

**Evaluación de la uniformidad de distribución  
del agua de seis cintas de goteo en condiciones  
de El Zamorano**

**Amílcar José Vargas Loyo**

**Zamorano, Honduras**  
Noviembre, 2008

ZAMORANO  
CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

# **Evaluación de la uniformidad de distribución del agua de seis cintas de goteo en condiciones de El Zamorano**

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado  
Académico de Licenciatura

Presentado por:

**Amílcar José Vargas Loyo**

**Zamorano, Honduras**  
Noviembre, 2008

# **Evaluación de la uniformidad de distribución del agua de seis cintas de goteo en condiciones de El Zamorano**

Presentado por:

Amílcar José Vargas Loyo

Aprobado:

---

Francisco Álvarez, MAE  
Asesor Principal.

---

Miguel Vélez, Ph.D.  
Director Carrera Ciencia y  
Producción Agropecuaria.

---

Secarlo Padilla, Ing. Agr.  
Asesor.

---

Raúl Espinal, Ph.D.  
Decano Académico.

---

Abelino Pitty, Ph.D.  
Coordinador  
Área Temática Fitotecnia.

---

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.  
Rector.

## RESUMEN

Vargas, A. 2008. Evaluación de la uniformidad de distribución del agua de seis cintas de goteo en condiciones de El Zamorano. Proyecto de graduación del programa de Ingeniero Agrónomo. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano. Honduras. 15 p.

La uniformidad de la distribución del agua en el riego influye directamente en el crecimiento de las plantas y en el uso de energía y aplicación de fertilizantes. El objetivo del estudio fue determinar los coeficientes de uniformidad (CU); uniformidad en la distribución (UD); uniformidad en la emisión (UE); coeficiente de variación de fabricación ( $CV_f$ ); desviación del caudal medio (Qd) y tipo de flujo de seis marcas de cintas de goteo. La evaluación se realizó en la unidad de Maquinaria y Riego de la Escuela Agrícola Panamericana. Las marcas de cintas utilizadas fueron T-Tape, Queen Gil, Aqua Traxx, Ro Drip, Netafim, y Azudline. Así mismo se evaluaron dos cintas con uno y dos ciclos de uso en campo de las marcas Queen Gil y T-Tape. Todas se evaluaron en condiciones de laboratorio con un sistema controlado de presiones para aforar los goteros de cada una. Cada marca operó con tres laterales con una longitud de cuarenta metros cada una con tres repeticiones; aforando noventa goteros por marca trabajando a la presión nominal. Se encontraron diferencias en el CU ( $P \leq 0.05$ ) en las cintas nuevas Aqua Traxx, Netafim y Queen Gil, siendo Aqua Traxx la que obtuvo el mayor CU, 98.30%. En el UD se encontró diferencias ( $P \leq 0.05$ ) en las cintas nuevas Aqua Traxx, Ro-Drip, Azudline, Netafim y Queen Gil. El mayor UD obtenido fue por Aqua Traxx con 97.66% que no difiere de la cinta T-Tape con un UD de 96.80%. En el UE no hubo diferencias ( $P \geq 0.05$ ) entre las cintas nuevas Aqua Traxx, T-Tape, Ro-Drip, Azudline y Netafim. Sí hubo diferencia en la marca Queen Gil, con el menor UE. Las cintas de uno y dos ciclos de uso en campo de la marca T-Tape fueron diferentes ( $P \leq 0.05$ ) en CU, UD y UE, con respecto a Queen Gil de uno y dos ciclos. El tipo de flujo de las cintas nuevas T-Tape, Azudline, Aqua Traxx y Netafim fue perfectamente turbulento. Se recomienda que la marca T-Tape modelo 506-15-340 se use en dos ciclos en campo y la marca Queen Gil se descarte al primer ciclo de uso.

**Palabras clave:** Ciclos de uso, flujo turbulento, flujo laminar, riego.

## ABSTRACT

Vargas, A. 2008. Evaluation of uniform distribution of water dripping from six tapes in the conditions of Zamorano. Graduation Project of the Program of Agricultural Engineering. Zamorano. Honduras. 15 p.

The evaluation of water distribution uniformity in drip irrigation is important because it directly influences the growth and development of plants as well as in energy use and application of fertilizers. The objective of the study was to determine the coefficients of uniformity (UC); distribution uniformity (DU); the emission uniformity (EU), the manufacture variation coefficient; average flow deviation (QD) and flow type of six brands of drip tape. The evaluation was conducted in the Machinery and Irrigation unit of the Pan American Agricultural School. The tape brands used were T-Tape, Queen Gil, Aqua Traxx, Ro drip, Netafim, and Azudline. One and two cycle T-Tape and Queen Gil driplines. All were evaluated under laboratory conditions with a controlled system of pressure to measure the drippers of each. Each brand operated with three laterals with a length of forty meters each with three repetitions; measuring ninety drippers per brand working at a nominal pressure. Differences were found in CU ( $P \leq 0.05$ ) in the new tapes Aqua Traxx, Netafim and Queen Gil, with Aqua Traxx obtain the largest CU, 98.30%. In the UD significant differences were found ( $P \leq 0.05$ ) in the new tapes Aqua Traxx, Ro-drip, Azudline, Netafim and Queen Gil. The mayor UD was obtained by Aqua Traxx with 97.66% which is no different from the tape T-Tape with a UD of 96.80%. In the EU there was no significant difference ( $P \geq 0.05$ ) in the new Aqua Traxx tapes, T-Tape, Ro-drip, Azudline and Netafim. There were significant differences in the mark Queen Gil, with the lowest EU. T-Tape with one and two cycles of field use was different ( $P \leq 0.05$ ) in UC, UD and the EU, from the Queen Gil with one and two cycles. The rate of flow of new driplines T-Tape, Azudline, Aqua Traxx and Netafim was quite turbulent. It is recommended that the trademark T-Tape 506-15-340 model be used for two cycles and Queen Gil medium flow to be discontinued after the first cycle of use because the rates of uniformity of water distribution are not acceptable.

**Key words:** Cycles of field, irrigation, laminar flow, turbulent flow.

## CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Abstract.....	iv
Contenido.....	v
Índice de Cuadros y Anexos.....	vi
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>3</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>7</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>11</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>12</b>

## ÍNDICE DE CUADROS Y ANEXOS

<b>Cuadros</b>	<b>Página</b>
1. Descripción de las marcas de las cintas de goteo evaluadas.....	3
2. Porcentajes de coeficientes de uniformidad (CU), uniformidad de distribución (UD) y uniformidad de emisión (UE) para las seis cintas nuevas.....	7
3. Porcentajes obtenidos de la desviación del caudal medio (Qd) de las seis cintas nuevas a una presión nominal.....	8
4. Porcentajes obtenidos de coeficiente de variación de fabricación ( $CV_f$ ) de seis cintas nuevas.....	8
5. Porcentajes de coeficientes de uniformidad (CU), uniformidad de distribución (UD) y uniformidad de emisión (UE) para las cintas Queen Gil y T-Tape de un ciclo de uso.....	9
6. Porcentajes de coeficientes de uniformidad (CU), uniformidad de distribución (UD) y uniformidad de emisión (UE) para las cintas Queen Gil y T-Tape de dos ciclos de uso.....	9
7. Valor de exponente X para seis marcas de cintas de goteo.....	10
 <b>Anexos</b>	
1. Sistema controlado de presiones.....	13
2. Diagrama de una repetición.....	13
3. Valores de X para varios regimenes de flujo y emisores.....	14
4. Agujero para aforar el gotero de cada cinta.....	14
5. Clasificación de la calidad de cinta.....	15
6. Rangos recomendados del coeficiente de uniformidad en la emisión (UE).....	15

## INTRODUCCIÓN

Para obtener el máximo beneficio de los cultivos, recursos hídricos y elementos tecnológicos que permiten hacer la actividad agrícola más competitiva y rentable, el manejo de los sistemas de riego debe ser óptimo (Martínez Barrera 2001). El riego es un componente principal en la producción agrícola que influye directamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Existen diferentes métodos para irrigar que permiten incrementar la producción de los cultivos, como son el riego superficial, por aspersión, micro aspersión y goteo (Hargreaves y Merkle 2000).

El método de riego por goteo se caracteriza por la aplicación de láminas de agua dirigidas al sistema radical de las plantas, humedeciendo una zona restringida, formando un bulbo húmedo establecido por un gotero de baja descarga, operando en un rango de presión entre 5 a 15 libras por pulgada cuadrada.

La uniformidad y distribución de láminas de agua en riego por goteo son importantes porque influyen en la eficiencia del uso de energía y aplicación de fertilizantes para alcanzar el máximo rendimiento del cultivo y aumentar la eficiencia del sistema de riego. La uniformidad de la aplicación en los sistemas de riego por goteo, puede ser mayor o igual al noventa por ciento, en terrenos adecuados, buen diseño hidráulico, y manejo del sistema en general (Hargreaves y Merkle 2000). Estos parámetros pueden degradarse rápidamente con el tiempo debido a causas como filtrado deficiente, lavado de la cinta, diferencias de presión y coeficiente de variación del gotero. Así mismo puede reducirse por circunstancias imprevistas e inusuales, como el daño causado por roedores que puede ser devastador en algunas áreas.

Otro parámetro importante en la evaluación de una cinta es la desviación de caudal medio, que debería ser bastante próximo a su caudal nominal,  $Q_r$ , dado por el fabricante a una presión nominal. Si el caudal medio está significativamente sobre o por debajo del caudal nominal para el que un sistema de riego ha sido diseñado, los caudales y la presión del sistema se verán afectados (Boswell 1990).

El tipo de flujo de una cinta de goteo (laminar o turbulento), permite determinar la susceptibilidad de la cinta a obstruirse por partículas (físicas o biológicas) en suspensión en el agua para el riego (Boswell 1990). Se llama flujo laminar o corriente laminar al movimiento de un fluido cuando éste es perfectamente ordenado, estratificado, de manera que el fluido se mueve en láminas paralelas, lo que facilita que las partículas puedan obstruir el gotero. El flujo turbulento se da en forma caótica; las partículas se mueven desordenadamente y sus trayectorias forman pequeños remolinos que mantienen

suspendidas las partículas, reduciendo el riesgo de taponamiento por su facilidad de evacuarlas.

Para determinar el tipo flujo de una cinta es necesario determinar el valor del exponente de descarga ( $X$ ), que variará entre 0 y 1, dependiendo del mecanismo de emisión. El valor  $X$  es importante porque juega el papel principal en la uniformidad de aplicación de agua. Cuanto menor es el valor de  $X$ , más autocompensante es el emisor. Así, en el caso de un emisor totalmente autocompensante  $X=0$ , el caudal es constante dentro de un rango específico de presión de trabajo, y la uniformidad del sistema teóricamente sería perfecta. En el caso de un emisor no autocompensante, el valor dependerá de sí el flujo del emisor es vorticial, turbulento o laminar (Boswell 1990).

La vida útil de una cinta de goteo está determinada por el manejo (lavado) de la cinta, labores culturales y el espesor de la misma. En El Zamorano no existe fundamento científico para determinar el número de ciclos que pueden utilizarse las cintas de goteo T-Tape y Queen Gil, bajo condiciones de manejo en el área de producción hortícola de Zona II. El sistema de riego por goteo de Zona II fue diseñado e instalado hace 16 años para suministrar agua a los lotes de producción de agricultura convencional y producción orgánica. Con el transcurso de los años se han habilitado nuevos lotes de producción aumentando el área bajo riego y modificando la estación de bombeo no tomando en cuenta los principios hidráulicos y aspectos agronómicos para los nuevos cambios, resultando en un sistema que no se adapta a los requerimientos que actualmente tiene el área de Zona II.

El objetivo del estudio fue determinar los coeficientes de uniformidad en la distribución y en la emisión, el coeficiente de variación y la desviación del caudal medio para seis marcas de cintas de goteo bajo condiciones de Zamorano; así mismo determinar el número de ciclos de uso en el campo de las cintas T-Tape y Queen Gil que mantengan los parámetros de uniformidad y distribución de agua en los rangos óptimos y determinar el tipo de flujo de seis cintas de goteo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación:

La evaluación se llevó a cabo en la unidad de Maquinaria y Riego de la Escuela Agrícola Panamericana en el Valle del río Yeguaré, ubicado a 30 km al sureste de Tegucigalpa, Honduras. Esta zona se encuentra a 800 msnm, tiene una temperatura promedio anual de 23.4 °C y una precipitación media anual de 1,084 mm, distribuida entre los meses de mayo a noviembre<sup>1</sup>.

### Determinación del coeficiente de uniformidad de la distribución de agua en seis cintas nuevas:

Los coeficientes de uniformidad de la distribución de agua determinados fueron el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU), el coeficiente de uniformidad de distribución (UD), el coeficiente de uniformidad de emisión (UE), el coeficiente de variación de fabricación ( $CV_f$ ) y la desviación del caudal medio (Qd). Las marcas de cintas evaluadas fueron T-Tape, Queen Gil, Aqua Traxx, Ro-Drip, Netafim, y Azudline (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Descripción de las marcas de las cintas de goteo evaluadas.

Marca	Modelo	Presión nominal (psi) <sup>&amp;</sup>	Caudal nominal (L/h/gotero)	Espesor de pared (cm)	Distancia entre goteros (cm)
Ro Drip	RD5-081224-750	8	0.91	0.02032	30
T-Tape	506-15-340	8	0.51	0.01524	15
Queen Gil	Mediano flujo	14	0.40	0.02032	10
Aqua Traxx	EA5081245	8	1.02	0.02032	30
Netafim	SL 80	12	0.98	0.02032	30
Azudline	160	14	1.40	0.02032	30

Fuente: Fabricante de cada marca.

& Un psi (pound square inch) en español significa libras por pulgada cuadrada, equivalente a 6,894.75 pascales.

### Coefficiente de Uniformidad de Christiansen (CU):

Para el cálculo de CU se midió el caudal de 30 goteros por cada repetición. Se usó la fórmula:

$$CU = \left[ 1 - \frac{(\sum |Xi - \bar{X}|)}{(\bar{X})(n)} \right] * 100 \quad [1]$$

<sup>1</sup> Álvarez, F. 2008. Temperatura y precipitación en El Zamorano. Escuela Agrícola Panamericana, EAP. (comunicación personal).

Donde:

CU = Coeficiente de uniformidad, en %.

$X_i$  = Datos individuales de los caudales de los 30 goteros.

$\bar{X}$  = Promedio de los 30 goteros aforados.

n = Número de goteros aforados.

$X_i - \bar{X}$  = Valor absoluto de la diferencia entre  $X_i - \bar{X}$

El CU indica qué tan uniformes son las tasas de aplicación de agua resultantes a través de los goteros. Un CU bajo indica que las tasas de aplicación a través de los emisores son bastante diferentes mientras que un CU alto indica que las tasas de aplicación son similares entre ellas. El valor mínimo aceptable para CU es de 87%<sup>2</sup>.

### **Coeficiente de Uniformidad de Distribución (UD):**

Para calcular el coeficiente de uniformidad en la distribución se aforaron 30 goteros por cada repetición la UD se determinó con la fórmula:

$$UD = 100 * \left( \frac{Lp25\%}{\bar{X}} \right) \quad [2]$$

Donde:

UD = Uniformidad de la distribución, en %.

Lp 25% = Promedio de los caudales del 25% de los goteros con la menor descarga.

$\bar{X}$  = Promedio de todos los goteros aforados.

El UD indica cómo se distribuyen las tasas de aplicación de agua de los goteros; compara la lámina promedio de agua depositada en el 25% de los recipientes que percibieron la menor lámina, con la lámina promedio sobre el 100% del área. El valor mínimo aceptable es de 79%<sup>2</sup>.

### **Coeficiente de Uniformidad en la Emisión (UE):**

Para el cálculo de UE se midió el caudal de 30 goteros por cada repetición, utilizando la fórmula:

$$UE = 100 \left[ 1 - \frac{1.27 C_{v_f}}{\sqrt{n}} \right] \left( \frac{q_m}{q_a} \right) \quad [3]$$

Donde:

UE = Uniformidad en la emisión, en %.

n = Número de emisores muestreados.

$C_{v_f}$  = Coeficiente de variación de fabricación.

$q_m$  = Gotero con la mínima descarga, L/h.

$q_a$  = Promedio de descarga de los goteros, L/h.

<sup>2</sup> Álvarez, F. 2008. Rango aceptable de los coeficientes de uniformidad y de distribución de agua. Escuela Agrícola Panamericana, EAP. (comunicación personal).

El UE determina la uniformidad de descarga de aplicación de agua por los goteros en términos de coeficiente de variación por fabricación (ASABE 2008).

**Coefficiente de variación de fabricación ( $CV_f$ ):**

El coeficiente de variación de fabricación se refiere a la calidad del proceso de fabricación del gotero en cintas nuevas. Es una medida que muestra la variación del caudal en los goteros como porcentaje del caudal medio. Para el cálculo de  $CV_f$  se midió el caudal de treinta goteros por cada repetición, utilizando la fórmula:

$$CV_f = \frac{s}{Q_{med}} \quad [4]$$

Donde:

$s$  = Desviación estándar de los goteros muestreados.

$Q_{med}$  = Caudal promedio de los aforos de los goteros de la muestra.

Un  $CV_f$  del 10% significa que la desviación típica es de un 10% con respecto al promedio de los datos. Para una muestra de emisores con un promedio de descarga de 4 L/h, un  $CV_f$  de 10% indicará que la desviación típica es 0.4 L/h. Así el 68% de los caudales de los emisores caerían dentro de un rango de 3.6 a 4.4 L/h un 95% tendrán caudales entre 3.2 y 4.8 L/h y 99.7% entre 2.8 y 5.2 L/h (Boswell 1990).

**Desviación del caudal medio ( $Q_d$ ):**

La desviación del caudal medio ( $Q_d$ ) es la diferencia del caudal nominal dado por el fabricante y el promedio del aforo de treinta goteros por cada repetición ( $Q_r$ ), para una presión nominal (Boswell 1990). Para calcular la desviación del caudal medio se aforaron 30 goteros y se utilizó la fórmula:

$$Q_d = 100 \left[ \frac{Q_r - Q_{med}}{Q_r} \right] \quad [5]$$

Donde:

$Q_d$  = Desviación del caudal medio, en %

$Q_{med}$  = Caudal medio de 30 goteros aforados.

$Q_r$  = Caudal nominal por el fabricante, L/h.

Para determinar los coeficientes anteriormente mencionados, las cintas se evaluaron en condiciones de laboratorio en la unidad de Maquinaria y Riego con agua filtrada por el sistema de filtrado de Zona II conformado por dos filtros primarios de grava y dos filtros secundarios de anillos (120 mesh) y utilizando un sistema controlado de presiones portátil (Anexo 1). Cada marca operó con tres repeticiones de tres cintas cada una, con una longitud de cuarenta metros cada cinta (Anexo 2), a la presión nominal calibrada en el sistema controlado de presiones; luego se cambiaban las tres cintas para realizar la siguiente repetición de la marca. Para aforar los goteros se excavó un agujero en el suelo (Anexo 4) por cada gotero y se colocó un recipiente para recolectar el agua y medir el volumen en una probeta, aforando tres goteros al inicio, cuatro goteros en la parte media y tres goteros al final de la cinta, con treinta goteros por repetición, haciendo un total de noventa goteros por cada marca de cinta.

Se usó un diseño completamente al azar (DCA), con seis tratamientos y tres repeticiones. El análisis estadístico se realizó con el programa “Statistical Analysis System 2003” (SAS<sup>®</sup>), con la separación de medias de diferencia mínima significativa (LSD). Los tratamientos fueron las cintas nuevas de las marcas T-Tape, Ro-Drip, Queen Gil, Azudline, Netafim y Aqua Traxx.

**Determinación de coeficientes de uniformidad de la distribución de agua en cintas con uno y dos ciclos de uso en campo:**

Se determinaron los parámetros de uniformidad de la distribución de agua con la misma metodología anteriormente mencionada, para las cintas Queen Gil y T-Tape de uno y dos ciclos de uso en campo.

Las cintas de goteo Queen Gil y T-Tape de uno y dos ciclos de uso en campo, provienen del área de Zona II, donde se lavaron semanalmente con ácido fosfórico y melaza aplicados por el sistema de riego. El lavado se realizó utilizando una dosis de cuatro a cinco litros de ácido fosfórico y 9.10 a 13.64 kg de melaza por cada lote de producción. Los filtros de arena se retrolavaron tres veces al día y una vez por semana se dejaron en remojo con 1.14 kg de cloro. La cinta de un ciclo de uso en campo fue utilizada cuatro meses en el cultivo de cebolla y la cinta de dos ciclos ocho meses.

Se usó un diseño completamente al azar (DCA), con tres repeticiones y dos tratamientos. El análisis estadístico se realizó con el programa “Statistical Analysis System 2003” (SAS<sup>®</sup>), con la separación de medias de diferencia mínima significativa (LSD). Los tratamientos fueron cintas T-Tape y Queen Gil con un ciclo de uso en campo. Para evaluar las cintas T-Tape y Queen Gil con dos ciclos en campo, se realizó el mismo procedimiento anteriormente mencionado.

**Tipo de flujo:**

Se determinó el tipo de flujo para las cintas nuevas T-Tape, Queen Gil, Aqua Traxx, Ro-Drip, Netafim y Azudline. Se usó un diseño completamente al azar (DCA) con tres repeticiones para cada marca, donde cada repetición fue equivalente a una cinta de diez metros de longitud, con 21 goteros para cada repetición. En cada cinta se realizaron seis aforos a las siguientes presiones 6, 8, 10, 12, 14, y 16 psi, para determinar el exponente de descarga y clasificarlo según el mecanismo de emisión (Anexo 3), con la fórmula de caudal:

$$Q = Kd(H)^X \quad [6]$$

Donde:

- Q= Caudal del emisor (L/h).
- H= Presión de trabajo (psi).
- Kd= Coeficiente de descarga.
- X= Exponente de descarga.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Coefficientes de uniformidad de la distribución de agua en cintas nuevas:

#### Coefficiente de uniformidad de Christiansen (CU):

Se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en el CU entre las cintas Aqua Traxx con 98.30%, Netafim 97% y Queen Gil con 92.65%. No se encontró diferencias ( $P \geq 0.05$ ) en el CU obtenido con las cintas Aqua Traxx, T-Tape, Ro-Drip y Azudline (Cuadro 2).

El rango mínimo aceptable de CU es 87%, por lo tanto todas las cintas se encuentran él. Sin embargo este coeficiente no es el parámetro ideal para evaluar la uniformidad de la aplicación de agua en un sistema de riego por goteo, porque fue hecho para evaluar un sistema de riego por aspersión donde la forma de recolectar el volumen de agua emitido por el emisor es diferente, ya que el volumen recolectado será afectado por evaporación, velocidad del viento y distancia entre laterales, sin embargo da una aproximación de las tasas de aplicación de los goteros aforados.

#### Coefficiente de uniformidad de distribución (UD):

Se encontraron diferencias ( $P \leq 0.05$ ) en la UD entre las cintas Aqua Traxx, Ro-Drip, Azudline, Netafim y Queen Gil. La cinta Aqua Traxx obtuvo un UD de 97.66% que no difiere de la cinta T-Tape con un UD de 96.80%. Las UD obtenidas por las cintas Ro-Drip, Azudline y Netafim no son significativamente diferentes ( $P \geq 0.05$ ); pero sí ( $P \leq 0.05$ ) con la marca Queen Gil, que obtuvo la menor UD con 88.48% (Cuadro 2). Comparando los resultados con el valor mínimo aceptable de UD (no menor de 79%), todas las cintas nuevas tienen buen coeficiente de uniformidad de distribución.

Este parámetro indica que, estadísticamente, las cintas Aqua Traxx y T-Tape tuvieron la mejor distribución de las tasas de aplicación de agua, debido a que comparó el 25% de los goteros con menor caudal, con respecto a la media de los goteros aforados.

**Cuadro 2.** Porcentajes de coeficientes de uniformidad (CU), uniformidad de distribución (UD) y uniformidad de emisión (UE) para las seis cintas nuevas.

Marca de cinta	CU <sup>&amp;</sup>	UD <sup>&amp;</sup>	UE <sup>&amp;</sup>
Aqua Traxx	98.30a	97.66a	94.61a
T-Tape	97.85ab	96.80ab	94.01a
Ro-Drip	97.53ab	96.06b	94.58a
Azudline	97.37ab	95.55b	92.10a
Netafim	97.00b	96.06b	94.30a
Queen Gil	92.65c	88.48c	82.82b

<sup>&</sup> Medias en la misma columna con la misma letra no son significativamente diferentes  $P \geq 0.05$

**Coefficiente de uniformidad en la emisión (UE):**

Entre las cintas nuevas Aqua Traxx, T-Tape, Ro-Drip, Azudline y Netafim no se encontró diferencias ( $P \geq 0.05$ ) en UE. Sí hubo diferencia con la marca Queen Gil, con el menor coeficiente de uniformidad de emisión. Todas las cintas están dentro del rango recomendado por la American Society of Agricultural and Biological Engineers (Anexo 6). El coeficiente de uniformidad de emisión es similar al coeficiente de uniformidad de distribución en equipos de riego recién instalados y en equipos en los que los goteros no se encuentren obturados.

**Desviación del caudal medio (Qd):**

El caudal promedio que mayor desviación tuvo de su caudal nominal fue de la marca Queen Gil con 10.30% (Cuadro 3); según la clasificación (Anexo 5) de la desviación de caudal medio, esta es considerada una cinta de calidad marginal. Las cintas nuevas Netafim, Ro-Drip, Aqua Traxx y T-Tape se calificaron como buenas y Azudline se calificó con una calidad media.

**Cuadro 3.** Porcentajes obtenidos de la desviación del caudal medio (Qd) de las seis cintas nuevas a una presión nominal.

Marca de cinta	Presión nominal (psi)	Qd
Netafim	12	4.80
Ro-Drip	8	1.54
Aqua Traxx	8	4.12
Azud	14	9.77
T-Tape	8	2.44
Queen Gil	14	10.30

Fuente: Autor.

**Coefficiente de variación de fabricación (CV<sub>f</sub>):**

Basado en el coeficiente de variación de fabricación, las cintas se clasifican en buena, media, marginal y de pobre calidad (Anexo 5). Las cintas nuevas evaluadas se clasifican como buenas, porque su CV<sub>f</sub>, fue menor al 10% (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Porcentajes obtenidos de coeficiente de variación de fabricación (CV<sub>f</sub>) de las seis cintas nuevas.

Marca de cinta	CV <sub>f</sub>
Netafim	3.38
Ro-Drip	2.15
Aqua Traxx	2.07
Azud	1.85
T-Tape	2.09
Queen Gil	4.24

Fuente: Autor.

### **Coefficientes de uniformidad de la distribución de agua en cintas con uno y dos ciclos en campo:**

#### **Coefficiente de uniformidad de Christiansen (CU):**

Los CU de Queen Gil y T-Tape de un ciclo son diferentes ( $P \leq 0.05$ ), logrando el mayor CU la cinta T-Tape con 93.74% (Cuadro 5), ambas cintas son aceptables según el CU de Christiansen.

En las cintas T-Tape y Queen Gil de dos ciclos, T-Tape tuvo el mayor CU de 90.83%; el CU de Queen Gil es considerado inaceptable (Cuadro 6).

#### **Coefficiente de uniformidad de distribución (UD):**

El coeficiente de UD en la cinta T-Tape fueron superiores ( $P \leq 0.05$ ), con 91.08% (Cuadro 5) a los de Queen Gil. El CU de T-Tape esta en el rango adecuado.

En el caso de las cintas de dos ciclos de uso en campo, T-Tape tuvo el mayor UD con 85.22% (Cuadro 6), estando en el rango adecuado de UD.

#### **Coefficiente de uniformidad de emisión (UE):**

El UE de las cintas T-Tape de un ciclo es mayor con 87.42% que el de Queen Gil (Cuadro 5). Solamente T-Tape esta dentro del rango óptimo de UE (Anexo 3). Finalmente se encontraron diferencias ( $P \leq 0.05$ ) entre las cintas de dos ciclos, obteniendo la marca T-Tape mayor UE con 79.34% (Cuadro 6); ambos coeficientes de UE están fuera del rango de uniformidad de descarga.

**Cuadro 5.** Porcentajes de coeficientes de uniformidad (CU), uniformidad de distribución (UD) y uniformidad de emisión (UE) para las cintas Queen Gil y T-Tape de un ciclo de uso.

Marca cinta	CU <sup>&amp;</sup>	UD <sup>&amp;</sup>	UE <sup>&amp;</sup>
T-Tape	93.74a	91.08a	87.42a
Queen Gil	84.14b	71.02b	52.90b

<sup>&</sup> Medias en la misma columna con la misma letra no son significativamente diferentes  $P \geq 0.05$

**Cuadro 6.** Porcentajes de coeficientes de uniformidad (CU), uniformidad de distribución (UD) y uniformidad de emisión (UE) para las cintas Queen Gil y T-Tape de dos ciclos de uso.

Marca cinta	CU <sup>ψ</sup>	UD <sup>ψ</sup>	UE <sup>ψ</sup>
T-Tape	90.83a	85.22a	79.34a
Queen Gil	67.35b	59.28b	44.79b

<sup>ψ</sup> Medias en la misma columna con la misma letra no son significativamente diferentes  $P \geq 0.05$

#### **Desviación del caudal medio (Qd):**

Las desviaciones del caudal medio de Queen Gil y T-Tape de un ciclo fueron de 6.80% y 8.33% respectivamente, consideradas como calidad media. La desviación de la cinta Queen

Gil de dos ciclos fue de 17.80%, clasificada como calidad marginal y la de T-Tape de dos ciclos de 23.93% clasificada como una calidad pobre (Anexo 5).

**Tipo de flujo:**

Las cintas nuevas T-Tape, Azudline, Aqua Traxx y Netafim fueron clasificadas con un flujo perfectamente turbulento por el valor del exponente X cercano a 0.5. Este tipo de flujo reduce los riesgos de obturación. La cinta Queen Gil presentó un flujo parcialmente turbulento y Ro-Drip un flujo parcialmente laminar (Anexo 3); por lo que son susceptibles a la obturación del gotero.

**Cuadro 7.** Valor de exponente X para seis marcas de cintas de goteo.

Marca de cinta	Ecuación
T-Tape	$Q = 0.1635x^{0.5347}$
Azud	$Q = 0.3274x^{0.5128}$
Aqua Traxx	$Q = 0.3045x^{0.5556}$
Netafim	$Q = 0.2799x^{0.4782}$
Ro Drip	$Q = 0.1475x^{0.8801}$
Queen Gil	$Q = 0.0934x^{0.6236}$

Fuente: Autor.

## **CONCLUSIONES**

- Las tasas de aplicación de las cintas nuevas Aqua Traxx, T-Tape, Ro-Drip, Azudline Netafim y Queen Gil son similares en los parámetros de uniformidad y con índices superiores a los mínimos recomendados.
- Se debe considerar la desviación de caudal medio (Qd) en el diseño de un sistema de riego utilizando la cinta nueva Queen Gil con un Qd de 10.30%, porque los caudales y presiones del sistema se verán afectados, dando lugar a problemas hidráulicos que solo se manifestaran después de la instalación del sistema.
- La cinta T-Tape de dos ciclos de uso en campo mantuvo los coeficientes de uniformidad (CU) y uniformidad de distribución (UD), por lo que se puede utilizar por dos ciclos en campo.
- La cinta Queen Gil solo se debe usar un ciclo en campo, para mantener los rangos adecuados de uniformidad de distribución de agua, así como para reducir el consumo de agua y los costos de operación.
- Las cintas T-Tape, Azudline, Aqua Traxx y Netafim presentaron un flujo perfectamente turbulento, siendo menos susceptible a los cambios de presión y a obturación de los goteros, mientras que la cinta Queen Gil tuvo un flujo parcialmente turbulento y Ro-Drip un flujo parcialmente laminar, por lo que estas dos cintas tendrán mayor susceptibilidad a los cambios de presión y a obstruirse.

## **RECOMENDACIONES**

- Usar las cintas Aqua Traxx, T-Tape, Azudline y Netafim, la elección la determinará el precio.
- Utilizar la cinta T-Tape modelo 506-15-340 en un segundo ciclo de uso.
- Descartar la cinta Queen Gil de mediano flujo después de un ciclo de uso.
- Controlar la uniformidad de distribución de agua antes de iniciar cada ciclo de cultivo.
- Evaluar el resto de las marcas que han sido utilizadas uno y dos ciclos en campo.
- Realizar una evaluación de la distribución del agua en el suelo, determinando el comportamiento del bulbo húmedo en los suelos de Zamorano.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers, US). 2008. Design and installation of microirrigation system (en línea). Consultado el 26 sept. 2008. Disponible en <http://asae.frymulti.com/aazz.asp?JID=2&AID=24437&CID=s2000&T=2>

Boswell, M.J. 1990. Manual de diseño y manejo de sistemas de micro irrigación. Trad. JR López, A Pérez y MB Hernández. Sevilla, ESP. Litografía A. Romero. 297 p.

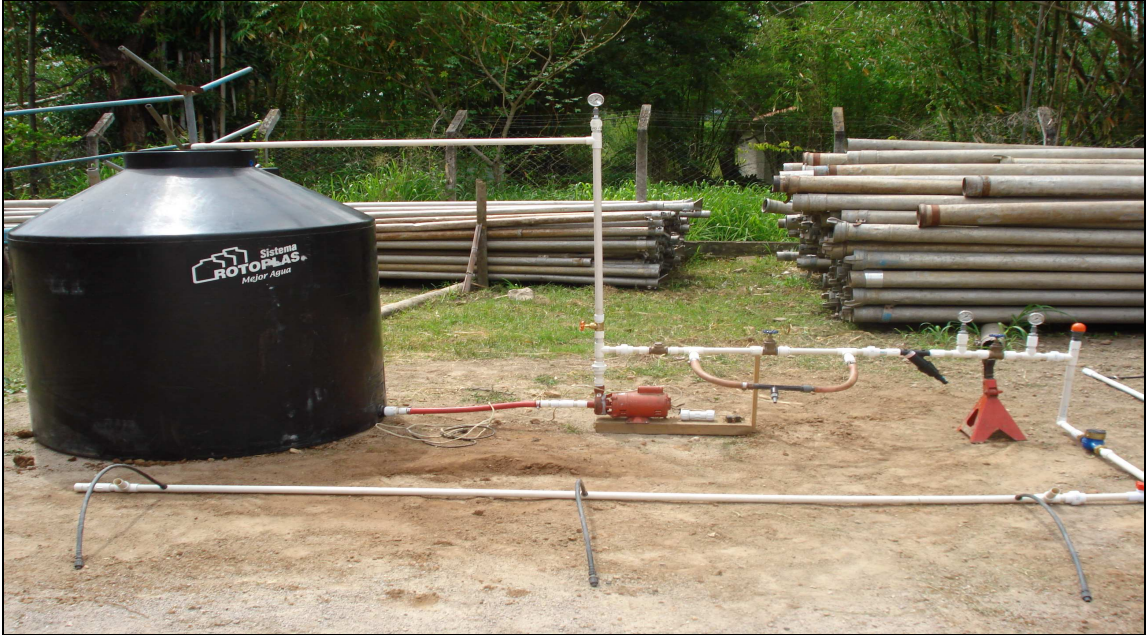
Burt, C.M. y Styles, S.W. 2000. Riego por goteo y por microaspersión para árboles, vides y cultivos anuales. Trad. JA Forero. Groves Beach, California. Central Coast Printing.

Hargreaves, G.H. y Merkle GP. 2000. Fundamentos del Riego. EU. Water Resources Publications. 221 p.

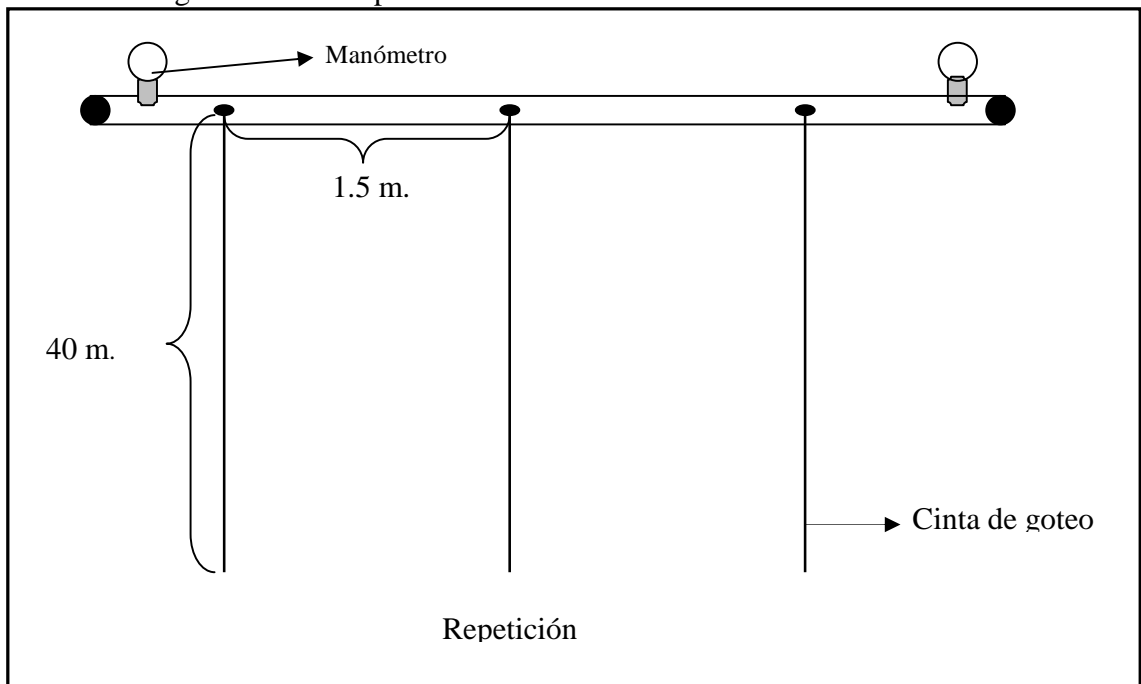
Martínez Barrera, L. 2001. Manual de operación y mantención de equipos de riego presurizado. Gobierno Regional de Atacama, Comisión Nacional de Riego e Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile). Centro Regional de Investigación Intihuasi (La Serena), Centro Experimental Huasco (Vallenar). Boletín INIA No. 65, 76 p.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Sistema portátil controlado de presiones portátil.



**Anexo 2.** Diagrama de una repetición.



**Anexo 3.** Valores del exponente X para varios regimenes de flujo y emisores.

Régimen de flujo	Valor X	Tipo de emisor
Conducto variable	0.0	Emisores autocompensantes
	0.1	
	0.2	
	0.3	
Flujo vorticial	0.4	Emisores vortex
Flujo perfectamente turbulento	0.5	Orificio, conductos tortuosos
	0.6	
Flujo parcialmente turbulento		Conducto largo o espiral
	0.7	
	0.8	
Flujo parcialmente Laminar		Microtubo
	0.9	
Flujo perfectamente laminar	1.0	Flujo capilar

Fuente: Boswell 1990.

**Anexo 4.** Agujero para aforar el gotero de cada cinta.

**Anexo 5.** Clasificación de la calidad de cinta.

Clasificación	Gotero		Cinta	
	Qd (%)	CV <sub>f</sub> (%)	Qd (%)	CV <sub>f</sub> (%)
Bueno	< 4	< 5	< 5	< 10
Medio	4-8	5-10	5-10	10-15
Marginal	8-12	10-15	10-15	15-20
Pobre	> 12	> 15	> 15	> 20

Fuente: Boswell 1990.

**Anexo 6.** Rangos recomendados del coeficiente de uniformidad en la emisión (UE).

Tipo de emisor	Distanciamiento (m)	Topografía	Pendiente (%)	Rango óptimo (%)
Goteros puntuales en cultivos perennes	mayor a 4	Uniforme	< 2	90 - 95
		Ondulado o con pendiente	> 2	85 - 90
Goteros puntuales en cultivos perennes o semi permanentes	menor a 4	Uniforme	< 2	85 - 90
		Ondulado o con pendiente	> 2	80 - 90
Goteros continuos en cultivos anuales o perennes	todos	Uniforme	< 2	80 - 90
		Ondulado o con pendiente	> 2	70 - 85

Fuente: ASABE 2008.