754906	0,054785181
250	0,015044825	0,06571204	0,058655851	0,046470907
300	0,014142136	0,04401176	0,048543689	0,03556586
350	0,014142136	0,00970874	0,009708738	0,011186537

ROSADO 142 l/h

PRESION (Kpa)	R1	R2	R3	PROM
20	0,22331019	0,2290432	0,159341356	0,20389825
30	0,21274579	0,19876099	0,108527529	0,173344769
50	0,164854928	0,19417403	0,123743687	0,160924216
100	0,1637441	0,09026709	0,107552661	0,120521285
150	0,09936556	0,05500898	0,075306557	0,076560366
200	0,067591896	0,01823807	0,053731278	0,046520415
250	0,034905876	0,0136382	0,039223227	0,029255766
300	0,006739497	0,03100079	0,025124286	0,020954859
350	0,00663621	0,03386778	0,032680204	0,024394732

AMARILLO 200 l/h

PRESION (Kpa)	R1	R2	R3	PROM
20	0,13359448	0,11588681	0,093541435	0,114340907
30	0,084983659	0,07277524	0,09743658	0,085065161
50	0,102317257	0,13020827	0,133195521	0,121907017
100	0,080272508	0,07200000	0,075372857	0,075881788
150	0,055959924	0,05595992	0,078703233	0,063541027
200	0,047232781	0,03003556	0,011235955	0,029501433
250	0,012492	0,01571348	0,007856742	0,012020742
300	0,004797925	0,00913671	0,010989011	0,008307881
350	0,004745345	0,03225806	0,038016494	0,025006634

Apéndice IV. Valores de Coeficiente de uniformidad y Uniformidad de distribución obtenidos en el análisis de los parámetros de uniformidad de aplicación del agua. Cada tratamiento para los tres casos de prueba definidas.

Tratamiento	Presión (Kpa)	Regulador	Disposición	PROM	
				CU	UD
5 (200 l/h)	200	NO	TRASLAPE	0,8609	0,76549
	200	NO	BANDA	0,4322	0,12705
	300	NO	TRASLAPE	0,7137	0,68182
	300	NO	BANDA	0,2583	0,12513
	300	SI	TRASLAPE	0,8576	0,82319
	300	SI	BANDA	0,3495	0,13819
4 (142 l/h)	200	NO	TRASLAPE	0,9103	0,88338
	200	NO	BANDA	0,4626	0,25606
	300	NO	TRASLAPE	0,7879	0,74210
	300	NO	BANDA	0,3152	0,11504
	300	NO	TRASLAPE	0,8284	0,80110
	300	NO	BANDA	0,3657	0,15157
3 (105 l/h)	200	NO	TRASLAPE	0,8289	0,75342
	200	NO	BANDA	0,5575	0,33111
	300	NO	TRASLAPE	0,5869	0,56232
	300	NO	BANDA	0,3416	0,13634
	300	NO	TRASLAPE	0,7349	0,70300
	300	NO	BANDA	0,3728	0,12447
2 (70 l/h)	200	NO	TRASLAPE	0,8914	0,85505
	200	NO	BANDA	0,5432	0,32738
	300	NO	TRASLAPE	0,7158	0,47145
	300	NO	BANDA	0,3909	0,15129
	300	NO	TRASLAPE	0,8763	0,83258
	300	NO	BANDA	0,5020	0,22988
1 (50 l/h)	200	NO	TRASLAPE	0,83419561	0,80221
	200	NO	BANDA	0,56738877	0,45800
	300	NO	TRASLAPE	0,78331262	0,74028
	300	NO	BANDA	0,50327242	0,38713
	300	NO	TRASLAPE	0,81467412	0,79426
	300	NO	BANDA	0,48241726	0,36108