

**Evaluación de cinco cintas de riego por goteo
en dos condiciones de baja presión de
operación**

**Nelson Vega Zambrano
Rossy Ritzed Urquia Arriaga**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2014

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Evaluación de cinco cintas de riego por goteo en dos condiciones de baja presión de operación

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingenieros Agrónomos en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Nelson Vega Zambrano
Rossy Ritzed Urquia Arriaga

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2014

Evaluación de cinco cintas de riego por goteo en dos condiciones de baja presión de operación

Presentado por:

Nelson Vega Zambrano
Rossy Ritzed Urquia Arriaga

Aprobado:

Francisco Álvarez, M.A.E.
Asesor Principal

Renan Pineda, Ph.D.
Director
Departamento de Ciencia y Producción
Agropecuaria

Dafne Isaac Serrano, Ing. Agr.
Asesor

Raúl H. Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Raul Espinal, Ph.D.
Asesor

Evaluación de cinco cintas de riego por goteo en dos condiciones de baja presión de operación

Nelson Vega Zambrano
Rossy Ritzed Urquía Arriaga

Resumen: Los sistemas de riego a baja presión ayudan a regular el consumo del agua. Son sistemas donde gravitacionalmente podemos abastecerlo sin energía adicional pero con baja uniformidad de distribución. Su bajo costo de inversión y mantenimiento los vuelve atractivos al productor. El estudio se llevó a cabo en el Centro Productivo Para la Innovación Rural Sostenible (CEPiRS), ubicado en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. El objetivo fue determinar cual era la mejor cinta de goteo según el coeficiente de uniformidad (CU) al final del ciclo y determinar el nivel de taponamiento de cinco cintas de riego por goteo bajo condiciones de baja presión de operación. Se utilizó un diseño completo al azar (DCA) con un arreglo factorial 2×5 , la altura estática de 1.25 y 2.00 metros columna de agua (mca) y cinco cintas Eurodrip, Aquatraxx, Irriline, Aquadrop y Azud, para un total de diez tratamientos. Para la variable CU no existió diferencia significativa ($p \leq 0.05$) al final del ciclo; para la variable taponamiento las cintas que menor variación tuvieron con respecto al caudal nominal fueron la Azud para la altura 1.25 mca; para la altura 2.00 mca no hubo diferencia entre la Azud y Eurodrip.

Palabras clave: CU, metros columna de agua, taponamiento.

Abstract: Low pressure irrigation systems help to regulate water consumption. These systems can supply themselves gravitationally without using extra power, but they have a low uniformity of distribution. The low cost of investment and maintenance makes them attractive for the producers. The study was conducted in the “Centro Productivo Para la Innovación Rural Sostenible” (CEPiRS), located in the Panamerican Agricultural School, Zamorano, Honduras. The objective of this study was to determine the highest drip tape using the Coefficient of Uniformity (UC), and clogging in five different drip tapes under low operating pressure. A Complete Randomized Design was used, with a factorial arrangement of 2×5 , being the static height of 1.25 and 2.00 water column meters and five tapes Eurodrip, Aquatraxx, Irriline, Aquadrop and Azud, with a total of ten treatments. For the variable UC no significant difference ($p \leq 0.05$) at the end of the cycle; For the variable clogging the tapes had less variation from the nominal flow were 1.25 for height Azud mca; for height 2.00 meters head there was no difference between the Azud and Eurodrip.

Key words: Clogging, UC, water column meters.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	v
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	10
4 CONCLUSIONES.....	27
5 RECOMENDACIONES.....	28
6 LITERATURA CITADA.....	29
7 ANEXOS	30

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Características de las cintas de goteo.	4
2. Tratamientos.....	5
3. Lista de materiales.....	6
4. Caudales nominales de las cinco cintas para la altura 1.25 mca.....	7
5. Caudales nominales de las cinco cintas para la altura 2.00 mca.....	8
6. Niveles de taponamiento con respecto al caudal nominal.....	8
7. Coeficiente de uniformidad por cinta y altura, para la semana 1.	10
8. Coeficiente de uniformidad por cinta y altura, para la semana 2.	11
9. Coeficiente de uniformidad por cinta y altura, para la semana 3.	11
10. Coeficiente de uniformidad por cinta y altura, para la semana 4.	12
11. Coeficiente de uniformidad por cinta y altura, para la semana 5.	13
12. Coeficiente de uniformidad por cinta y altura, para la semana 6.	13
13. Coeficiente de uniformidad por cinta y altura, para la semana 7.	14
14. Coeficiente de uniformidad por cinta y altura, para la semana 8.	15
15. Coeficiente de uniformidad por cinta y altura, para la semana 9.	15
16. Coeficiente de uniformidad por cinta y altura, para la semana 10.	16
17. Coeficiente de uniformidad por cinta y altura, para la semana 11.	17
18. Coeficiente de uniformidad por cinta y altura, para la semana 12.	17
19. Sumatoria del nivel de taponamiento para cada una de las cintas para la altura 1.25 mca.	21
20. Ponderación de datos según el nivel de taponamiento.	22
21. Sumatoria del nivel de taponamiento para cada una de las cintas para la altura 2.00 mca.	25
22. Resultados de taponamiento 2.00 mca durante las 12 semanas.	26
Figuras	Página
1. Taponamiento a lo largo del tiempo de la cinta Eurodrip para la altura 1.25 mca.	18
2. Taponamiento a lo largo del tiempo de la cinta Aquatraxx para la altura 1.25 mca.	19
3. Taponamiento a lo largo del tiempo de la cinta Irriline para la altura 1.25 mca.	20

4. Taponamiento a lo largo del tiempo de la cinta Aquadrop para la altura 1.25 mca.	20
5. Taponamiento a lo largo del tiempo de la cinta Azud para la altura 1.25 mca.	21
6. Taponamiento a lo largo del tiempo de la cinta Eurodrip para la altura 2.00 mca.	22
7. Taponamiento a lo largo del tiempo de la cinta Aquatraxx para la altura 2.00 mca.	23
8. Taponamiento a lo largo del tiempo de la cinta Irriline para la altura 2.00 mca.	23
9. Taponamiento a lo largo del tiempo de la cinta Aquadrop para la altura 2.00 mca.	24
10. Taponamiento a lo largo del tiempo de la cinta Azud para la altura 2.00 mca.	25

Anexos	Página
1. Área de trabajo CEPiRS Zamorano, toma de datos.....	30
2. Cada una de las diferentes cintas que se evaluaron Eurodrip, Aquatraxx, Irriline, Aquadrop y Azud respectivamente.....	31
3. Dos alturas a las que fueron evaluadas nuestras cintas 1.25 metros columna de agua y 2.00 metros columna de agua.....	31

INTRODUCCIÓN

Durante años, el riego ha sido una de las prácticas agrícolas más importantes utilizadas para lograr el desarrollo esperado de los cultivos. Esto ha obligado a agricultores a desarrollar y aceptar nuevas prácticas y tecnologías que logren una producción eficiente. Si bien es cierto que todos los sistemas de riego cumplen con la función de aportar agua al suelo para que la planta pueda aprovecharla, pero existen sistemas precisos que aportan agua directo a la raíz del cultivo disminuyendo el uso excesivo del recurso.

El riego por goteo es un sistema de riego localizado, que aporta agua directamente a la raíz de la planta, permite que el agua sea liberada con mayor frecuencia de manera eficiente en el perfil. Ofrece beneficios potenciales como: uso eficiente del agua, riegos más frecuentes y aplicación de fertilizantes (ferti-riego). Por otra parte tiene desventajas, como el alto costo de inversión o el taponamiento de los emisores lo que obliga al agricultor disponer de tiempo o mano de obra para limpieza; es necesaria agua de buena calidad (Moya 2009).

El riego por goteo es uno de los sistemas actualmente más utilizados en Honduras. La economía del país depende fuertemente del sector agropecuario, por lo que el fomento a la producción agrícola bajo riego se considera fundamental para abastecer su consumo interno y ampliar sus horizontes de exportación de productos no tradicionales (FAO, 2000).

Los sistemas de riego por goteo son sistemas populares utilizados por muchos agricultores para el desarrollo de los cultivos, sin embargo son sistemas costosos que no están al alcance de pequeños productores. Por ello existen empresas que han desarrollado sistemas de baja presión a precios más accesibles, para que productores con poca área de producción y una capacidad monetaria menor tengan la oportunidad de producir de manera más eficiente sin un alto costo de inversión.

La organización no gubernamental International Development Enterprises (iDE), a través del Centro Productivo para la Innovación Rural Sostenible (CEPiRS), ubicado en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, tiene como misión adaptar, modificar y analizar sistemas de riego con el fin de facilitar a pequeños productores formas más eficientes de regar sus cultivos

El CEPiRS promueve el uso eficiente del agua con tecnologías de bajo costo que están al alcance de productores de escasos recursos económicos, donde Zamorano se ha convertido en aliado estratégico de iDE para promover estas tecnologías en Honduras y otros países por medio de sus estudiantes ya que el centro es parte de su aprendizaje.

Los sistemas de riego a baja presión son una tecnología más para regular el consumo del agua. Son sistemas donde gravitacionalmente podemos abastecerlo sin energía adicional, trabajando a presiones que oscilan entre 1 y 5 psi. Se recomienda usarlos en pendientes no mayores al 2%, pero dada la geografía accidentada de nuestros países, son ampliamente usados en laderas. Debido a que son sistemas que tienen goteros de flujo laminar y se ven afectados por los cambios en pendiente y largo del lateral sus valores de uniformidad son bajos. Sin embargo su bajo costo de inversión y su relativamente bajo costo de mantenimiento los vuelve atractivos al productor.

Es por esto que se decidió llevar a cabo un estudio donde se evaluó el desempeño en cuanto a uniformidad de distribución del agua en un sistema de baja presión así como su tendencia al taponamiento a lo largo del tiempo. Se utilizaron cinco cintas de riego de alta tecnología que normalmente trabajan a presiones entre 8 y 15 psi. Fueron sometidas a un sistema de baja presión de 1.25 metro columna de agua (mca), equivalente a 1.8 psi y 2.00 metros columna de agua (mca), equivalente a 2.9 psi.

La importancia del estudio del sistema de baja presión es brindar soluciones a productores, ya que no se cuenta con mucha información o datos pertinentes que nos sirva para implementarlo de forma masiva y segura.

Según (Williams 2011) realizó un estudio similar a este en un sistema de riego por goteo de baja presión de 20 m × 20 m con goteros de flujo laminar, obtuvo un resultado para CU de 48%.

Según Tarjuelo (1990) para que un sistema de riego sea uniforme en la distribución de agua el porcentaje de CU debe de ser mayor a 88%.

Esta investigación tuvo como objetivos:

Determinar cuál era la mejor cinta de goteo según el coeficiente de uniformidad (CU) al final del ciclo.

Determinar el nivel de taponamiento de cinco cintas de riego por goteo bajo condiciones de baja presión de operación.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio

El estudio se llevó a cabo en el Centro Productivo Para la Innovación Rural Sostenible (CEPiRS), ubicado en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, en el valle del río Yeguaré, a 32 km de Tegucigalpa, carretera a Danlí, Honduras. El sitio está a 800 msnm, tiene una temperatura anual promedio de 22.8 °C y una precipitación media anual de 1154 mm, distribuida en los meses de mayo a noviembre.



Figura 1. Ubicación del Centro Productivo para la Innovación Rural Sostenible
Fuente: Google Earth.

Descripción del estudio

Área

Un terreno plano que tiene un área total de 810 m², con una pendiente de 2% de Oeste-Este y una pendiente de 1% de Sur-Norte.

Fuente de agua

Procedencia: se utilizó como fuente de agua un reservorio o tanque de 1,000 L que fue abastecido de la quebrada El Gallo, situada en la aldea Jicarito, Municipio de San Antonio de Oriente.

Filtrado: se colocó un filtro de anillos ubicado en la tubería principal de 120 mesh.

Diseño de la investigación

En el siguiente cuadro podemos ver la descripción de cada una de las cintas de goteo.

Cuadro 1. Características de las cintas de goteo.

Cintas a Evaluar				
Marca	Modelo	Distancia entre emisor (m)	Presión Nominal (psi)	Caudal Nominal (L/hora)
Aquatraxx	EPAXX0690	0.2	10.0	1.3
Irriline	X345ZM	0.3	12.0	1.7
Aquadrop	AQUADROP170	0.3	10.0	1.1
Azud	AZUD SPRINE	0.2	10.0	1.6
Eurodrip	Z134	0.2	12.0	1.5

Las cintas fueron sometidas a dos alturas de nivel de agua, a 1.25 mca y 2.00 mca, para generar la presión requerida para probar su desempeño; esto equivale a 1.8 psi y 2.9 psi, respectivamente.

Dado que son dos alturas y cinco cintas (2 × 5) se obtuvieron diez tratamientos descritos en el siguiente cuadro.

Cuadro 2. Tratamientos

N°.	Tratamiento	Altura	Cinta	Codificación
1		1.25	Eurodrip	EUR125
2		1.25	Aquatraxx	AQT125
3		1.25	Irrline	IRR125
4		1.25	Aquadrop	AQD125
5		1.25	Azud	AZD125
6		2.00	Eurodrip	EUR200
7		2.00	Aquatraxx	AQT200
8		2.00	Irrline	IRR200
9		2.00	Aquadrop	AQD200
10		2.00	Azud	AZD200

Arreglo espacial: dada la dificultad de tener un sistema de riego para cada unidad experimental, se diseñaron dos sistemas de riego donde se ubicaron tres repeticiones de cada cinta operados independientemente, usando como criterios las dos columnas de agua. Cada sistema constaba de un tanque reservorio de 1,000 L elevados a 1.25 y 2.00 mca respectivamente. Cada sistema tenía una tubería principal de 13.5 m de largo, la cual abastecía directamente a los laterales de riego los cuales tenían una longitud de 30 m. Se dividió la tubería principal en tres secciones con la presencia de las cinco cintas en cada una de ellas, colocadas en el siguiente orden: Eurodrip, Aquatraxx, Irriline, Aquadrop y Azud. Se colocaron en ese orden equidistante entre cada repetición para que la pérdida de presión por fricción dentro de la tubería, no afectase los resultados.

Materiales para cada sistema

En el siguiente cuadro se puede ver la lista de materiales para instalación de cada sistema individual.

Cuadro 3. Lista de materiales

Materiales Sistema 1 y 2		
Descripción	Unidad de Medida	Cantidad
Reservorio de agua de 1,000 L	c/u	1
Cinta de riego Aquatraxx 16 mm de diámetro	metros	90
Cinta de riego Irriline 16 mm de diámetro	metros	90
Cinta de riego Aquadrop 16 mm de diámetro	metros	90
Cinta de riego Azud 16 mm de diámetro	metros	90
Cinta de riego Eurodrip 16 mm de diámetro	metros	90
Tubo PVC una pulgada de diámetro	metros	25
Filtro de Anillos 120 mesh	c/u	1
Adaptador Hembra PVC una pulgada de diámetro	c/u	3
Válvula de paso 16 mm de diámetro	c/u	15
Codo PVC	c/u	3
Adaptador Macho PVC	c/u	1
Válvula	c/u	1
Conector manguera cinta 16 mm de diámetro	c/u	15
Tapón liso hembra PVC	c/u	1

Variable a medir

Se hizo un muestreo de la descarga de nueve goteros por lateral, tres veces por semana durante doce semanas, esto con el fin de poder determinar el CU. En los laterales que tenían goteros espaciados a 0.20 m se aforaron los que estaban en la posición 15, 25, 45, 65, 75, 95, 115, 125 y 145; en los laterales que tenían goteros espaciados a 0.30 m se aforaron los que estaban en la posición 15, 25, 33, 47, 57, 65, 81, 91 y 99; con el fin de muestrear el inicio, parte media y final de cada lateral. Para la medición se usó probeta con un cronómetro, durante cinco minutos, 45 goteros (9 goteros por cinta × 5 cintas). Durante la medición, se mantuvo constante el nivel de agua dentro del tanque para evitar variaciones en presión. Este procedimiento se repitió en cada cinta, y en todas las secciones de la tubería principal (tres secciones en total). La base de datos obtenida se usó para calcular los siguientes indicadores:

Caudal: el caudal se estimó por medio de la fórmula:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q = Caudal en L/hr

V = Volumen en L

T = Tiempo en hora

Coefficiente de uniformidad (CU): también conocido como el coeficiente de Christiansen; nos dice que tan uniforme se está comportando el caudal de los emisores con respecto a una media poblacional del caudal.

Este fue estimado por medio de la fórmula:

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

Donde:

CU = Coeficiente de uniformidad en porcentaje

X^i = datos individuales de los caudales de los goteros muestreados

\bar{X} = promedio de los goteros aforados

n= Numero de goteros aforados

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

Taponamiento: para cada cinta de riego, se calculó el promedio de los nueve goteros para cada uno de los tres laterales (tres promedios, uno por sección), y luego se volvió a calcular un promedio de éstos. Este procedimiento se repitió para cada día de muestreo. Se obtuvieron al final, 36 promedios por cinta de riego evaluada.

Se estimó un caudal nominal, es decir, el caudal medido para cada cinta, para cada una de las columnas de agua evaluadas, en las condiciones descritas a continuación: se usó cinta de riego nueva, agua filtrada, brindando las mismas condiciones de arreglo espacial y pendiente de terreno utilizadas en el estudio. Se elaboró una escala con cuatro tipos de taponamiento, tomando como referencia la variación con respecto al caudal nominal. En el cuadro 4 y 5 nos muestran los caudales nominales para la altura 1.25 y 2.00 mca respectivamente, el cuadro 6 nos muestra la escala de taponamiento.

Cuadro 4. Caudales nominales de las cinco cintas para la altura 1.25 mca

Marca	Caudal Nominal (L/hr)
Aquadrop	0.50
Aquatraxx	0.99
Azud	0.37
Eurodrip	0.37
Irriline	0.48

Cuadro 5. Caudales nominales de las cinco cintas para la altura 2.00 mca

Marca	Caudal Nominal (L/hr)
Aquadrop	0.73
Aquatraxx	1.10
Azud	0.52
Eurodrip	0.54
Irriline	0.73

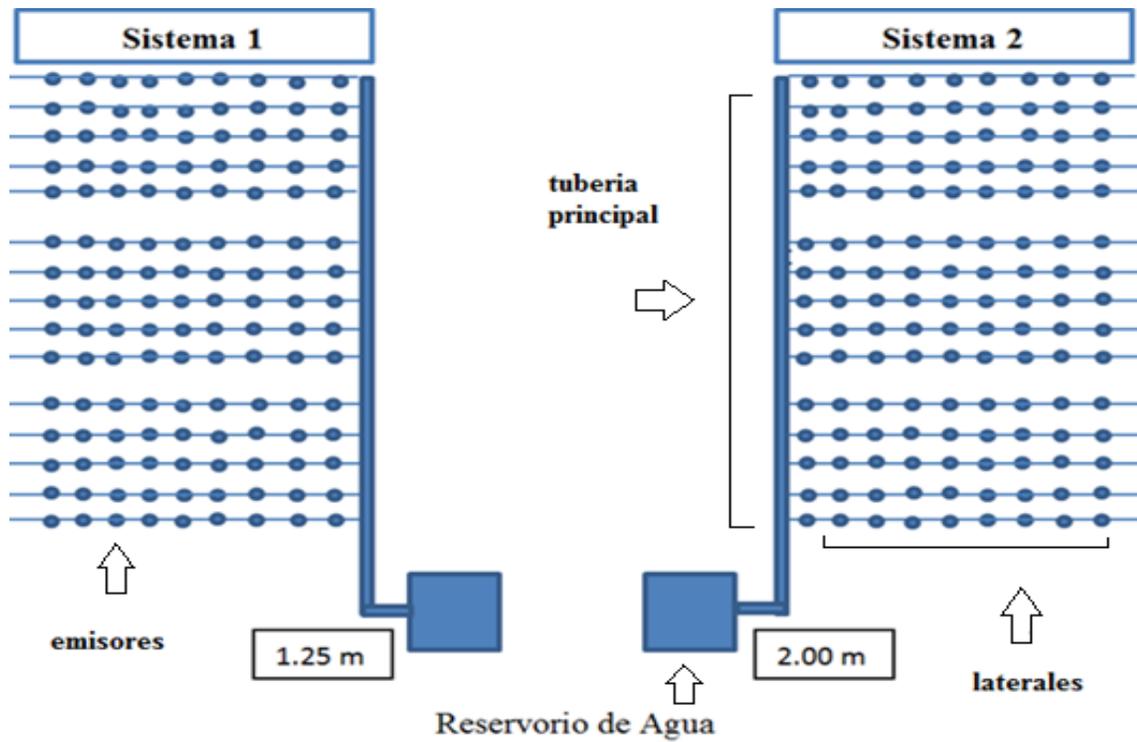
Cuadro 6. Niveles de taponamiento con respecto al caudal nominal

Nivel de Taponamiento	Variación (%)
1	< 10%
2	10% - 20%
3	20% - 30%
4	> 30%

Herramientas para la toma de datos

- Probeta
- Cronómetro
- Pequeños recipientes de plástico para aforar
- Libreta y lápiz
- Cinta adhesiva para diferenciar emisores para el aforo

Diagrama de la investigación



Modelo estadístico

El modelo estadístico que se utilizó para analizar los datos fue un diseño completo al azar (DCA) con un arreglo factorial de 2 (alturas) \times 5 (cintas).

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Coefficiente de uniformidad (CU)

Semana 1

No se encontró diferencia significativas ($P \geq 0.05$) entre los distintos tratamientos. Todos los tratamiento obtuvieron un CU arriba del valor recomendado según el estudio de Tarjuelo (1990), donde recomienda que el porcentaje de CU debe ser mayor a 88% (Cuadro 7).

Cuadro 7. Coeficiente de uniformidad por cinta y altura, para la semana 1.

Tratamiento	Media ^ΩCU %
IRR200	96 a
AQD200	95 a
AQT125	95 a
EUR125	95 a
AZD125	95 a
AQD125	94 a
IRR125	94 a
AQT200	93 a
AZD200	93 a
EUR200	93 a

Medias con igual letra en cada columna no difieren estadísticamente entre sí ($P \geq 0.05$)

^Ω CU: Coeficiente de uniformidad

Semana 2

Se encontró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre el tratamiento AZD125 con un 97% y los tratamientos AZD200 con un 90%, AQD125 con un 89%, IRR200 con un 88% y el tratamiento AQD200 con un 87 (Cuadro 8).

Todos los tratamientos se encuentran arriba del porcentaje recomendado según Tarjuelo en (1990), donde recomienda que el CU debe ser mayor a 88%.

Cuadro 8. Coeficiente de uniformidad por cinta y altura, para la semana 2.

Tratamiento	Media ^ΩCU %
AZD125	97 a
EUR125	96 ab
AQT125	95 abc
IRR125	95 abc
EUR200	95 abc
AQT200	94 abc
AZD200	90 bcd
AQD125	89 cde
IRR200	88 de
AQD200	87 e

Medias con diferente letra en cada columna difieren estadísticamente entre sí ($P \leq 0.05$)

^Ω CU: Coeficiente de uniformidad

Semana 3

Se encontró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre el tratamiento AZD125 con un 81% con los tratamientos EUR200 con un 96%, IRR125 con un 97%, EUR125 con un 96%, AQT125 con un 94% y AQT200 con un 93% (Cuadro 9).

Todos los tratamientos podrían estar arriba del porcentaje recomendado según Tarjuelo (1990), donde recomienda que el CU debe ser mayor a 88%.

Cuadro 9. Coeficiente de uniformidad por cinta y altura, para la semana 3.

Tratamiento	Media ^ΩCU %
EUR200	96 a
IRR125	97 a
EUR125	96 a
AQT125	94 a
AQT200	93 a
IRR200	90 ab
AQD200	89 ab
AZD200	89 ab
AQD125	88 ab
AZD125	81 b

Medias con diferente letra en cada columna difieren estadísticamente entre sí ($P \leq 0.05$)

^Ω CU: Coeficiente de uniformidad

Semana 4

Se encontró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre el tratamiento AZD125 con 72% con los tratamientos AZD200 con 94%, AQT125 con 93%, EUR125 con 91%, AQD200 con 90%, IRR125 con 89%, AQD125 con 88%, AQT200 con 87% e IRR200 con 86% (Cuadro 10).

Todos los tratamientos podrían estar arriba del porcentaje recomendado, Según el estudio de Tarjuelo (1990), donde recomienda que el porcentaje de CU debe ser mayor a 88% excepto AZD125 con 72%.

Cuadro 10. Coeficiente de uniformidad por cinta y altura, para la semana 4.

Tratamiento	Media
	^Ω CU %
AZD200	94 a
AQT125	93 a
EUR125	91 a
AQD200	90 a
IRR125	89 a
AQD125	88 a
AQT200	87 a
IRR200	86 a
EUR200	82 ab
AZD125	72 b

Medias con diferente letra en cada columna difieren estadísticamente entre sí ($P \leq 0.05$)

^Ω CU: Coeficiente de uniformidad

Semana 5

Se encontró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre el tratamiento AQD200 con 72% con los tratamientos EUR125 con 90% e IRR200 con 89% (Cuadro 11).

Todos los tratamientos podrían estar arriba del porcentaje recomendado en el estudio de Tarjuelo (1990), donde recomienda que el porcentaje de CU debe de ser mayor a 88%, excepto los Tratamientos AQT125 con 76% y AQD200 con 72% no están por encima de este porcentaje.

Cuadro 11. Coeficiente de uniformidad por cinta y altura, para la semana 5.

Tratamiento	Media ^ΩCU%
EUR125	90 a
IRR200	89 a
IRR125	87 ab
AQD125	87 ab
AZD125	86 ab
AZD200	83 abc
EUR200	82 abc
AQT200	82 abc
AQT125	76 bc
AQD200	72 c

Medias con diferente letra en cada columna difieren estadísticamente entre sí ($P \leq 0.05$)

^Ω CU: Coeficiente de uniformidad

Semana 6

Se encontró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre el tratamiento EUR200 con 88% con los tratamientos IRR125 con 72%, AQT125 con 68% y AQD200 con 58% (Cuadro 12).

Todos los tratamientos podrían estar por encima del porcentaje recomendado según Tarjuelo (1990) donde recomienda que el porcentaje de CU debe de ser mayor a 88%, excepto los tratamientos IRR125 con 72%, AQT125 con 68% y AQD200 con 58%.

Cuadro 12. Coeficiente de uniformidad por cinta y altura, para la semana 6.

Tratamiento	Media ^ΩCU %
EUR200	88 a
EUR125	85 ab
IRR200	83 ab
AZD125	82 ab
AQT200	79 abc
AZD200	78 abc
AQD125	74 abc
IRR125	72 bcd
AQT125	68 cd
AQD200	58 d

Medias con diferente letra en cada columna difieren estadísticamente entre sí ($P \leq 0.05$).

^Ω CU: Coeficiente de uniformidad

Semana 7

Se encontró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre el tratamiento AQT125 con 75% con los tratamientos IRR125 con 88%, IRR200 con 88%, AZD125 con 87%, AQD200 con 85% y EUR125 con 84% (Cuadro 13).

Todos los tratamientos podrían estar por encima del porcentaje recomendado según Tarjuelo (1990) donde recomienda que el porcentaje de CU debe de ser mayor a 88%, excepto el tratamiento AQT125 con 75%.

Cuadro 13. Coeficiente de uniformidad por cinta y altura, para la semana 7.

Tratamiento	Media
	^Ω CU %
IRR125	88 a
IRR200	88 a
AZD125	87 a
AQD200	85 a
EUR125	84 a
AZD200	83 ab
EUR200	80 ab
AQT200	79 ab
AQD125	79 ab
AQT125	75 b

Medias con diferente letra en cada columna difieren estadísticamente entre sí ($P \leq 0.05$)

^Ω CU: Coeficiente de uniformidad

Semana 8

Se encontró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre el tratamiento AZD200 con 78% con los tratamientos AQD200 con 61% y AQD125 con 61% (Cuadro 14).

Según estudio de Tarjuelo (1990) donde recomienda que el porcentaje de CU debe de ser mayor a 88%, ninguno de estos tratamientos está arriba de lo recomendado para la semana 8.

Cuadro 14. Coeficiente de uniformidad por cinta y altura, para la semana 8.

Tratamiento	Media ^ΩCU %
AZD200	78 a
AZD125	78 ab
IRR200	77 ab
AQT125	75 abcd
AQT200	74 abcd
IRR125	72 abcd
EUR125	69 abcd
EUR200	64 bcd
AQD200	61 cd
AQD125	61 d

Medias con diferente letra en cada columna difieren estadísticamente entre sí ($P \leq 0.05$)

^ΩCU: Coeficiente de uniformidad

Semana 9

Se encontró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre el tratamiento EUR200 con 85% y el tratamiento AQT125 con 71% (Cuadro 15).

Según el estudio de Tarjuelo (1990) donde recomienda que el porcentaje de CU debe de ser mayor a 88%, ninguno de estos porcentajes están arriba de lo recomendado para la semana 9.

Cuadro 15. Coeficiente de uniformidad por cinta y altura, para la semana 9.

Tratamiento	Media ^ΩCU %
EUR200	85 a
AZD125	82 ab
IRR200	78 ab
AQT200	78 ab
IRR125	77 ab
AZD200	77 ab
AQD125	77 ab
EUR125	75 ab
AQD200	73 ab
AQT125	71 b

Medias con diferente letra en cada columna difieren estadísticamente entre sí ($P \leq 0.05$)

^ΩCU: Coeficiente de uniformidad

Semana 10

Se encontró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre el tratamiento AZD125 con 86% con los tratamientos IRR200 con 74% y EUR200 con 73% (Cuadro 16).

Según el estudio de Tarjuelo (1990) donde recomienda que el porcentaje de CU debe de ser mayor a 88%, ninguno de estos porcentajes están dentro de lo recomendado para la semana 10.

Cuadro 16. Coeficiente de uniformidad por cinta y altura, para la semana 10.

Tratamiento	Media
	Ω CU %
AZD125	86 a
EUR125	78 abc
AZD200	78 abc
AQD125	77 abc
IRR125	77 abc
AQT200	76 abc
AQD200	76 abc
AQT125	76 abc
IRR200	74 bc
EUR200	73 c

Medias con diferente letra en cada columna difieren estadísticamente entre sí ($P \leq 0.05$)

Ω CU: Coeficiente de uniformidad

Semana 11

No se encontró diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre los distintos tratamientos (Cuadro 17).

Según el estudio de Tarjuelo (1990) donde recomienda que el porcentaje de CU debe de ser mayor a 88%, ninguno de estos porcentajes está por encima del recomendado para la semana 11.

Cuadro 17. Coeficiente de uniformidad por cinta y altura, para la semana 11.

Tratamiento	Media ^ΩCU%
IRR125	85 a
AQD125	85 a
AQD200	83 a
EUR200	80 a
AQT200	80 a
AZD125	80 a
EUR125	79 a
AQT125	79 a
AZD200	78 a
IRR200	78 a

Medias con igual letra en cada columna no difieren estadísticamente entre sí ($P \leq 0.05$).

^Ω CU: Coeficiente de uniformidad

Semana 12

No se encontró diferencia significativas ($P \geq 0.05$) entre los distintos tratamientos (Cuadro 18).

Según el estudio de Tarjuelo (1990) donde recomienda que el porcentaje de UD debe de ser mayor a 88% ninguno de estos tratamientos está por encima del recomendado.

Cuadro 18. Coeficiente de uniformidad por cinta y altura, para la semana 12.

Tratamiento	Media ^Ω(CU)%
IRR125	85 a
AQD200	83 a
AQT200	83 a
AQT125	80 a
IRR200	78 a
EUR125	78 a
AQD125	78 a
AZD200	78 a
EUR200	77 a
AZD125	76 a

Medias con igual letra en cada columna no difieren estadísticamente entre sí ($P \leq 0.05$)

^Ω CU: Coeficiente de uniformidad

Comportamiento de Taponamiento durante las 12 semanas

Gráficas de comportamiento de taponamiento para la altura 1.25 mca

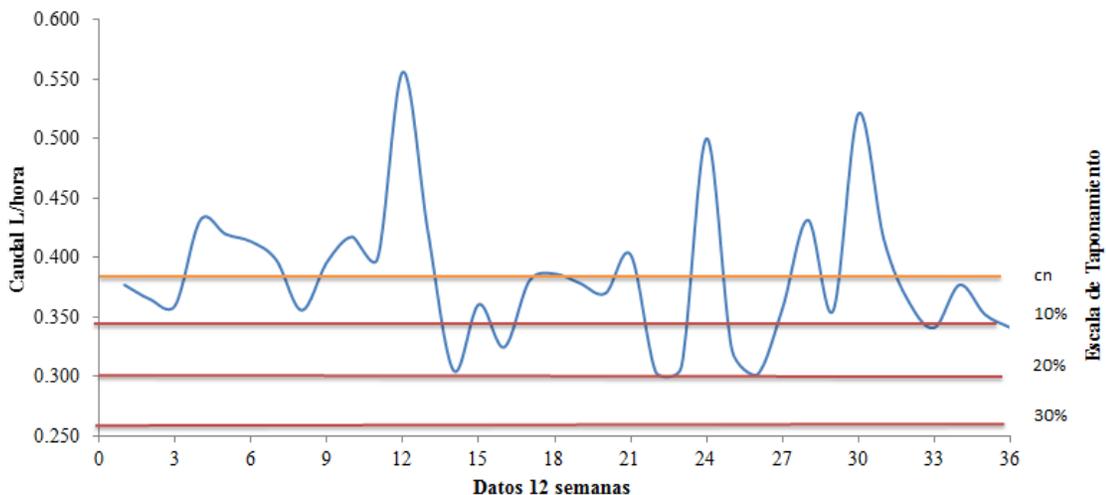


Figura 1. Taponamiento a lo largo del tiempo de la cinta Eurodrip para la altura 1.25 mca.
cn: caudal nominal.

Esta gráfica nos presenta la tendencia durante las 12 semanas de la investigación, entre el dato 1 y 14 sus caudales se mantuvieron en la zona de T1, osea que varió un máximo del 10% con respecto a su caudal nominal, los datos fueron inestables entre el 15 y 36 sus caudales se mantuvieron entre T1 y T2, sin embargo esta cinta no estuvo dentro de la zona T3 y T4.

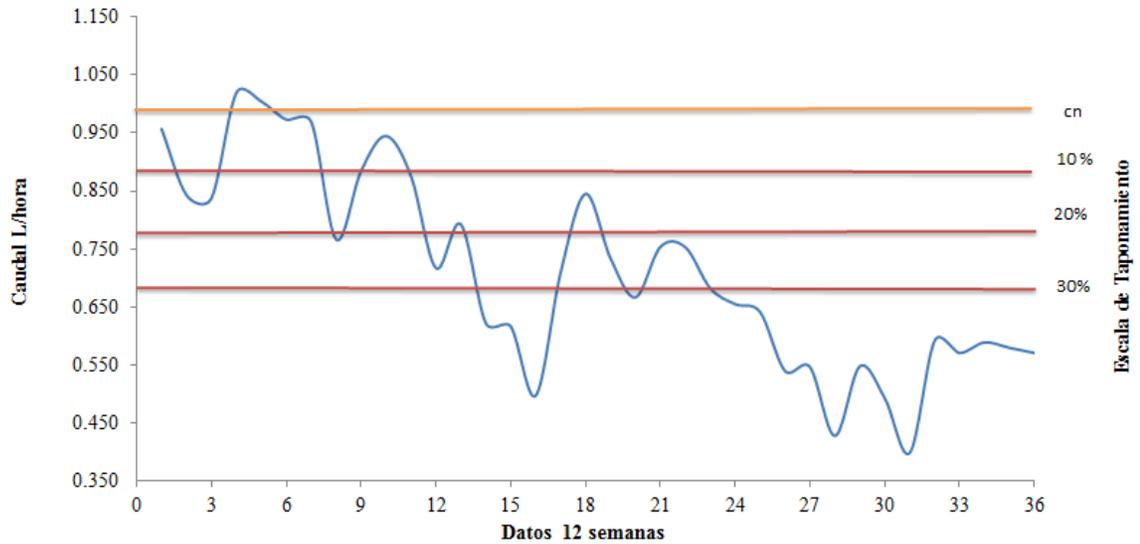


Figura 2. Taponamiento a lo largo del tiempo de la cinta Aquatraxx para la altura 1.25 mca.
 cn: caudal nominal.

Esta gráfica nos presenta la tendencia durante las 12 semanas de la investigación, donde todos sus valores de caudal durante las 12 semanas se mantuvieron inestables, podemos observar la tendencia que tiene la gráfica, esto nos indica que ha transcurrir el tiempo el porcentaje de taponamiento iba aumentando, entre los datos 15 y 36 sus caudales estuvieron en la zona T4, osea que su caudal varió un 30% o más con respecto al caudal nominal.

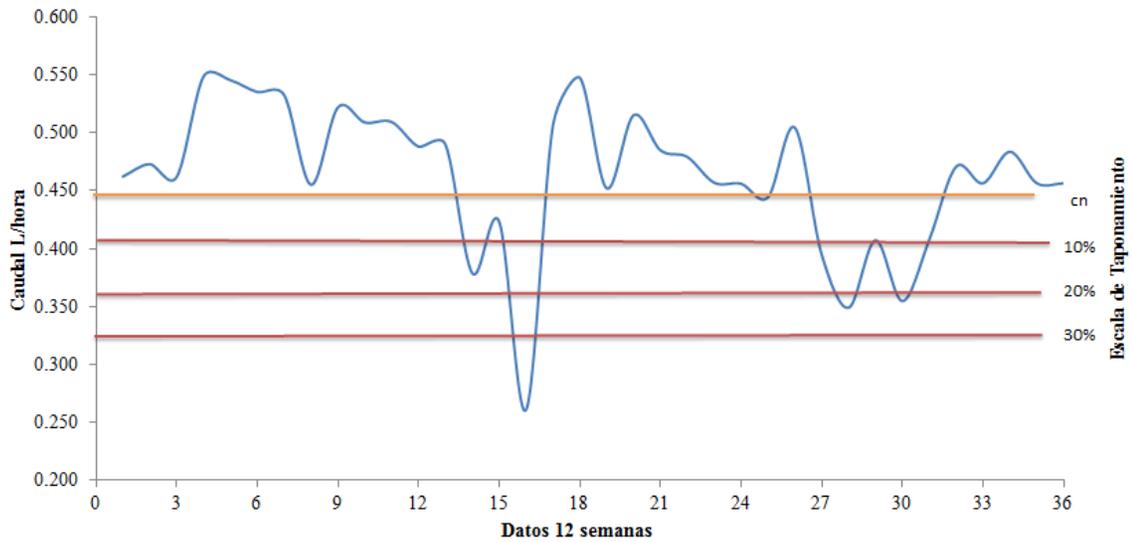


Figura 3. Taponamiento a lo largo del tiempo de la cinta Irriline para la altura 1.25 mca. cn: caudal nominal.

Esta gráfica nos presenta la tendencia durante las 12 semanas de la investigación, esta cinta mantuvo datos inestables, los caudales entre los datos 1 y 16 se mantuvieron estables, sin embargo entre los datos 16 y 17 sus caudales estuvieron dentro de la zona 4, entre los datos 17 y 36 el caudal se mantuvo estable entre la zona T1 y T2.

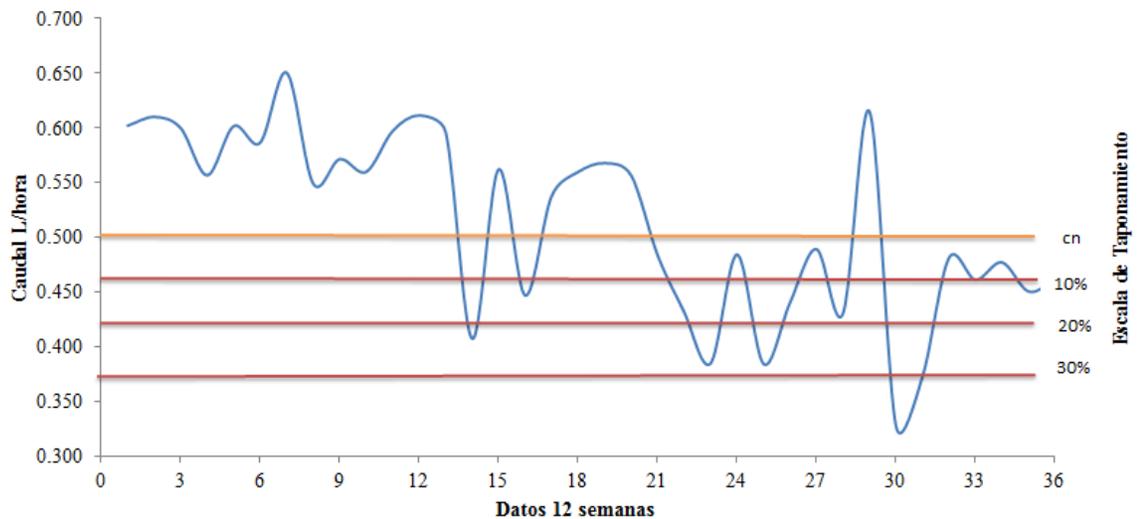


Figura 4. Taponamiento a lo largo del tiempo de la cinta Aquadrop para la altura 1.25 mca. cn: caudal nominal.

Esta gráfica nos presenta la tendencia durante las 12 semanas de la investigación, esta cinta mantuvo datos inestables, se ve que en los datos número 30 y 36 su caudal fue

disminuyendo estando en la zona T1, T2, T3 y T4 a diferencia de los caudales entre las tomas 1 y 21.

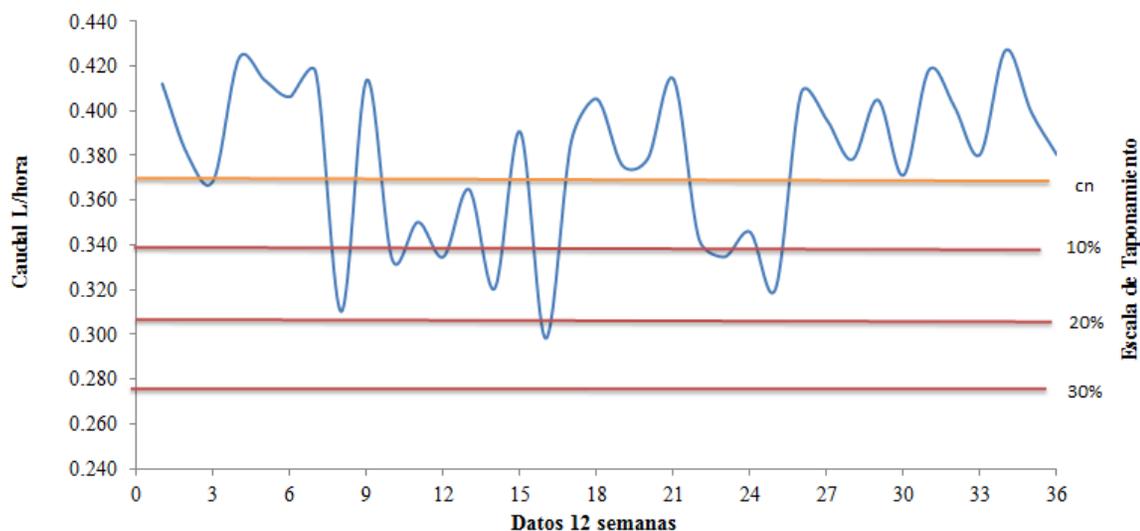


Figura 5. Taponamiento a lo largo del tiempo de la cinta Azud para la altura 1.25 mca. cn: caudal nominal,

Esta gráfica nos presenta la tendencia durante las 12 semanas de la investigación. La mayoría de datos se encuentran en el nivel de taponamiento 1, esto significa que su caudal solo ha variado en un 10% de diferencia con respecto a su caudal nominal a lo largo de las 12 semanas.

Para determinar cuál fue la mejor cinta con respecto al taponamiento para la altura 1.25 mca, se hizo un conteo de cuantos datos promedios estaban en las zonas T1, T2, T3 y T4 a lo largo de las 12 semanas, a cada uno de estos se les asignó un valor siendo 1 para T1, 0.75 para T2, 0.50 para T3 y 0.25 para T4.

En el cuadro 19 podemos ver un resumen de la sumatoria según el nivel de taponamiento de cada cinta.

Cuadro 19. Sumatoria del nivel de taponamiento para cada una de las cintas para la altura 1.25 mca.

Cinta de riego	Nivel de taponamiento			
	T1	T2	T3	T4
Eurodrip	33	25	27	23
Aquatraxx	40	14	8	46
Irriline	34	22	7	45
Aquadrop	28	17	19	44
Azud	41	25	22	20

En el cuadro 20 podemos ver la ponderación de los datos según el nivel de taponamiento de cada una de las cintas.

Cuadro 20. Ponderación de datos según el nivel de taponamiento.

Cintas de riego	Ponderación de datos			
	1	0.75	0.5	0.25
Eurodrip	33.0	18.8	13.5	5.8
Aquatraxx	40.0	10.5	4.0	11.5
Irriline	34.0	16.5	3.5	11.3
Aquadrop	28.0	12.8	9.5	11.0
Azud	41.0	18.8	11.0	5.0

Graficas de comportamiento de taponamiento para la altura 2.00 mca

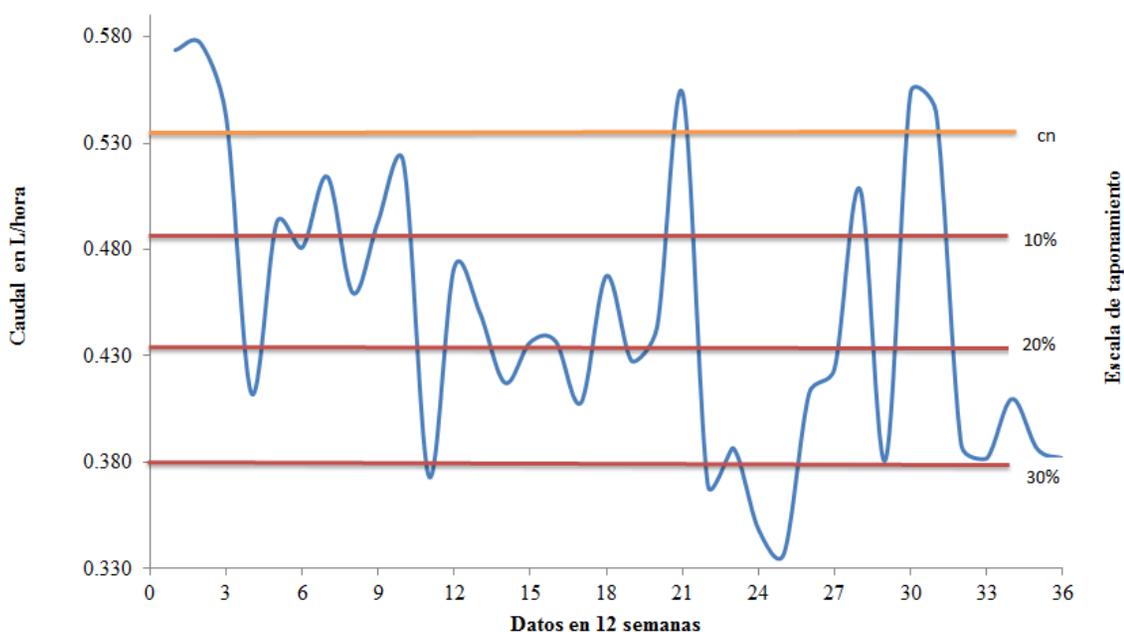


Figura 6. Taponamiento a lo largo del tiempo de la cinta Eurodrip para la altura 2.00 mca.

cn: caudal nominal.

Esta gráfica nos presenta la tendencia de taponamiento durante las 12 semanas de la investigación, esta cinta mantuvo datos inestables. La mayoría de datos se encuentran en T1, T2 y T3, esto significa que su caudal ha variado en un 10%, 20% y 30% de diferencia con respecto a su caudal nominal

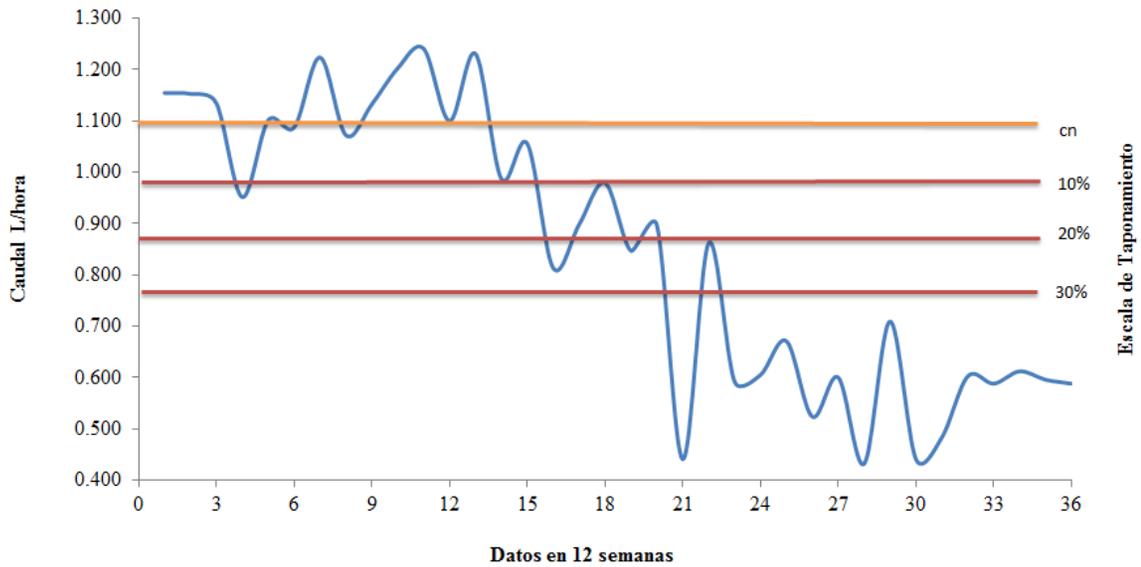


Figura 7. Taponamiento a lo largo del tiempo de la cinta Aquatraxx para la altura 2.00 mca.
cn: caudal nominal.

Esta gráfica nos presenta la tendencia de taponamiento durante las 12 semanas de la investigación, esta cinta mantuvo datos inestables. La mayoría de datos se encuentran en la zona T2, T3 y hasta T4 siendo este la peor zona, esto significa que su caudal ha variado en un 20% y 30% de diferencia con respecto a su caudal nominal, es decir que nuestros emisores solo están trabajando a un 70% y 80% de su trabajo original.

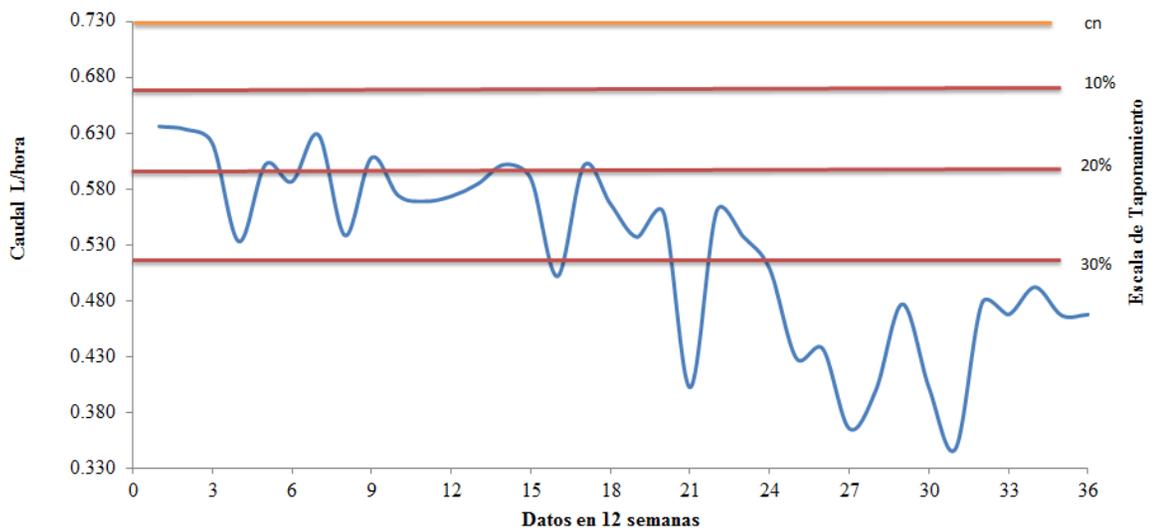


Figura 8. Taponamiento a lo largo del tiempo de la cinta Irriline para la altura 2.00 mca.
cn: caudal nominal.

Esta gráfica nos presenta la tendencia de taponamiento durante las 12 semanas de la investigación, esta cinta mantuvo datos inestables. La mayoría de datos se encuentran en la zona T2, T3 y hasta T4 siendo esta la peor zona, esto significa que su caudal varió en un 20% y 30% de diferencia con respecto a su caudal nominal, osea que nuestros emisores solo estaban trabajando a un 70% y 80% de su trabajo original, desde la primera toma esta cinta empezó a trabajar con su 80% de trabajo y así fue disminuyendo su caudal a lo largo de las 12 semanas o 36 tomas de datos.

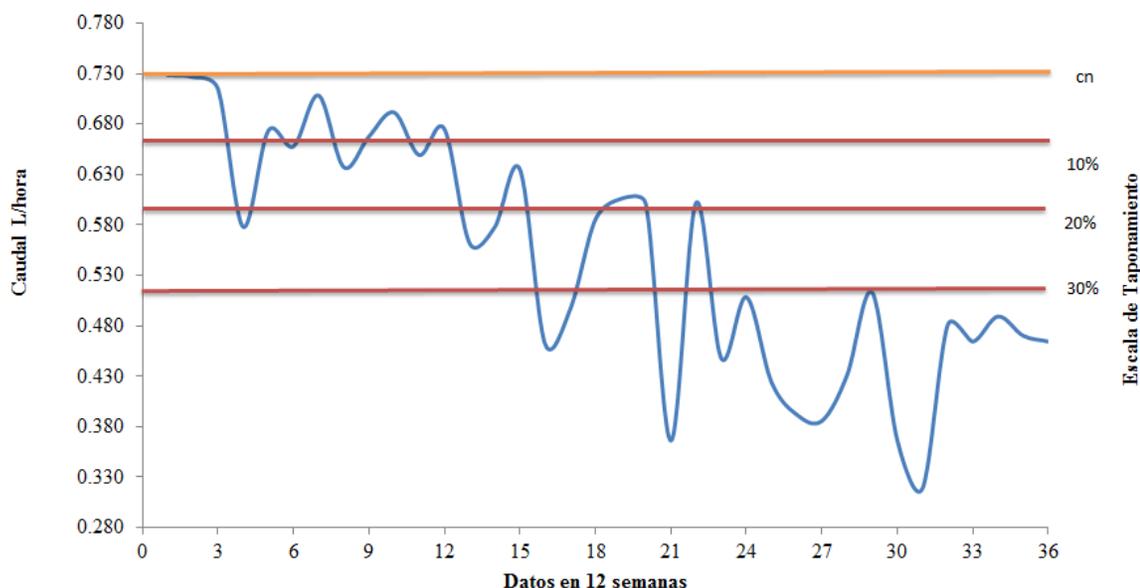


Figura 9. Taponamiento a lo largo del tiempo de la cinta Aquadrop para la altura 2.00 mca.
cn: caudal nominal.

Esta gráfica nos presenta la tendencia de taponamiento durante las 12 semanas de la investigación, esta cinta mantuvo datos estables. La mayoría de datos se encuentran en la zona T2, T3 y hasta T4 siendo esta la peor zona, esto significa que su caudal varió en un 20% y 30% de diferencia con respecto a su caudal nominal, osea que nuestros emisores solo estaban trabajando a un 70% y 80% de su trabajo original, el taponamiento es debido a las horas de trabajo que cada cinta tiene.

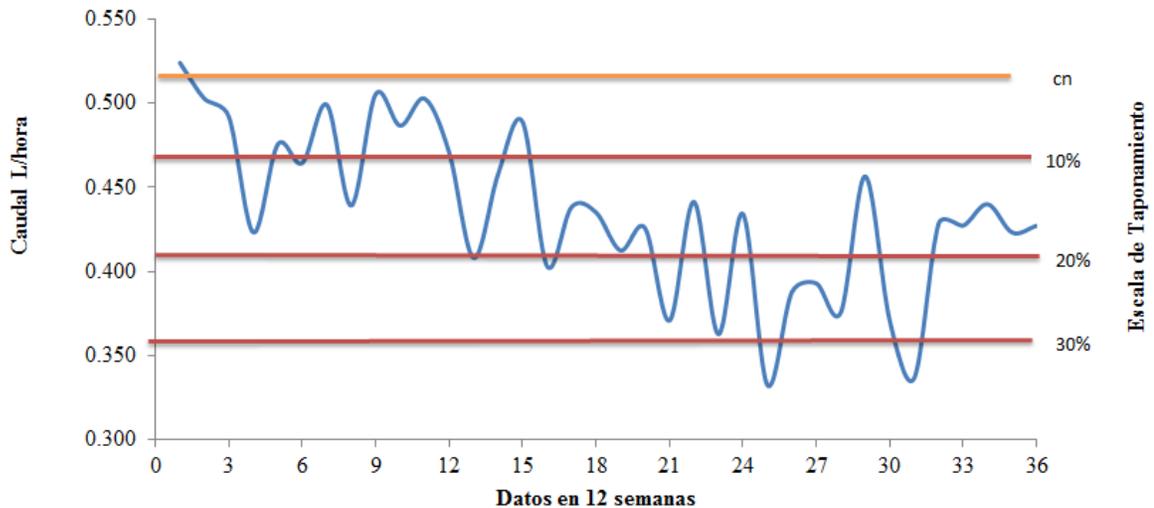


Figura10. Taponamiento a lo largo del tiempo de la cinta Azud para la altura 2.00 mca. cn: caudal nominal.

Esta gráfica nos presenta la tendencia de taponamiento durante las 12 semanas de la investigación, esta cinta mantuvo datos estables. La mayoría de datos se encuentran en T2, T3 y hasta T4 siendo este la peor zona, esto significa que su caudal varió un 20% y 30% de diferencia con respecto a su caudal nominal, osea que nuestros emisores solo están trabajando a un 70% y 80% de su trabajo original, sin embargo fue la cinta que tuvo menos datos en la zona T4.

Para determinar cuál fue la mejor cinta con respecto al taponamiento para la altura 2.00 mca, se hizo un conteo de cuantos datos promedios estaban en las zonas T1, T2, T3 y T4 a lo largo de las 12 semanas, a cada uno de estos se les asigno un valor siendo 1 para T1, 0.75 para T2, 0.50 para T3 y 0.25 para T4.

En el cuadro 21 podemos ver un resumen de la sumatoria según el nivel de taponamiento de cada cinta.

Cuadro 21. Sumatoria del nivel de taponamiento para cada una de las cintas para la altura 2.00 mca.

Cinta de riego	Nivel de taponamiento			
	T1	T2	T3	T4
Eurodrip	84.0	12.0	8.0	4.0
Aquatraxx	25.0	13.0	18.0	51.0
Irriline	65.0	30.0	7.0	6.0
Aquadrop	76.0	21.0	6.0	5.0
Azud	89.0	8.0	7.0	4.0

En el cuadro 22 podemos ver la ponderación de los datos según el nivel de taponamiento de cada una de las cintas.

Cuadro 22. Resultados de taponamiento 2.00 mca durante las 12 semanas.

Cinta de riego	Ponderación de datos			
	1	0.75	0.5	0.25
Eurodrip	84.0	9.0	4.0	4.0
Aquatraxx	25.0	9.8	9.0	51.0
Irriline	65.0	22.5	3.5	6.0
Aquadrop	76.0	15.8	3.0	5.0
Azud	89.0	6.0	3.5	4.0

3. CONCLUSIONES

- Tomando como referencia la semana 12 para la variable CU no hubo diferencia significativa entre los tratamientos ($p \leq 0.05$).
- La cinta de la marca Azud, fue la mejor cinta para la altura 1.25 mca y las cintas Azud y Eurodrip fueron las mejores cintas para la altura 2.00 mca, ya que estas no presentaron diferencias.
- Utilizando cintas de alta tecnología con respecto a cintas con goteros microtubulos en sistemas de baja presión sí aumenta el coeficiente de uniformidad en un 40%.

4. RECOMENDACIONES

- En relación a instalación, se recomienda que la tubería principal y los laterales del sistema no tenga quiebres ni fugas, ya que esto influye en la presión de trabajo y flujo de agua dentro de la tubería.
- Se recomienda la limpieza de los filtros, cada vez que se vaya a utilizar el sistema.
- En cuanto a calidad de agua, se recomienda hacer un método de decantación en la fuente de agua para que entre al sistema con menos solidos suspendidos, así poder reducir el nivel de taponamiento del sistema.
- Para futuras investigaciones, instalar dos sistemas de baja presión, uno utilizando cintas de baja presión, el otro utilizando cintas de alta presión y evaluar el rendimiento de un cultivo en ambos casos.
- Realizar el mismo estudio con una tubería principal en condiciones de pendientes mayores al 2%.
- Se recomienda hacer un mantenimiento después de cada ciclo del cultivo, utilizando 3 ppm de cloro para el control de algas.
- Para futuras investigaciones hacer un análisis estadístico para la variable taponamiento.

5. LITERATURA CITADA

Amanco, 2013. Ficha técnica aqua-tape, Panamá.

Amanco, 2013. Ficha técnica aqua-traxx, Panamá.

Cantoro, E. 2005. Riego por goteo utilizado con bajas presiones. Manejo agronómico. 12p.

Low-Pressure Drip Irrigation for Small Plots and Urban Landscapes (Daniel Smeal, Kevin Lombard, Margaret West, Michael O'Neill, and Richard N. Arnold 2011).

Moya Talens, J. A. 2009. Riego localizado y fertirrigacion.

Perez Chueca, A. 2012. Ventajas y limitaciones del riego por goteo (en línea) consultado el 15 de noviembre de 2013. Disponible en <http://www.diariodelcampo.com/detallepost.asp?id=572&idcat=6>.

Williams Chavarria, G.M. 2011. Evaluación de la uniformidad de un sistema de riego por goteo de baja presión. Tesis Ingeniero Agrónomo. Escuela Agrícola Panamericana Tegucigalpa, Honduras. 24 p.

Tarjuelo J.M. 1990. El riego por aspersión y su tecnología. 2ed. 569 p.

Vargas A. 2008. Evaluación de la uniformidad de distribución del agua de seis cintas de goteo en condiciones de El Zamorano. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Escuela Agrícola Panamericana Tegucigalpa, Honduras. 22 p.

FAO. 2000. Departamento de Agricultura y Protección del Consumidor. Uso de agua en la agricultura mundial (en línea). Consultado el 27 de septiembre del 2014. Disponible en: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/indexesp.stm

6. ANEXOS

Anexo 1. Área de trabajo CEPiRS Zamorano, toma de datos.



Anexo2. Cada una de las diferentes cintas que se evaluaron Eurodrip, Aquatraxx, Irriline, Aquadrop y Azud respectivamente.



Anexos 3. Dos alturas a las que fueron evaluadas nuestras cintas 1.25 metros columna de agua y 2.00 metros columna de agua.

