



UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO

POSGRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL
AGUA

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN
SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO SUBSUPERFICIAL

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

Presenta:

Juan Manuel Jiménez Torres

Bajo la supervisión de:

Dr. Vicente Ángeles Montiel

Chapingo, Estado de México, Enero de 2018



EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO SUBSUPERFICIAL

Tesis realizada por **Juan Manuel Jiménez Torres** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

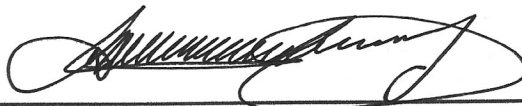
MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

DIRECTOR:



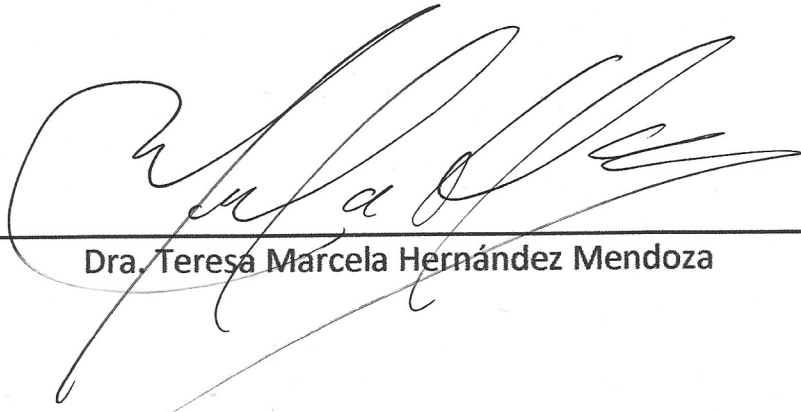
Dr. Vicente Ángeles Montiel

ASESOR:



Dr. David Cristóbal Acevedo

ASESOR:



Dra. Teresa Marcela Hernández Mendoza

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico que fue indispensable para llevar a cabo las actividades académicas durante mi estancia en el posgrado.

A la Universidad Autónoma Chapingo por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría.

Al programa de Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua por permitirme ser parte de su proyecto académico.

Al Dr. Vicente Ángeles Montiel, por sus indicaciones y haber dirigido este trabajo de investigación.

Al Dr. David Cristóbal Acevedo por su valiosa colaboración, en el proceso de desarrollo de este trabajo de investigación.

A la Dra. Teresa Marcela Hernández Mendoza por su valiosa colaboración, en el proceso de desarrollo de este trabajo de investigación.

Al Ing Francisco López Monrreal, representante de la empresa NaanDanJain, quien participo de manera activa para la realización del proyecto, así como la donación de material.

A la Ing Cristina Domínguez, representante de la empresa Irritec, quien participo de manera activa para la realización del proyecto y sus buenos consejos, así como la donación de material.

Hago un apartado especial para mencionar aquellos amigos que contribuyeron de manera directa en la realización del trabajo: Emma, Benito, Don Villa y Orbelin.

Así como a todos aquellos amigos que este posgrado me trajo: Eduardo, Ricardo, Ángel, Homero, José Luis, Alejandro, Marín, Ruy, Josué, Toño, Gerardo, Dani, Iván, Xavy.

A todo el personal administrativo y operativo que contribuyó de alguna forma con este logro, en especial y merece ser nombrada Mayra Luna, por todo ese apoyo a lo largo de estos 2.5 años.

DEDICATORIA

A mi familia

DATOS BIOGRÁFICOS DEL AUTOR



Mi nombre es Juan Manuel Jiménez Torres, originario del estado de Durango, nacido el 26 de febrero de 1983 en el municipio de Canatlán, iniciando en el año 2001 mis estudios profesionales en el curso propedéutico impartido por la UACH en la unidad regional URUZA, donde nació mi interés por estudio de la irrigación, departamento al cual me uno un año después, obteniendo finalmente el título de Ingeniero en Irrigación en el año del 2006.

Una vez egresado regreso a la tierra donde me había cobijado los últimos años a Ensenada, BC. Donde se me da la oportunidad de iniciar mi desempeño profesional como proyectista y supervisor de obras de conservación de suelo y agua en Gobierno del Estado, posteriormente y gracias a las relaciones obtenidas durante mi estancia en ese trabajo me invitan a trabajar a Agros Diseño y Construcción SRL de CV, como jefe del área de proyectos de riego, donde me toco realizar proyectos e instalaciones de los diferentes tipos de riegos que se manejan en el país región, donde predomina principalmente el goteo y micro aspersión, dos años después me invitan a ser socio minoritario lo cual fue un gran avance en mi carrera en el año 2015 se me da la oportunidad de seguir permaneciendo en la empresa y además superarme y es donde me nace la inquietud de hacer mis estudios de posgrado para cual regreso a mi Alma Mater, y me integro a este programa del cual hoy egreso, con orientación en uso integral del agua.

RESUMEN

Actualmente el SDI es más utilizado, ya que es considerado el método de riego más avanzado. La expansión se ha visto limitada por factores como taponamiento de los emisores. Es difícil conocer el factor exacto que causa el taponamiento; sin embargo, ya sea parcial o completo, en ambos casos reducen la uniformidad de la aplicación de agua lo que tiene un efecto sobre el rendimiento de los cultivos aumentado los costos financieros y ambientales, además dicha obstrucción influye de manera diferente según el tipo de emisor utilizado. Derivado de lo anterior es importante el monitoreo en campo de la obstrucción de los emisores; por lo que el objetivo de la investigación fue la evaluación del comportamiento hidráulico de un sistema de riego por goteo subsuperficial, con cuatro emisores diferentes: deluxe, turbo slim, P1 e IsiplastTape, colocados a 20 y 35 cm de profundidad. El diseño experimental fue en bloques al azar, cada bloque consta de 5 laterales de 83 m de longitud del mismo tipo de cinta, con separación de 80 cm, teniéndose así 4 repeticiones de cada tratamiento, los cuales fueron: TD(20), TD(35), TTS(20), TTS(35), TP1(20), TP1(35), TIS(20) y TIS(35). La evaluación se llevó a cabo por la metodología tradicional basada en los coeficientes de uniformidad y la propuesta por la ASAE EP458. Después de 760 horas de operación se obtuvo que: el taponamiento encontrado se distribuye de manera aleatoria en la lateral de riego, la profundidad de colocación del emisor influye sobre el rendimiento del mismo teniéndose mejor rendimiento a 35 cm además dichos resultados fueron diferentes según el tipo de emisor; el mejor tratamiento fue TD(35) correspondiente al emisor deluxe; para el caso de los tratamientos TIS(20) y TIS(35) al final de la evaluación se encontraron porcentajes de taponamiento de 38.69% y 26.92 % respectivamente.

Palabras claves: taponamiento de emisores, riego por goteo subsuperficial, coeficiente de uniformidad, evaluación de emisores

ABSTRACT

Currently the SDI is more used, since it is considered the most advanced irrigation method. The expansion has been limited by factors such as clogging of the emitters. It is difficult to know the exact factor that causes the clogging of the emitters; however, whether partial or complete, in both cases they reduce the uniformity of the application of water, which has an effect on crop yield, increasing financial and environmental costs, in addition, this obstruction influences differently depending on the type of emitter used. Derived from the above, it is important to monitor in the field the obstruction of the emitters; so the objective of the investigation was the evaluation of the hydraulic behavior of a subsurface drip irrigation system, with four different emitters: deluxe, turbo slim, P1 and IsiplastTape, placed at 20 and 35 cm depth. The experimental design was in random blocks, each block consists of 5 lateral of 83 m length of the same type of tape, with 80 cm separation, thus having 4 repetitions of each treatment, which were: TD(20), TD(35), TTS(20), TTS(35), TP1(20), TP1(35), TIS(20) and TIS(35). The evaluation was carried out by the traditional methodology based on uniformity coefficients and the proposal by the ASAE EP458. After 760 hours of operation it was obtained: the depth of placement of the emitter influences the performance of the same having better performance at 35 cm, in addition these results were different depending on the type of emitter; the best treatment was TD(35) corresponding to the deluxe emitter; for the case of the treatments TIS(20) and TIS(35) at the end of the evaluation were found percentages of clogging of 38.69% and 26.92% respectively.

Keywords: Clogging of emitters, Subsurface drip irrigation, Uniformity coefficient, Emitters evaluation

CONTENIDO

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
INDICE DE FIGURAS	3
INDICE DE CUADROS	4
INTRODUCCION.	5
1.1 Panorama general del agua a nivel mundial y en México.	5
1.2 Objetivos.	7
1.2.1 Objetivo General.	7
1.2.2 Objetivos Específicos.	7
2 REVISIÓN DE LITERATURA.	7
2.1 Definición de riego por goteo subsuperficial.	7
2.2 Ventajas y Desventajas.	8
2.2.1 Ventajas y Desventajas relacionadas con el agua y suelo.	9
2.2.2 Ventajas y Desventajas relacionadas con cultivos y prácticas culturales.	10
2.2.3 Ventajas y Desventajas relacionadas con la infraestructura del sistema.	12
2.3 Componentes del Sistema.	14
2.4 Emisores en SDI.	15
2.5 Cintas de Riego.	15
2.6 Taponamiento.	17
2.6.1 Causas del taponamiento.	18
2.6.2 Influencia de bacterias y algas.	19
2.6.3 Precipitación química (calidad de agua y fertirriego).	20
2.6.4 Prevención del taponamiento.	20
2.6.5 Diseño de la estructura del emisor.	23
2.6.6 Grado de obturación.	25
2.7 Evaluación del rendimiento del emisor en SDI.	27
2.7.1 Metodología Tradicional	28
2.7.2 Metodología ASAE EP458 (2003).	35
2.8 Cálculo de Pérdidas de Carga	39
2.8.1 Perdidas de carga continuas.	40

3	MATERIALES Y MÉTODOS.	43
3.1	Preparación del Terreno.	44
3.2	Sistema de Riego.	44
3.2.1	Características generales del emisor Deluxe.	46
3.2.2	Características generales del emisor Turbo Slim.	47
3.2.3	Características del emisor IsiplastTape.	48
3.2.4	Características del emisor P1.	49
3.3	Método de siembra y variedad de cultivo.	49
3.4	Riegos.	50
3.5	Lavado de laterales.	51
3.6	Diseño del experimento y toma de datos.	51
4	RESULTADOS Y DISCUSION.	53
4.1	Ecuaciones de Q-H para cada emisor utilizado.	53
4.2	Evaluación del emisor Deluxe.	54
4.3	Evaluación del emisor Turbo Slim.	64
4.4	Evaluación del emisor P1.	72
4.5	Evaluación del emisor IsiplastTape.	80
4.6	Comparación entre emisores y tratamientos.	84
4.7	Trabajos Relacionados.	86
5	CONCLUSIONES.	87
	BIBLIOGRAFIA.	89

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Usos consuntivos del agua en México, (CONAGUA, 2016).....	6
Figura 2. Trazo típico de un SDI.....	15
Figura 3. Esquema general de cinta de riego tipo T-tape	16
Figura 4. Enterrado de cintilla.....	46
Figura 5. Cinta de goteo Deluxe (Naandanjain), con diseño de laberinto y flujo turbulento	46
Figura 6. Cinta de goteo Turbo Slim (Naandanjain), con diseño de laberinto y flujo turbulento	47
Figura 7. Cinta de goteo IsiplastTape (Irritec), con diseño de laberinto y flujo turbulento ..	48
Figura 8. Sistema Flap de cinta P1 de irritec	49
Figura 9. Cinta de goteo P1 (Irritec), con diseño de laberinto y flujo turbulento	49
Figura 10. Siembra al voleo con esparcidora manual Kioritz	50
Figura 11. Diseño del experimento y puntos muestreados	52
Figura 12. Goteros a evaluar en laboratorio	52
Figura 13. Modelos Q-H, para cada uno de los emisores utilizados	54
Figura 14. Comparación de las líneas de tendencia de las gráficas Q-H, para emisor en estado nuevo Q(N), para emisor a 20 cm de profundidad Q (20 cm), y para emisor a 35 cm de profundidad Q (35 cm) para el emisor Deluxe.	58
Figura 15. Gastos de las diferentes muestras (medias y desviación estándar), emisor Deluxe TD(20).....	59
Figura 16. Gastos de las diferentes muestras (medias y desviación estándar), emisor Deluxe TD(35).....	62
Figura 17. Comparativa de Gastos y desviación estándar de emisor Deluxe TD(20) y TD(35).....	63
Figura 18. Comparación de las líneas de tendencia de las gráficas Q-H, para emisor en estado nuevo Q(N), para emisor a 20 cm de profundidad Q (20 cm), y para emisor a 35 cm de profundidad Q (35 cm) para el emisor Turbo Slim.	66
Figura 19. Gastos de las diferentes muestras (medias y desviación estándar), emisor Turbo Slim TTS(20).	68
Figura 20. Gastos de las diferentes muestras (medias y desviación estándar), emisor Turbo Slim TTS(35).	70
Figura 21. Comparativa de Gastos y desviación estándar de emisor Turbo Slim TTS(20) y TTS(35).....	71
Figura 22. Gastos de las diferentes muestras (medias y desviación estándar), emisor P1 TP1(20).	76
Figura 23. Gastos de las diferentes muestras (medias y desviación estándar), emisor P1 TP1(35).	78
Figura 24. Comparativa de Gastos y desviación estándar de emisor P1 TP1(20) y TP1(35).	79
Figura 25. Comparación de las líneas de tendencia de las gráficas Q-H, para emisor en estado nuevo Q(N), para emisor a 20 cm de profundidad Q (20 cm), y para emisor a 35 cm de profundidad Q (35 cm) para el emisor P1.	80
Figura 26. Comparación de las líneas de tendencia de las gráficas Q-H, para emisor en estado nuevo Q(N), para emisor a 20 cm de profundidad Q (20 cm), y para emisor a 35 cm de profundidad Q (35 cm) para el emisor IsiplastTape.	84

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Régimen de los emisores, Keller y Karmeli (1974).....	29
Cuadro 2. Tolerancia a las variaciones de presión, emisores no autocompensantes	29
Cuadro 3. Tolerancia a las variaciones de presión, emisores autocompensantes	30
Cuadro 4. Coeficientes de descarga de emisores Pizarro (1996).....	30
Cuadro 5. Clasificación del Cu25 por Merriam y Keller (1978).	33
Cuadro 6. Clasificación del Cu25 por Capra y Scicolone (1998).	33
Cuadro 7. Valores permisibles del Cvf, ASAE EP405.1 (2003).....	34
Cuadro 8. Valores permisibles de qvar	35
Cuadro 9. Valores permisibles de Uniformidad Global Bralts (1986).	36
Cuadro 10. Valores permisibles de Uniformidad Capra y Scicolone (1998).....	36
Cuadro 11. Valores permisibles de Vhs ASAE EP458 (2003)	37
Cuadro 12. Valores permisibles de Vpf, ASAE EP458 (2003)	39
Cuadro 13. Valores permisibles de Vpf, Capra y Scicolone (1998).....	39
Cuadro 14. Propiedades Físicas del Suelo.....	44
Cuadro 15. Características de los Emisores Utilizados	45
Cuadro 16. Ecuaciones de gasto para cada emisor	53
Cuadro 17. Evaluación del Emisor Deluxe TD(N).....	55
Cuadro 18. Evaluación del Emisor Deluxe TD(20)	55
Cuadro 19. Evaluación del Emisor Deluxe TD(35)	56
Cuadro 20. Gastos medidos para cada una de las repeticiones en TD(20), a 0.7 bar	60
Cuadro 21. Gastos medidos para cada una de las repeticiones en TD(35), a 0.7 bar	61
Cuadro 22. Evaluación del emisor Turbo Slim TTS(N)	64
Cuadro 23. Evaluación del emisor Turbo Slim TTS(20).....	64
Cuadro 24. Evaluación del emisor Turbo Slim TTS(35).....	65
Cuadro 25. Gastos medidos para cada una de las repeticiones en TTS(20), a 0.7 bar	67
Cuadro 26. Gastos medidos para cada una de las repeticiones en TTS(35), a 0.7 bar	69
Cuadro 27. Evaluación del Emisor P1 TP1(N).....	72
Cuadro 28. Evaluación del emisor P1 TP1(20).....	73
Cuadro 29. Evaluación del emisor P1 TP1(35).....	73
Cuadro 30. Gastos medidos para cada una de las repeticiones en TP1(20), a 0.7 bar	74
Cuadro 31. Gastos medidos para cada una de las repeticiones en TP1(35), a 0.7 bar	77
Cuadro 32. Evaluación del emisor IsiplastTape TIS(N)	80
Cuadro 33. Evaluación del emisor IsiplastTape TIS(20)	81
Cuadro 34. Evaluación del emisor IsiplastTape TIS(35)	81
Cuadro 35. Gastos medidos para cada una de las repeticiones en TIS(20), a 0.7 bar	82
Cuadro 36. Gastos medidos para cada una de las repeticiones en TIS(35), a 0.7 bar	83
Cuadro 37. Comparación de los emisores según la metodología tradicional	85
Cuadro 38. Comparación de los emisores según la metodología de la ASAE EP458	85

INTRODUCCION.

1.1 Panorama general del agua a nivel mundial y en México.

El aumento de la población y la elevación de los ingresos, en una buena parte del mundo en desarrollo, han impulsado la demanda de alimentos y de otros productos agrícolas hasta niveles sin precedentes. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha calculado que, para poder satisfacer la demanda de alimentos en 2050, la producción agrícola y ganadera mundial anual debería ser un 60 % mayor que en 2006, sin embargo, la generalizada degradación de la tierra y el aumento de la escasez de agua limitan las posibilidades de incrementar el rendimiento (FAO, 2016). Lo cual implica que en esta fecha se habrán de producir al año otros 1000 millones de toneladas de cereales y 200 millones de toneladas adicionales de productos pecuarios (FAO, 2011), todo esto nos conduce a problemas estructurales más profundos en base a los recursos naturales, donde la escasez de agua es cada vez mayor además del aumento de la salinización y contaminación de los cursos y masas de agua, así como la degradación de los ecosistemas relacionados con el agua (FAO, 2011). Actualmente la agricultura utiliza el 11 % de la superficie del mundo, pero a su vez hace uso del 70 % del agua total extraída de acuíferos, lagos y ríos, se estipula que esos incrementos en la producción de cultivos provengan de la intensificación de la producción en las tierras agrícolas ya existentes, lo cual implicara la adopción generalizada de prácticas sostenibles de ordenación de tierras y una utilización más eficiente del agua de riego (FAO, 2011).

Gran parte del territorio de México está clasificado como zona desértica, por lo que el agua juega un papel estratégico para el desarrollo del país. En promedio se reciben 1,489 mil millones de m³ al año en forma de precipitación, que teniendo en cuenta la evaporación, escurrimientos, así como exportaciones e importaciones con países vecinos quedan finalmente 471.5 mil millones de m³ de agua dulce disponibles por año. Aunado a esto si tomamos el ritmo acelerado del crecimiento

de la población año con año la disponibilidad per cápita se va reduciendo, lo que nos orilla a tomar medidas para reducir dicha demanda mediante la implementación de sistemas más eficientes en la distribución de agua en las ciudades y los sistemas de riego, ya que como se muestra en la **(Figura 1)** son los sectores de público urbano y uso agrícola los que más consumo tienen (CONAGUA,2016).

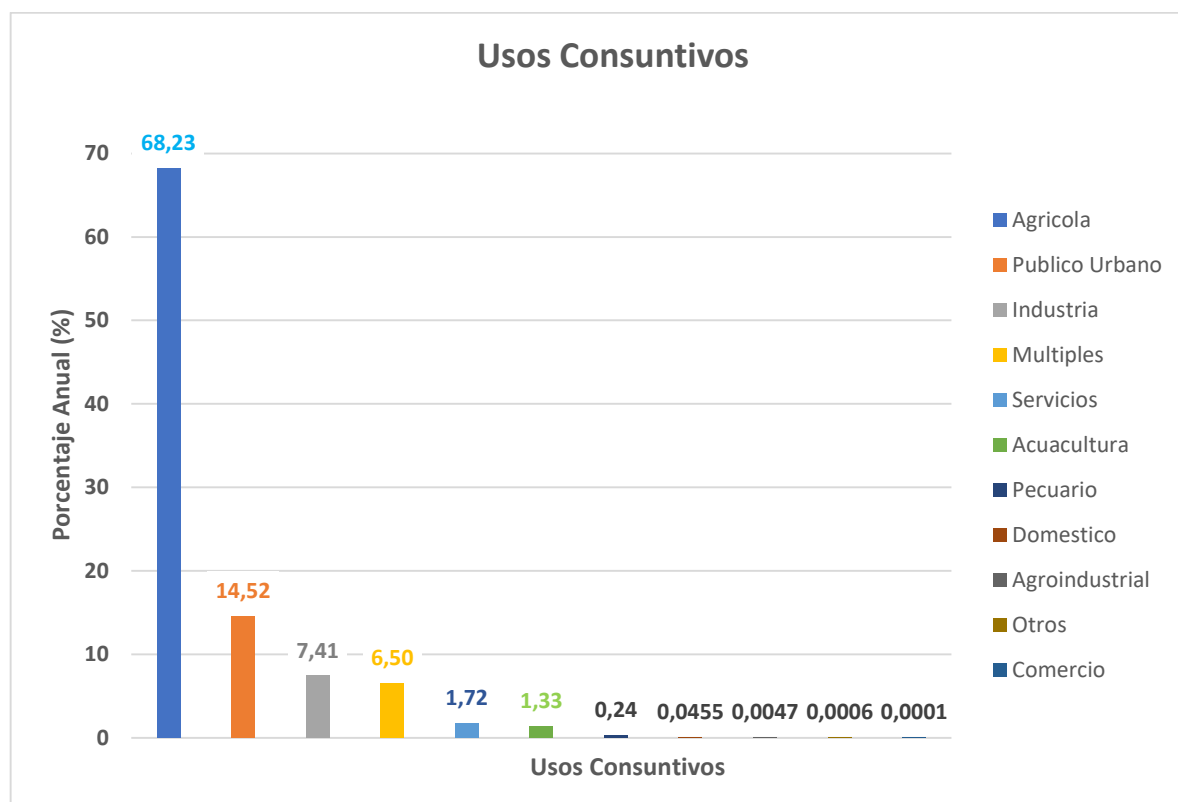


Figura 1. Usos consuntivos del agua en México, (CONAGUA, 2016)

Los sistemas de riego por goteo subsuperficial son una alternativa para hacer más eficiente el uso del agua en la agricultura y disminuir la demanda que el sector tiene; aunque estos sistemas de riego se han venido utilizando desde la antigüedad y presentan varias ventajas en comparación con los demás sistemas de riego, su expansión se ha visto limitada por factores que juegan un papel importante en la operación de los mismos (Bainbridge, 2001). Dichos factores son obturación de los emisores, dificultada de detectar y reparar fugas en el funcionamiento del sistema y el costo total que es mayor al goteo superficial (Martinez y Reca ,2014).

1.2 Objetivos.

1.2.1 Objetivo General.

Evaluación del comportamiento hidráulico de un sistema de riego por goteo subsuperficial, con cuatro emisores diferentes, colocados a 20 y 35 cm de profundidad.

1.2.2 Objetivos Específicos.

- a) Cuantificar la uniformidad de flujo a lo largo de una lateral de riego con diferentes grados de obstrucción, para un mismo tipo de emisor; y ubicar la zona a lo largo de la lateral con mayor grado de obturación y su impacto en el coeficiente de uniformidad.
- b) Medir los efectos de la profundidad de colocación del emisor, sobre los diferentes parámetros a evaluar.
- c) Comparar los diferentes parámetros hidráulicos determinados, y ver la importancia de cada uno de los mismos.
- d) Determinar el emisor con mejor rendimiento.

2 REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1 Definición de riego por goteo subsuperficial.

Las primeras referencias que se tienen de un riego por goteo subsuperficial, vienen de China de aproximadamente 2000 años, donde se perforaban vasijas de arcilla, luego eran enterradas y se llenaban de agua (Bainbridge, 2001). Actualmente el riego por goteo subsuperficial es cada vez más utilizado (Rodríguez ,2008), ya que

como menciona Patel y Rajput (2008) es considerado el método de riego más avanzado.

Según las Normas ASAE (2005), el riego por goteo subsuperficial (SDI) de sus siglas en inglés es "la aplicación de agua por debajo de la superficie del suelo a través de emisores con tasas de descarga generalmente en el mismo rango que el riego por goteo".

Algunos sistemas subsuperficiales poco profundos (profundidades menores de 25 cm) se recuperan y / o reemplazan anualmente y son muy similares al riego por goteo subsuperficial. Algunos investigadores se refieren a estos sistemas como riego por goteo superficial y reservan el término SDI para sistemas destinados a uso de varios años que se instalan por debajo de la profundidad de labranza (Camp,1998).

Sin embargo, son opiniones que se atribuyen a ciertos lugares donde es utilizado a mayores profundidades, existiendo contrastes donde se considera que a profundidades mayores a 5 cm ya es considerado riego por goteo subsuperficial, aunque la definición con la que se comenzó no hace referencia a determinada profundidad y es la más aceptada (Camp,1998).

2.2 Ventajas y Desventajas.

Los sistemas de riego por goteo subsuperficial presentan una serie de ventajas en comparación con el goteo superficial y otros sistemas de riego, dentro de lo más sobresalientes encontramos mejora en eficiencia de agua, eliminación del estrés hídrico, además de que los rendimientos de los cultivos con riego por goteo subsuperficial son iguales o mejores que otros sistemas de riego (Camp , 1998;Martínez & Reca, 2014).

Lamm (2002) agrupa las ventajas y desventajas subdivididos en tres grupos: referente al agua y suelo, cultivo y prácticas culturales y relacionados con la

infraestructura del sistema. A continuación, se desarrollan los principales aspectos que incluyen cada una de ellas:

2.2.1 Ventajas y Desventajas relacionadas con el agua y suelo.

Ventajas:

- a) Uso más eficiente del agua. Se reducen considerablemente o en algunos casos se elimina evaporación del suelo, escurrimiento superficial y percolación profunda.
- b) Menores peligros por calidad del agua. Hay menores pérdidas de nutrientes debido a que no hay percolación profunda.
- c) Mayor oportunidad de uso de aguas degradadas. Se reducen los peligros de salinidad, además de que la aplicación de aguas residuales de manera subsuperficial reduce el contacto del fruto con dichas aguas.
- d) Mayor uniformidad de aplicación de agua. Las uniformidades mejoradas en campo pueden resultar en un mejor control de agua, nutrientes y sales.

Desventajas:

- a) Patrón de mojado más pequeño. El patrón de mojado puede ser demasiado pequeño en suelos de textura gruesa, resultando en una zona de raíces de cultivo demasiado pequeña. Esta situación puede hacer que la capacidad y la fiabilidad del sistema sean cuestiones extremadamente críticas, ya que hay menos capacidad para amortiguar insuficiente capacidad de riego o avería del sistema.
- b) Seguimiento y evaluación de los eventos de riego. Las aplicaciones de agua pueden ser en gran parte invisibles, y es más difícil evaluar el funcionamiento

del sistema y la uniformidad de aplicación. El manejo del sistema puede conducir a la subirrigación y el rendimiento de los cultivos y la reducción de la calidad o el exceso de riego, dando como resultado una mala aireación del suelo y problemas de percolación profunda.

- c) Interacción entre el suelo y la tasa de aplicación. Las velocidades de descarga de los emisores pueden exceder la capacidad de algunos suelos para redistribuir el agua bajo procesos normales de redistribución, en tales casos la presión del agua en la región alrededor del exterior del emisor puede exceder la presión atmosférica, alterando así los flujos de emisor.
- d) Reducción del movimiento ascendente del agua. El uso del sistema SDI para la germinación puede ser limitado, dependiendo de la profundidad de la instalación y las características del suelo. Esto puede ser particularmente problemático en suelos con grietas verticales. La salinidad puede aumentarse por encima de la línea de goteo, aumentando el riesgo de salinidad para las plántulas emergentes o pequeños trasplantes.

2.2.2 Ventajas y Desventajas relacionadas con cultivos y prácticas culturales.

Ventajas:

- a) Aumento del crecimiento de las plantas, así como del rendimiento y calidad de los cultivos.
- b) Plantas más saludables. Menos enfermedades e insistencia de hongos se producen debido a los dosel más seco y menos húmedo de los cultivos. El sistema también se puede utilizar para algunos tipos de fumigación del suelo.
- c) Mejor manejo de fertilizantes y pesticidas. La aplicación precisa y oportuna de fertilizantes y pesticidas a través del sistema puede resultar en una mayor eficacia y, en algunos casos, en la reducción de su uso.

- d) Mejor control de malezas. Las reducciones en la germinación de malezas y el crecimiento de malezas ocurren a menudo en regiones más secas.
- e) Mejora las oportunidades de doble cultivo. La sincronización de los cultivos se puede mejorar ya que el sistema no necesita ser removido en la cosecha y reinstalado antes de plantar la segunda cosecha.
- f) Mejoras las operaciones agrícolas. Muchas operaciones de campo pueden ocurrir durante los eventos de riego, sin necesidad de esperar a que este pase. Además, las restricciones de aplicación relacionadas con el clima, tales como vientos fuertes, temperaturas de congelación y superficies de suelo húmedas, son menos importantes. La capacidad de regar durante las condiciones de congelación puede ser particularmente beneficiosa cuando el riego de pretemporada se utiliza para aumentar efectivamente la capacidad de riego estacional. También hay menos equipo de riego expuesto a daños vehiculares. Los trabajos manuales se benefician de los suelos más secos al reducir el esfuerzo manual y las lesiones.

Desventajas:

- a) Menos opciones de labranza. Las operaciones de labranza primaria y secundaria pueden estar limitadas por la colocación de las laterales.
- b) Desarrollo restringido de las raíces. Las zonas más pequeñas de las raíces de los cultivos pueden ser insuficientes para evitar las tensiones diurnas del agua de los cultivos incluso cuando la zona de las raíces está bien regada.
- c) Espaciamiento de hileras y problemas de rotación de cultivos. Dado que los sistemas SDI están fijos espacialmente, puede ser más difícil acomodar cultivos de diferente espaciamiento entre hileras. Algunos cultivos pueden requerir un espaciamiento de goteo muy cercano que podría ser económicamente poco práctico. Debe tenerse cuidado adicional en el momento de la siembra anual de cultivos en hileras para asegurar que la

orientación y el espaciamiento de los cultivos estén adecuadamente adaptados a la ubicación de la tubería de goteo.

- d) Problemas de desarrollo de las plantas. Algunos cultivos pueden no desarrollarse adecuadamente bajo SDI en algunos suelos y climas.

2.2.3 Ventajas y Desventajas relacionadas con la infraestructura del sistema.

Ventajas:

- a) Automatización. La característica presurizada en circuito cerrado del sistema que puede reducir la variabilidad de la aplicación y la variabilidad de la redistribución del agua y del suelo hace que el sistema sea un candidato ideal para la automatización y tecnologías avanzadas de control de riego.
- b) Disminución de los costos de energía. Las presiones de funcionamiento suelen ser menores que algunos tipos de riego por aspersión, de tal manera que cualquier ahorro de agua, se traduce en menos costos de energía.
- c) Menores problemas de integridad del sistema. Existen menos piezas mecanizadas en un sistema SDI en comparación con sistemas de riego por aspersión. La mayoría de los componentes son de plástico y están menos sujetos a la corrosión del sistema de riego, además los sistemas SDI no necesitan ser removidos e instalados entre los cultivos y, por lo tanto, pueden experimentar menos daños. El potencial de vandalismo también se reduce.
- d) Flexibilidad del diseño. Hay mayor adaptabilidad del sistema a diferentes formas y tamaños de terreno, además de que esta menos limitado por cuestiones de pendiente como lo es en el riego por gravedad.
- e) Longevidad del sistema. Un buen diseño y mantenimiento permite alargar la vida útil de los componentes del sistema en particular de la cinta de goteo, permitiendo amortizar los costos de inversión de varios años.

- f) Menor incidencia de plagas. En algunos casos puede haber poca incidencia de plagas que dañen el sistema, sin embargo, si se presentan se dificulta el poder detectarlos.

Desventajas:

- a) Costos. Tienen un alto costo de inversión inicial en comparación con otros sistemas de riego además de que en la mayoría de sus partes no tienen valor de reventa ni valor mínimo de rescate.
- b) Problemas de filtración. A diferencia de otros sistemas de riego en los SDI la filtración es un punto crítico sobre todo si se desea tener una vida útil de 10 años, por lo que el manejo y mantenimiento deben ser de prevención, ya que será imposible llevar acabo un destaponamiento de emisores.
- c) Problemas de mantenimiento. Uno de los puntos críticos son las fugas causadas por roedores las cuales pueden ser más difíciles de localizar y reparar, particularmente para sistemas SDI más profundos. Las líneas de goteo deben ser monitoreadas para la intrusión de raíz, y los procedimientos operacionales y de diseño del sistema deben emplear salvaguardias para limitar o prevenir más intrusiones. Las raíces de algunos cultivos perennes pueden pinchar u obstruir las laterales, eliminando o reduciendo los flujos.
- d) Problemas de operación. Se requiere el monitoreo de los caudalímetros y medidores de presión del sistema para determinar si el sistema funciona correctamente. Se requieren procedimientos de programación de riego para prevenir la subirrigación y la sobreirrigación.
- e) Problemas de diseño. Los errores de diseño son más difíciles de resolver, ya que la mayoría del sistema SDI está bajo tierra. Existe la posibilidad de ingestión del suelo al cerrar el sistema si se produce un vacío, por lo que los

dispositivos de alivio de aire / disyuntores de vacío deben estar presentes y operar correctamente. La compresión de la línea de goteo debido a la sobrecarga del suelo puede ocurrir en algunos suelos y en algunas profundidades, causando efectos adversos en el flujo.

- f) Problemas de abandono. En algunos casos, existe preocupación por el desecho de productos plásticos (líneas de goteo) en el subsuelo si se abandona el sistema SDI.

2.3 Componentes del Sistema.

Según el Texas Water Resource Intitute (2004), los principales componentes del riego por goteo subsuperficial son los filtros, las líneas principales, las líneas distribuidoras (subprincipales), los bloques de campo o secciones de riego, las líneas de lavado, las líneas de goteo (laterales) y los accesorios **Figura 2**, donde todas las líneas laterales conectadas a la misma subprincipal componen una sección de riego, y varias secciones agrupadas forman una estación de riego, donde todas las secciones operan simultáneamente. Algunas sugerencias que se incluyen en este manual son:

- a) Si el sistema será permanente es necesario conectar las laterales a una línea de lavado para evitar sedimentos y desalojarlos a través de esta tubería. Considerando que un sistema de riego temporal es aquel en el que sus cintas son utilizadas una o dos temporadas para ser remplazadas.
- b) Si las laterales llegan a ser de longitudes cercanas a los 200 m la línea de lavado puede estar conectada también a la línea principal por una válvula y línea distribuidora separada, para poder suministrar agua por ambos extremos de la línea de goteo, evitando así pérdidas de presión excesivas.
- c) La línea de lavado siempre debe tener una válvula de descarga, aunque sea utilizada también como una línea de abastecimiento, así como en otro

de sus extremos una válvula de alivio (considerar que la válvula de alivio debe ser colocada en el extremo de mayor cota).

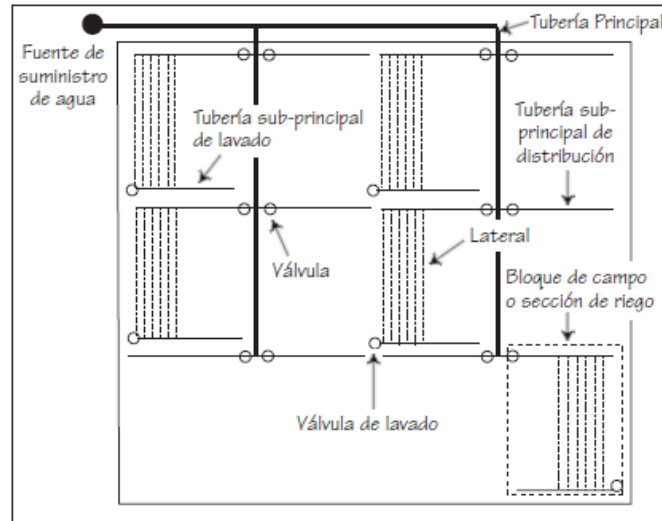


Figura 2. Trazo típico de un SDI

2.4 Emisores en SDI.

Medina (2000) hace referencia al emisor como el encargado de la aplicación del agua al cultivo, y varios autores la señalan como la parte más importante del sistema de riego y sin importar su forma debe reunir dos características fundamentales:

1. Caudal pequeño y constante, poco sensible a las variaciones de presión, dicha sensibilidad a las variaciones de presión está relacionada con el régimen de funcionamiento hidráulico del emisor, siendo los que trabajan en régimen laminar más sensibles que los que trabajan en régimen turbulento y estos últimos más que los autocompensables.
2. Orificio de tamaño tal que le permita evitar obstrucciones.

2.5 Cintas de Riego.

Como lo menciona Pizarro (1996) son tuberías provistas de puntos de emisión muy próximos lo que las hace apropiadas para el riego de cultivos en línea tipo las hortalizas. Fabricadas de polietileno en espesores que van de 0.1 mm a 0.6 mm, se debe de tener cuidado de no confundirlas con mangueras que llevan goteros

insertados; a diferencias de estas las cintas consisten en dos conductos paralelos, uno principal del que el agua pasa al secundario a través de un orificio que provoca la primera perdida de carga, y un conducto secundario, del que el agua sale al exterior a través de un orificio, tal como se muestra en la (**Figura 3**).

El orificio que comunica el conducto principal y secundario lleva un pequeño filtro y el conducto secundario lleva unos pequeños topes que lo dividen en tramos. El espaciamiento de los emisores varía entre 20 y 60 cm, con presiones de operación comprendidas de 0.4 a 1 bar proporcionando caudales de 0.79 – 9.44 l/h por metro lineal según la presión, espaciamiento y tipo de orificio.

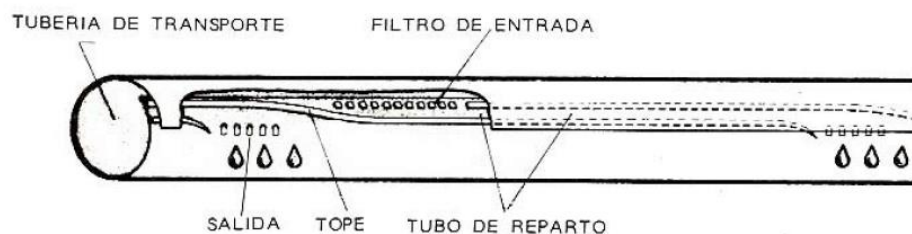


Figura 3. Esquema general de cinta de riego tipo T-tape

Medina (2000) menciona que el proceso de fabricación de estas tuberías es más simple que el de cualquier gotero por lo que su coeficiente de variación es alto. Tienen el inconveniente de la falta de uniformidad que proporcionan. Además de que los orificios de salida son pequeños, por lo que es recomendable utilizar filtración para evitar obstrucciones.

Estas cintas a diferencia de goteros insertados en mangueras tienen a su favor el precio, se utilizan extendidas sobre el terreno o bien enterradas. Se clasifican en tres tipos principales:

1. Tuberías de pared sencilla. Son tuberías que llevan orificios uniformemente espaciados, o aquellas que llevan un cosido a lo largo de todo un borde (rizza) por cuyos orificios fluye el agua. La cinta cuenta con perforaciones que se abren al alcanzar determinada presión y al cesar la presión se cierran.

Se utilizan por lo general enterradas y con este sistema se evita la obstrucción por raíces.

2. Tuberías de doble pared. En este grupo encontramos las conocidas como twin-wall, que consiste en dos tuberías concéntricas unidas por un borde. La interior lleva orificios uniformemente espaciados, por lo que el agua pasa a la segunda, también con orificios con separación menor, obteniendo una caída de presión más suave.

El tipo bi-wall es parecido al anterior, la diferencia radica que en lugar de dos tuberías concéntricas consta de una cámara adosada a la tubería principal. La tubería interior va perforada solamente en su cara contigua a la cámara.

3. Tuberías porosas o de rezume, es una tubería de material poroso a través de cuyos poros el agua rezume o sale al exterior.

Actualmente las tuberías utilizadas comúnmente conocidas como cintas de riego, son tuberías de pared delgada que contienen el laberinto o bien goteros en forma de pastillas adheridos en el interior de la tubería.

2.6 Taponamiento.

El riego por goteo subsuperficial (SDI) es uno de los métodos de riego más efectivos, pero es fácil de obstruir, a pesar del desarrollo de la tecnología y la implementación de materiales nuevos y diseños cada vez más eficientes de los emisores, la obstrucción de los mismos sigue siendo uno de los principales problemas en el manejo de los sistemas de riego por goteo. Convirtiéndose la evaluación de campo de la obstrucción de los emisores en una tarea muy difícil. La obstrucción parcial es tan mala como la obstrucción completa, ya que ambos reducen la uniformidad de la aplicación y alteran el sistema hidráulico de todo el sistema, repercutiendo en menor producción y mayores gastos ya que se incrementa la utilización de horas de bombeo y fertilizantes con el fin de compensar las irregularidades a lo largo de la lateral de riego (Nakayama y Bucks, 1991; Ravina et al., 1997; Li et al., 2006; Li & Chen, 2008)

Wu feng et al. (2004), encontraron que la obstrucción influye de manera diferente según el tipo de emisor utilizado, evaluaron la tasa de obstrucción en cintillas utilizadas en SDI durante 8 años, los tipos de emisores utilizados fueron laberinto, mini-pipa y orificio alcanzando 16.67%, 25% y 63.89%, de porcentaje de taponamiento respectivamente, algunas sugerencias para aminorar el problema fueron mejorar la filtración, lavar laterales oportunamente y mejorar la ruta del agua en el emisor.

Las condiciones reales de los sistemas de riego por goteo difieren en miles de formas, en algunos estudios, se usaron algunos parámetros macrohidráulicos, que incluyen descargas de emisores, presiones de operación, etc., para establecer modelos estadísticos para predecir el estado de obstrucción de los emisores de goteo. En otros estudios, el flujo dentro de canales de pequeños emisores fue simulado por dinámica de fluidos computacional y los resultados como la distribución de la presión y velocidad del agua, se utilizaron para analizar el rendimiento de obstrucción de los emisores de goteo. Sin embargo, todos los resultados de la simulación, aunque suelen ser muy prometedores difícilmente podrían ser probados por experimentos prácticos (Wei, Shi, Lu, Dong, & Huang, 2008).

Wei et al. (2008), midieron el rendimiento antitaponamiento de goteros de estaca, gotero tipo vortex y cintas de riego con gotero insertado, encontraron que la mejor respuesta la tenían los goteros tipo estaca siendo las cintas de riego más sensibles al taponamiento ,además las descargas de cada emisor probado difirieron entre sí y la mayoría fueron inferiores a las tasas de descarga nominal: sin embargo algunos emisores tuvieron un resultado contrario.

2.6.1 Causas del taponamiento.

La obstrucción del emisor en los SDI se ve afectada por muchos factores físicos, químicos y biológicos. Es difícil conocer el factor exacto que causa la obstrucción

del emisor, ya que los diversos elementos en el agua pueden interactuar entre sí y dar lugar a más problemas de obstrucción: sin embargo los factores que causan taponamiento en los sistemas de riego los podemos agrupar en: material suspendido en el agua, influencia de bacterias, precipitación química debida a la calidad del agua de riego y del fertirriego o bien la combinación de todos estos factores (Pitts et al., 1990). Sin embargo, para el caso de los sistemas de riego subsuperficiales influyen otros factores como lo son la intrusión de la raíz debida principalmente al déficit hídrico y la succión de partículas de suelo al producirse el vacío al momento del apagado del sistema (Coelho y Faria, 2003; Wang et al. 2005 y Suarez-Ray et al., 2006). En el caso del SDI la concentración de sal se reduce en el emisor ya que no hay evaporación para que las sales se acumulen ayudando a disminuir la obstrucción química (Hills et al., 1989), además de que las temperaturas en el SDI son menores a las que se expone el DI reduciendo la probabilidad de obstrucción biológica. Aunque la obstrucción del emisor también está relacionada con el diseño del emisor y con el nivel de tratamiento de filtración.

2.6.2 Influencia de bacterias y algas.

Şahin et al (2005), realizaron una investigación con microorganismos microbianos que pueden usarse para prevenir obstrucciones en sistemas de riego por goteo causados por factores biológicos, utilizaron cepas bacterianas antagónicas y demostraron que los microorganismos antagónicos se pueden utilizar para el tratamiento de la obstrucción en los sistemas de riego por goteo, siendo esta una alternativa para reducir o eliminar por completo la necesidad de aplicaciones químicas repetitivas para tratar la obstrucción del emisor.

Oliveira et al.,(2009), encontraron que la formación de películas biológicas, resultantes de la interacción entre bacterias formadoras de mucílago y sólidos suspendidos, puede ser considerada como el principal factor de taponamiento parcial y total de goteros de las líneas de riego sobre todo cuando se utilizan aguas tratadas.

2.6.3 Precipitación química (calidad de agua y fertirriego).

En lo referente al taponamiento producido por fertirriego, Li & Chen (2008) realizaron evaluaciones de campo en DI y SDI en un invernadero en el cultivo del tomate para investigar los efectos de la fertirrigación, la profundidad de la línea de drenaje y el suelo textural estratificado sobre la obstrucción de los emisores, observando que no hay influencia significativa del fertirriego ni del tipo de fertilizantes utilizados así como de las capas estratificadas, sin embargo encontraron mayor taponamiento en el DI con resultados que revelan que el 2,7% de los emisores están obstruidos con descarga reducida a más del 25%, y el 2,1% de los emisores estaban completamente obstruidos, trayendo como consecuencia este taponamiento gran reducción en la uniformidad de riego, además encontraron que la obturación se produce en la parte terminal de la lateral.

Lili et al (Lili et al., 2016), estudiaron la variación de la relación de descarga y el coeficiente de uniformidad, en cinco emisores diferentes utilizando agua salada. A medida que el tiempo de operación se incrementó encontraron una disminución en las variables a utilizar encontrando valores de Dra (tasa de variación de la descarga promedio) con disminuciones totales de 70.5, 55.6, 24.2, 40.9 y 38.9% y el UC disminuyó a 77.2, 52.5, 12.9, 16.5 y 21.9%, encontrando que una buena alternativa para el uso de aguas saladas son los emisores cilíndricos y de caudales grandes, y no recomiendan emisores planos.

2.6.4 Prevención del taponamiento.

Según Netafim (2012), el tratamiento preventivo puede llevarse a cabo por alguno de los tres siguientes métodos o bien por la combinación de los mismos:

1. Lavado de las laterales del sistema.
2. Programación de los riegos.
3. Inyección química.

Lavado del sistema.

Se realiza con el fin de eliminar contaminantes del sistema, al ser expulsados del mismo. Este procedimiento consiste en la apertura de las válvulas de la purga de la línea secundaria, así como las válvulas del lavado, para limpiar los contaminantes de las paredes internas y/o los filtros del gotero.

Se debe realizar de manera regular y la frecuencia dependerá principalmente de la calidad del agua de riego, para asegurar una mayor efectividad de este lavado será necesario el incremento de la presión del sistema afín de generar mayor turbulencia y expulsar los contaminantes adheridos a las paredes, el incremento de la presión estará en función de la capacidad del sistema y de los espesores de tubería y las cintas utilizadas.

En caso de que el sistema no tenga tubería colectora de lavado, se recomienda no abrir más de 5 regantes a la vez. Como recomendación debe realizarse por lo menos una vez al mes, (Netafim, 2012)

Puig-Bargués et al. (2010) señalan que el lavado de laterales es una tarea de mantenimiento importante que elimina las partículas acumuladas en los laterales de riego que pueden ayudar a reducir los problemas de obstrucción, estudiaron el efecto de tres tratamientos de frecuencia de lavado en la línea de goteo (sin lavado, un lavado al final de cada período de riego y un lavado mensual durante el período de riego), encontrando que la obstrucción del emisor se vio afectada principalmente por las interacciones entre la ubicación del emisor, el tipo de emisor y el tratamiento de la frecuencia de descarga, observaron un 3.7 % menos de emisores tapados en DI en comparación con SDI.

Feng et al. (2017), evaluaron el impacto de cinco frecuencias de lavado en la lateral de riego, 1, 5, 10, 30 y 50 días utilizando solución salina y agua subterránea dulce. Encontraron el tratamiento más apropiado para lavado en las laterales con solo agua dulce es de cinco días, ya que en los otros tres tratamientos hay presencia de taponamiento; sin embargo, los emisores en los tratamientos de aguas

subterráneas salinas se obstruyeron más rápido y con mayor severidad que los tratamientos de aguas subterráneas dulces. De igual manera sugieren para controlar mejor la obstrucción del emisor, usar agua dulce para enjuagar los laterales después del riego con agua subterránea salina.

Programación de los riegos.

Una programación adecuada de los riegos evitará o reducirá la intrusión de raíces y la contaminación de partículas externas, (Netafim, 2012)

Intrusión de raíces. Se produce cuando se produce déficit hídrico y las raíces buscan la humedad creciendo hacia el interior de la lateral bloqueando el paso del agua por el emisor. Si es necesario que el cultivo tenga periodos secos se pueden hacer pequeños riegos afín de mantener humedad fuera del emisor o bien la inyección de herbicidas en pequeña concentración con el fin de quemar las puntas de las raíces y no afectar la planta. La obstrucción causada por la intrusión de raíces también puede evitarse o reducirse en gran medida inyectando trifluralin, un herbicida que se absorbe fuertemente en el suelo, para limitar el crecimiento de la raíz en las inmediaciones del emisor (Suarez-Ray et al., 2006).

Yu et al.,(2010), demostraron que la inyección de Treflan podría reducir efectivamente la densidad de las raíces en las áreas adyacentes a los goteros, disminuyendo significativamente el potencial de obstrucción de las raíces, además dentro del rango de concentración utilizado por el experimento las concentraciones de Treflan no tuvieron efectos significativos en la distribución, el rendimiento y la calidad de la raíz del trigo. Sin embargo, se debe tener cuidado en la temporada de inyección ya que al final de la temporada de crecimiento influyó en la distribución de la raíz solo en las áreas cercanas a los goteros; a una edad más temprana el área de influencia aumenta.

Schifris et al.,(2015), encontraron que la impregnación de los goteros SDI con partículas de óxido de cobre inhibe la penetración de la raíz de manera muy significativa, lo demostraron en plantas de lechuga y tomate alcanzando una eficacia

similar en comparación con el tratamiento de inhibición de la penetración de la raíz con Stomp® ampliamente utilizado, el cual es poco amigable con el medio ambiente y consume mucho tiempo, y en algunos países su uso está prohibido.

Contaminación de partículas externas. Siguiendo el principio del osmosis, este se produce en un suelo sobresaturado, sobre todo si las laterales están vacías el agua empieza a fluir en sentido inverso del suelo hacia el gotero introduciendo pequeñas partículas de suelo las cuales pueden producir taponamiento en los emisores. Este fenómeno se presenta sobre todo en periodos intensos de lluvia, para lo cual se recomienda hacer un lavado de las laterales o bien usar emisores antisifon.

Inyección química.

La inyección de diferentes productos puede evitar, disolver o eliminar la obstrucción de algunos de los agentes que la causan.

Después de cada aplicación de químicos fertilizantes, desinfectantes, oxidantes, herbicidas etc, será necesario continuar regando solo con agua para evacuar residuos de estos productos fuera del sistema, (Netafim,2012).

Ribeiro et al., (2008), midieron la eficacia del uso de ácido nítrico e hipoclorito de sodio para liberar emisores debido al uso de agua con alto contenido de algas, llevaron a cabo evaluaciones sobre la uniformidad de distribución de agua antes y después del tratamiento químico para evaluar la eficiencia, observando mejoras en la uniformidad de la distribución de agua, concluyendo que este método es excelente para destapar goteros con taponamiento debido a causas biológicas.

2.6.5 Diseño de la estructura del emisor.

La estructura de los canales del emisor tiene un gran impacto sobre la obstrucción por lo que el ensanchamiento y el acortamiento del pasaje de flujo, el redondeo de los bordes rectos en los dientes salientes, etc., podrían usarse para mejorar el diseño del canal, de tal manera que el diseño del emisor se podría considerar como otro método para evitar la obstrucción (Adin and Sacks ,1991).

Taylor et al. (1995) investigó experimentalmente varios factores que causan la obstrucción del emisor, concluyendo que el diseño del emisor en lugar de calidad del agua era el hecho más importante que determinaba el grado de obstrucción, ya que los mecanismos que se utilizan en muchos diseños de emisores para reducir y controlar el flujo de agua suelen ser los que también acentúan el problema de obstrucción.

Como ya se mencionó anteriormente Wu et al. (2004) investigaron un sistema de riego por goteo subsuperficial durante 8 años, y atribuyeron la obstrucción del emisor a los gránulos adheridos, sugiriendo mejoras en la optimización de la estructura del canal para resolver o atenuar este problema.

Wang et al. (2009), basándose en análisis numérico del flujo de dos fases líquido-sólido propusieron un diseño del emisor utilizando software de dinámica de fluidos computacional, propusieron la mejor combinación de estructura como el espaciado dental óptimo, el ángulo del diente, la altura del diente y la altura del canal (1,5 mm, 125 °, 0,75 mm y 0,9 mm, respectivamente). Los resultados mostraron que la estructura del canal del emisor tenía influencia en la distribución de la concentración de gránulos, siendo el orden del grado de influencia de mayor a menor: el ángulo del diente, el espacio entre dientes, la profundidad del canal y la profundidad del diente.

Abdulqader & Ali (2013), propusieron un procedimiento para la selección del tipo de técnica de prototipado de nuevos emisores, el cual suele ser el factor más significativo en el caso del diseño de los mismos, y en base a ese procedimiento y el uso de software CAD y la dinámica de fluidos computacional desarrollaron un nuevo diseño del emisor de riego por goteo que tiene una mayor resistencia a la obstrucción en comparación con diseños anteriores.

B. O. Zhou et al (2014), analizaron el efecto de la profundidad de la trayectoria del flujo sobre la obstrucción del emisor encontrando el rango apropiado de profundidades de trayectoria de flujo para emisores de riego por goteo con agua tratada fue de 0.70-0.75 mm. Además, encontraron emisores obstruidos en la parte final del lateral, esto se debió a que la velocidad del flujo disminuyó desde la cabeza hasta la parte final del lateral.

Zhou et al. (2017), mencionan la importancia de seleccionar un emisor apropiado en condiciones específicas, evaluando su capacidad anti-obstrucción. Demostraron experimentalmente que el mismo tipo de emisor mostró una mejor capacidad anti-obstrucción con el agua subterránea que con el agua tratada, mientras que los emisores cilíndricos tenían más probabilidades de obstrucción que los emisores planos.

2.6.6 Grado de obturación.

La evaluación de campo sobre el rendimiento del emisor bajo condiciones de obstrucción variables, es un tema que varios investigadores han abordado midiendo el grado de obturación que pueda causar la fertirrigación, profundidad de la lateral, separación entre emisores y a la vez el cómo afecta el fenómeno de obturación los caudales emitidos por los emisores.

Li & Chen (2008) evaluaron cuantitativamente los efectos de obstrucción del emisor sobre la uniformidad de la aplicación de agua, el coeficiente de variación de fabricación (Cv_f) se relacionó con el porcentaje de reducción de descarga (Rq), mostrando que Cv_f aumentó linealmente con Rq creciente como resultado de obstrucción, además de encontrar que tanto la obstrucción parcial como completa de los emisores produjo una gran reducción de la uniformidad de riego. La reducción del porcentaje de reducción de descarga lo llevo a cabo con la siguiente expresión:

$$Rq = \frac{q_{med\ nuevo} - q_{med\ usado}}{q_{med\ nuevo}} \times 100 \% \quad (1)$$

Donde: Rq = porcentaje de reducción de descarga del emisor, %: $q_{med\ nuevo}$ = descarga media del emisor nuevo, (l/h) y $q_{med\ usado}$ = descarga media del emisor usado, (l/h).

Wei et al. (2008), propusieron un nuevo método de evaluación rápida en laboratorio para el rendimiento anti-obstrucción de los emisores de goteo. Determinaron la tasa de obstrucción cuantitativa, que describe el estado de obstrucción de los emisores de goteo, encontrando que según el tipo de emisor utilizado la velocidad de obstrucción será diferente. Consideraron que los emisores se habían obstruido cuando la descarga era inferior al 75% de la tasa de descarga nominal. Definieron la tasa de obstrucción de los emisores como:

$$C_r = 100 \left| 1 - \frac{q_{med}}{q_v} \right| \quad (2)$$

Donde: C_r = tasa de obstrucción; q_{med} = descarga media de los emisores (l/h); q_v = descarga nominal (l/h).

García Rodríguez & Puig Estrada (2011), llevaron a cabo una evaluación de un sistema de riego tanto DI y SDI, evaluando los coeficientes de uniformidad y grado de obturación, este último lo determinaron mediante la siguiente expresión:

$$Go = 1 - \left(\frac{q_{med\ nuevo}}{q_{med\ usado}} \right) \quad (3)$$

Donde: Go = grado de obturación (%); $q_{med\ nuevo}$ = caudal medio de los goteros nuevos (l/h) y $q_{med\ usado}$ = caudal medio de los goteros usados (l/h).

Zhou et al. (2017), propusieron un índice de evaluación de la capacidad anti-obstrucción del emisor de riego por goteo (I_a), basado en las características de obstrucción del emisor, que en conjunto con la la tasa de variación de la descarga

promedio (Dra), permite seleccionar el emisor más apropiado. Este índice se propuso como:

$$I_a = \frac{t/T}{k} \quad (4)$$

Donde: t = indica el tiempo del período de fluctuación (h); T = indica el tiempo de funcionamiento total del sistema (h); k = indica la velocidad decreciente de Dra durante el período de disminución lineal (% / h) por lo tanto I_a = índice de la capacidad anti-obstrucción del emisor (h), representa el tiempo de operación acumulado cuando el grado de obstrucción del emisor aumentó en un 1% en promedio.

La tasa de variación de la descarga promedio (Dra), la cual refleja el grado de obstrucción de todo el lateral se puede calcular con la siguiente expresión:

$$Dra = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{q_{itm}}{q_{iom}}}{n} \times 100 \% \quad (5)$$

Donde: q_{itm} = descarga del i -ésimo caudal después de la modificación por temperatura (l/h) (modificación que se lleva a cabo si la variación de temperatura es grande, o cuando se considere que pueda afectar significativamente la descarga); q_{iom} = descarga modificada del i -ésimo emisor al comienzo del experimento (l/h) y n = número de emisores evaluados.

2.7 Evaluación del rendimiento del emisor en SDI

La evaluación del rendimiento del emisor se lleva a cabo por dos metodologías una conocida como tradicional y otra la propuesta por la ASAE; estos dos métodos

utilizan métodos de medición de gastos y presión, a continuación, se describe cada una de las metodologías.

2.7.1 Metodología Tradicional

Esta incluye principalmente cuatro determinaciones las cuales son Coeficiente de Uniformidad, Coeficiente de Uniformidad de Cuarto más Bajo, Coeficiente de Variación de Fabricación y Variación del Gasto.

2.7.1.1 Uniformidad de Riego

Los emisores son estructuras hidráulicas a través de los cuales el agua sale del interior de las líneas laterales hacia el suelo los cuales son de gran importancia en los sistemas de riego localizado por lo que es fundamental conocer su comportamiento hidráulico para poder hacer los ajustes necesarios en la operación del sistema de acuerdo a las necesidades de cada cultivo (Gil-Marin et al, 2002).

La uniformidad de funcionamiento de cada emisor es una importante cuestión de calidad. Los materiales utilizados durante su fabricación, así como el cuidado en el proceso y en definitiva las características geométricas del gotero y su estabilidad condicionan su comportamiento hidráulico a lo largo de su vida útil, las cuales pueden denotar variaciones notables entre unidades de un mismo modelo (Solomon,1979).

Según Keller y Karmeli (1974) un emisor se puede caracterizar mediante una ecuación de tipo potencial cuya expresión es:

$$q = k_d H^x \quad (6)$$

Donde: q = descarga del emisor, lph o gph; k_d = coeficiente que caracteriza al emisor; H = presión de entrada del emisor, m o ft ; x = exponente que caracteriza el régimen del flujo.

Como ya se mencionó el exponente x , caracteriza el tipo de flujo tal y como se muestra en el **(Cuadro 1)**:

Cuadro 1. Régimen de los emisores, Keller y Karmeli (1974)

Valores de x	Tipo de Flujo
0.5	Completamente turbulento
0.5 - 0.7	Parcialmente turbulento
0.7 - 1.0	Inestable o critico
1	Laminar

Por otro lado, algunos emisores pueden proporcionar algún grado de regulación de flujo y x puede ser inferior a 0.5 teniendo una regulación absoluta con $x=0$, sin embargo, no es lo más deseado ya que en ocasiones es necesario variar los flujos para evitar taponamientos y en este tipo de emisor, aunque se aumente la presión no se lograra cambiar el flujo. De tal manera de con un valor de $x=0.3$ a 0.4, se obtiene una regulación considerable.

Dicho lo anterior el exponente x es un indicador de la sensibilidad a las variaciones de presión por parte del emisor de tal manera que en base a esa sensibilidad Pizarro (1996) los clasifica en emisores no autocompensates y autocompensantes (**Cuadro 2, Cuadro 3**), mostrando de igual manera las tolerancias a las variaciones de presión.

Cuadro 2. Tolerancia a las variaciones de presión, emisores no autocompensantes

Valores de x	0.2-0.5	0.5-0.6	0.6-0.8	>0.8
Clase	MT	T	PT	MPT
MT:	Muy tolerante			
T:	Tolerante			
PT:	Poco tolerante			
MPT:	Muy poco tolerante			

Cuadro 3. Tolerancia a las variaciones de presión, emisores autocompensantes

Valores de x	0-0.05	0.05-0.1	0.1-0.15	0.15-0.2	>0.2
Clase	MB	B	P	M	MM
MB:	Muy tolerante				
B:	Tolerancia buena				
P:	Tolerancia pobre				
M:	Tolerancia mala				
MM:	Tolerancia muy mala				

De igual manera Pizarro (1996), da a conocer una clasificación del tipo de emisor en función del valor del coeficiente de descarga x , como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 4. Coeficientes de descarga de emisores Pizarro (1996)

Emisor	x
De régimen laminar	1
Microtubos	0.75 – 1
Helicoidal	0.65 – 0.75
De régimen turbulento (orificio, laberinto)	0.5
Vortex	0.4
Autocompensante	0 – 0.4
Teórico completamente autocompensante	0

2.7.1.2 Coeficientes de uniformidad.

La uniformidad de riego tiene un impacto significativo en el rendimiento de los cultivos y el costo de producción. El coeficiente de uniformidad de Christiansen Cu se usa generalmente para estimar la uniformidad espacial en un sistema de riego por goteo (Nakayama y Bucks 1981; Wu y Gitlin 1983; Keller y Bliesner 1990). Por lo tanto, el Cu se se puede calcular como lo propone su autor Christiansen (1942)

modificada para riego por goteo que considera no solo los posibles efectos derivados de la falta de agua en ciertos puntos de las zonas vegetales, sino también el exceso producido como consecuencia de la heterogeneidad de la aplicación del sistema:

$$Cu = 100 \left[1 - \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |q_i - q_{med}|}{q_{med}} \right] \quad (7)$$

Dónde: Cu = Coeficiente de Uniformidad, adimensional.

La ecuación (7) puede describir cuantitativamente la uniformidad del flujo de los sistemas de riego por goteo, pero es difícil reflejar con precisión el estado de obstrucción de los emisores. Cuando el grado de obstrucción de estos es casi el mismo, el valor de Cu calculado por la ecuación (7) sigue siendo muy alto. Wei et al.(2008), propusieron una modificación para reemplazar la descarga promedio por la descarga nominal, quedando de la siguiente manera:

$$C'_u = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - q_v|}{nq_v} \right] \quad (8)$$

Donde: C'_u = coeficiente de uniformidad donde algunos emisores están obstruidos; q_v = gasto nominal (l/h).

De igual manera Keller y Karmeli y (1974), propusieron una ecuación simple y directa para la estimación de la uniformidad de emisión la cual está dada por la siguiente ecuación:

$$Eu = \left(1 - 1.27 \frac{Cv_f}{\sqrt{n}} \right) \left(\frac{Cu_{25}}{q_{med}} \right) \times 100 \% \quad (9)$$

Sin embargo, para el caso de SDI, es recomendable llevar a cabo un análisis desde el punto de vista de contenido volumétrico. La ecuación utilizada para evaluar la uniformidad subsuperficial de la redistribución del agua debajo de la superficie del suelo fue el coeficiente de uniformidad de Christiansen (Cu_s), cuya ecuación la podemos escribir de la siguiente manera (Al-Ghobari, 2012):

$$Cu_s = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |\theta_i - \theta_{med}|}{n \theta_{med}} \right) \quad (10)$$

$$\theta_{med} = \frac{|\sum_{i=1}^n \theta_i|}{n} \quad (11)$$

Donde: θ_i = es el contenido de agua del suelo gravimétrico medido en la profundidad i ; θ_{med} = es el contenido de agua del suelo gravimétrico medio.

La redistribución del agua dentro del perfil del suelo es una función de la programación de riego y variables del suelo. Al-Ghobari (2012), propuso una ecuación para estimar el coeficiente de uniformidad de redistribución del agua por debajo de la superficie del suelo esperado a partir del sistema de riego por goteo en lugar del tedioso trabajo, que requiere las mediciones de campo de los contenidos de agua del suelo, dicha ecuación con R^2 de 0.991 es la siguiente (ecuación obtenida de pruebas llevadas en un suelo areno arcilloso):

$$Cu_s = 20.918 e^{0.0178Cu} \quad (12)$$

Otro factor importante de la uniformidad de riego es el coeficiente de uniformidad del cuarto más bajo el cual puede ser calculado mediante la metodología propuesta por Merriam y Keller (1978), mediante el uso de la siguiente expresión:

$$Cu_{25} = \frac{q_{25}}{q_{med}} \quad (13)$$

Donde: Cu_{25} = Coeficiente de uniformidad del cuarto más bajo; q_{25} = Caudal medio recibido por el 25% de los emisores con caudal más bajo, l/h.

Los valores Cu_{25} fueron clasificados según Merriam y Keller (1978) (**Cuadro 5**).

Keller y Karmeli (1974) sugirieron que Cu_{25} deseable debería ser del 94% o más y nunca debe ser inferior al 90%, aunque posteriormente Capra y Scicolone (1998) sugieren una clasificación diferente tal y como se muestran en el (**Cuadro 6**). Bralts et al. (1987) encontraron que la principal desventaja Cu_{25} es su base no estadística, lo que hace imposible un desglose adicional de los componentes de la variación del flujo del emisor.

Cuadro 5. Clasificación del Cu_{25} por Merriam y Keller (1978).

Cu_{25}	Clasificación
>95%	Excelente
85%-95%	Bueno
80%-85%	Aceptable
70%-80%	Pobre
<70%	Inaceptable

Cuadro 6. Clasificación del Cu_{25} por Capra y Scicolone (1998).

Cu_{25}	Clasificación
>70%	Alto
66%-70%	Medio
<66%	Bajo

2.7.1.3 Coeficiente de variación de fabricación.

Otro parámetro que define el comportamiento hidráulico de los emisores es el Coeficiente de Variación de Fabricación cuyo calculo tiene un enfoque estadístico y se basa en la diferencia de caudales entregados por los emisores de una misma marca y modelo a una misma presión de trabajo (Karmeli y Keller 1975). De tal manera que se procede al cálculo de la desviación típica mediante la siguiente expresión:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - q_{med})^2}{n}} \quad (14)$$

Donde: σ = Desviación típica, adimensional; q_i = Caudal del emisor, lph; q_{med} = Caudal medio de la muestra de emisores, lph y n = Numero de emisores.

Para finalmente determinar el coeficiente de variación de fabricación mediante la siguiente ecuación:

$$Cv_f = \frac{\sigma}{q_{med}} \quad (15)$$

Donde: Cv_f = coeficiente de variación de fabricación, adimensional; σ = desviación típica, adimensional y q_{med} = gasto medio de la muestra de emisores, lph. En el **(Cuadro 7)** se presentan los valores de Cv_f según ASAE.

Cuadro 7. Valores permisibles del Cv_f , ASAE EP405.1 (2003).

Clasificación	Cv_f
<0.05	Excelente
0.05 a 0.07	Bueno
0.07 a 0.11	Marginal
0.11 a 0.15	Pobre
>0.15	Inaceptable

2.7.1.4 Variación del flujo del emisor.

La variación del flujo del emisor a lo largo de una línea lateral puede determinarse mediante los perfiles de flujo del emisor. La variación del flujo del emisor puede entonces expresarse por (Wu, 1997):

$$q_{var} = \frac{q_{max} - q_{min}}{q_{max}} \quad (16)$$

Donde: q_{var} = variación del flujo del emisor, lph; q_{max} = descarga máxima a lo largo de la lateral, lph; q_{min} = descarga mínima a lo largo de la lateral, lph.

Wu y Gitlin (1975) recomendaron los criterios generales para los valores de q_{var} tal el como se muestra en (**Cuadro 8**). Una limitación que tiene la determinación de q_{var} es el no incluir los factores de la variación del flujo del emisor debido a la fabricación o la obstrucción, lo que podría ser significativo en la uniformidad de la lateral.

Cuadro 8. Valores permisibles de q_{var}

Clasificación	q_{var}
<10 %	Deseable
10 % - 20 %	Aceptable
>20 %	Inaceptable

2.7.2 Metodología ASAE EP458 (2003).

A continuación se describen cada uno de los parámetros que se consideran en la metodología, así como las ecuaciones adoptadas, para analizar el rendimiento del emisor

2.7.2.1 Coeficiente de uniformidad estadística.

El coeficiente de uniformidad estadística a diferencia de los anteriormente mencionados en el documento incluye la mayoría de los diversos factores que influyen en la variación del gasto del emisor, como la fricción de la línea lateral, las diferencias de elevación, la variación del fabricante del emisor y la obstrucción del

emisor se incluyen en la estimación de uniformidad final, y se procede a calcular de la siguiente manera:

$$V_{qs} = \left(\frac{S_q}{q_{med}} \right) \quad (17)$$

$$U_s = 100(1 - V_{qs}) = 100 \left(1 - \frac{S_q}{q_{med}} \right) \quad (18)$$

Donde: V_{qs} = coeficiente de variación del flujo del emisor; S_q = desviación estándar del flujo del emisor; U_s = coeficiente de uniformidad estadística, porcentaje.

Los valores permisibles de U_s se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 9. Valores permisibles de Uniformidad Global Bralts (1986).

Valores de U_s	Clasificación
> 90 %	Excelente
80% - 90%	Muy bueno
70% - 80%	Justo
60% - 70%	Pobre
<60%	Inaceptable

De igual manera Capra y Scicolone (1998), proponen una clasificación para U_s tal y como se muestra el siguiente cuadro:

Cuadro 10. Valores permisibles de Uniformidad Capra y Scicolone (1998).

Valores de U_s	Clasificación
> 90 %	Alta
60% - 90%	Media
<60%	Baja

2.7.2.2 Coeficiente de variación de la presión.

El término variación de presión se ha utilizado para describir la variación en las presiones hidráulicas encontradas a lo largo de una línea lateral o sección de riego; sin embargo, es importante introducir el término estadístico de coeficiente de variación de presión el cual cuantifica la variación de las presiones del emisor a lo largo de una línea lateral cuyos valores permisibles se muestran en (**Cuadro 11**); este coeficiente puede ser determinado por la siguiente expresión (Bralts et al, 1987):

$$V_{hs} = \frac{S_h}{h_{med}} \quad (19)$$

Donde: V_{hs} = coeficiente de variación de presiones; S_h = desviación estándar de las presiones hidráulicas; h_{med} = presión hidráulica media, bar.

Cuadro 11. Valores permisibles de V_{hs} ASAE EP458 (2003)

Valores de V_{hs}	Clasificación
< 10 %	Excelente
10 % - 20 %	Muy Bien
20 % - 30 %	Justo
30 % - 40 %	Pobre
>40%	Inaceptable

Sin embargo, una variación de presión intencionada puede beneficiar como lo menciona Zhang et al., (2017), quienes en emisores de laberinto determinaron los efectos de la presión pulsante frente a la presión constante sobre el q_{med} , el C_u y la ubicación de los emisores obstruidos, demostrando que el rendimiento anti-obstrucción de los emisores con presión pulsátil es mejor que con la presión constante.

Si el Cv_f y la obstrucción del emisor se mantienen constantes, la variación del flujo del emisor debido a la variación de presión puede relacionarse con el coeficiente de variación de presiones como lo muestra la siguiente expresión:

$$V_{qh} = x V_{hs} \quad (20)$$

Donde: V_{qh} = coeficiente de variación del flujo del emisor debido a la variación de presión.

La ASAE EP-458 (2003) menciona un procedimiento para determinar la uniformidad estadística del emisor debido a la variación de presión U_{sh} , mediante la siguiente expresión:

$$U_{sh} = 100(1 - V_{qh}) \quad (21)$$

2.7.2.3 Variación del rendimiento del emisor.

En un sistema de riego localizado nuevo, las variaciones de presión y del Cv_f son los dos factores más importantes que afectan la uniformidad del flujo del emisor a lo largo del lateral. Sin embargo, otros factores como el desgaste del emisor y la obstrucción parcial afectarán el desempeño de los emisores en el campo a lo largo del tiempo. La ASAE EP458 (2003) proponen el coeficiente de variación del rendimiento del emisor V_{pf} el cual es una medida de la variabilidad de la descarga del emisor debido a la temperatura del agua, variación del fabricante del emisor, la variación de presión, el desgaste del emisor y la obstrucción del emisor el cual lo podemos calcular mediante la siguiente expresión:

$$V_{pf} = \sqrt{V_{qs}^2 - V_{qh}^2} \quad (22)$$

$$V_{pf} = \sqrt{V_{qs}^2 - x^2 \left(\frac{S_h}{h_{med}} \right)^2} \quad (23)$$

Donde: las variables ya fueron previamente definidas.

Los valores permisibles de V_{pf} se muestran en el **(Cuadro 12)**, si el valor llegara a ser mayor del 20 %, será necesario llevar acciones correctivas como lo es el remplazo de emisores, o limpieza de los mismos de ser posible.

Cuadro 12. Valores permisibles de V_{pf} , ASAE EP458 (2003)

Valores V_{pf}	Clasificación
< % 5	Excelente
5 % – 10 %	Muy Bien
10 % - 15 %	Justo
15 % – 20 %	Pobre
>20 %	Inaceptable

De igual manera Capra y Scicolone (1998), proponen una clasificación diferente a la mostrada en el **(Cuadro 12)**, donde se observa un cambio en los límites de los porcentajes además de que solo presenta tres clasificaciones tal y como se muestra en el **(Cuadro 13)**.

Cuadro 13. Valores permisibles de V_{pf} , Capra y Scicolone (1998).

Valores V_{pf}	Clasificación
< 20%	Alto
20 % – 29 %	Medio
>29 %	Bajo

2.8 Cálculo de Pérdidas de Carga

Al momento de realizar el diseño hidráulico de un sistema de riego y sobre todo en el diseño de las laterales de riego, un factor que cobra gran importancia son las pérdidas de carga las cuales pueden ser continuas y localizadas.

Las pérdidas de carga se definen como la difusión de energía por unidad de peso de un fluido cuando está en movimiento (Fox et al., 2006). En el caso de los sistemas de riego la energía del agua se disipa a lo largo de las tuberías y se convierte en

calor, dicha energía varía según el grado de rugosidad de la tubería y la velocidad del agua.

A continuación se describirán las principales expresiones y metodologías utilizadas comúnmente para el cálculo de ambos tipos de pérdidas.

2.8.1 Pérdidas de carga continuas.

Bernoulli afirmó que, para un líquido ideal o incomprensible a lo largo de cualquier línea de corriente, la suma de la energía de posición (potencial), velocidad (cinética), y presión es constante, esta constante se denomina carga total. Sin embargo, una fracción de esta carga total se transforma en otros tipos de energía durante el desplazamiento de un fluido definiendo así el término “Pérdida de Carga”. Así la ecuación de Bernoulli para la pérdida de carga en un tubo se puede representar por la siguiente ecuación:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_f \quad (24)$$

Donde: Z = energía de posición (m); $\frac{P}{\gamma}$ = energía de presión (m); $\frac{V^2}{2g}$ = energía de velocidad (m) y h_f = pérdida de carga (m).

Aunque muchas ecuaciones están disponibles para determinar la pérdida por fricción, la ecuación de Darcy-Weisbach es la más importante, esta ecuación resultó de los estudios de los efectos de la tensión del agua en las paredes de las tuberías y se considera teórica (a diferencia de los demás que son empíricos) porque se dedujo sobre la base de las leyes de similitud, una herramienta similar al análisis dimensional, por lo que muchos autores sostienen que la ecuación de Darcy-Weisbach es la más adecuada para el cálculo de la pérdida de presión en tuberías ya que involucra todas las variables responsables del fenómeno (Kamand 1988,

Von Bernuth 1990, Sonnad y Goudar 2006). Esta ecuación está representada de la siguiente manera:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (25)$$

Donde: h_f = pérdidas de carga continuas, m; f = factor de fricción, adimensional; D = diámetro interior de la conducción, m; V = velocidad del agua, m/s; g = aceleración de la gravedad, que se tomara como 9.81 m/s².

Swamee y Rathie (2007), mencionan que la ecuación (25) también se puede expresar en términos de pérdida de carga por unidad de longitud J quedando de la siguiente manera:

$$J = f \frac{1}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (26)$$

Donde: J = Pérdidas de carga unitarias, m / m.

Uno de los elementos más importantes de la ecuación es el coeficiente de fricción también conocido como factor de fricción de Darcy, el cual depende del número de Reynolds (Re) y la rugosidad relativa de la tubería (ϵ/D) (Romeo et al , 2002 y Turegano, 2014).

El número de Reynolds es un término adimensional el cual representa la relación de la fuerza de inercia por unidad de área ($\rho D^2 V^2$) y la tensión de un fluido newtoniano viscoso ($\mu D V$). El número de Reynolds puede expresarse en términos de viscosidad cinemática, diámetro del tubo y velocidad del flujo del agua como se muestra en la siguiente ecuación (Saldarriaga, 2007):

$$Re = \frac{\rho V^2 D^2}{\mu V D} = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\nu} \quad (27)$$

Donde: Re = Numero de Reynolds, adimensional; ρ = densidad del fluido, $kg\ m^{-3}$; V = velocidad media del flujo, $m\ s^{-1}$; diámetro de la tubería, m ; ν = viscosidad cinemática del agua, $m^2\ s^{-1}$.

Diversas investigaciones muestran que, según el tipo de flujo, existe una ecuación para llevar a cabo la determinación de f . Si el flujo es laminar ($Re < 2000$), el cálculo del factor de fricción se puede realizar usando la ecuación de Hagen-Poiseuille, que sólo depende del número de Reynolds (Re) (Saldarriaga, 2014):

$$f = \frac{64}{Re} \quad (28)$$

Para las condiciones no laminares, el coeficiente de fricción se basa en el número de Reynolds (Re) y la rugosidad relativa (ϵ/D) de la tubería. La ecuación (29) de Colebrook-White, nos permite calcular el valor de f para condiciones de $2000 < Re < 10^8$ y $0 \leq \epsilon/D < 0.05$ (Romeo et. al, 2002 y Sonnad y Goudar, 2006):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon/D}{3.71} + \frac{2.52}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (29)$$

Saldarriaga (2014) menciona que para condiciones de flujo turbulento en tuberías lisas, la rugosidad no afecta y por tanto f es independiente de la rugosidad relativa, la ecuación de Von Karman (ecuación (30)) puede utilizarse bajo estas condiciones, y es válida dentro del rango de $4000 < Re < 3.4 \times 10^6$:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log(Re\sqrt{f}) - 0.8 \quad (30)$$

En las ecuaciones de Von Karman y Colebrook-White f está implícita y se requieren métodos iterativos para determinarla. Dichos métodos requieren de fijar valores iniciales y criterios de convergencia los cuales se deben definir cuidadosamente de lo contrario no se conseguirán los resultados deseados. A raíz de esto se han propuesto varias ecuaciones que permiten hacer la determinación de f de manera explícita (Yoo y Singh 2005).

Swamee y Jain (1976), propusieron una ecuación para flujo turbulento, para estimar f de manera explícita:

$$f = 1.325 \left[\ln \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^{-2} \quad (31)$$

Posteriormente, Swane (1993) propone una ecuación para cualquier rango de Re :

$$f = \left\{ \left(\frac{64}{Re} \right)^8 + 9.5 \left[\ln \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) - \left(\frac{2500}{Re} \right)^6 \right]^{-16} \right\}^{0.125} \quad (32)$$

3 MATERIALES Y MÉTODOS.

La presente investigación se inició el 16 de diciembre de 2016, se desarrolló en el campo experimental “San Ignacio” en el lote número 6, perteneciente a la Universidad Autónoma Chapingo ubicada en Texcoco Edo de México, el lote cuenta con una superficie de 5440 m² (85 m x 64 m), ubicado en las coordenadas 19°29'14.62''y 19°29'11.79''latitud norte. El tipo de clima según García (1998), está clasificado como C (Wo) (W) b (i') g, corresponde al templado subhúmedo, con precipitación media anual de 645 mm y una temperatura promedio anual de 15° C, con heladas tempranas a fines de septiembre y tardías en abril. El suelo es de material parental conformado por sedimentos aluviales de origen ígneo,

principalmente andesitas y riolitas: suelos profundos, textura gruesa, clasificado como migajón arcilloso arenoso, con fase somera. El uso es agrícola de riego y de temporal (García, 1998).

3.1 Preparación del Terreno.

La preparación del terreno se realizó mediante un subsuelo cruzado a 50 cm de profundidad, posteriormente se realizó barbecho igualmente cruzado para finalizar con dos pasos de rastra cruzada, es importante llevar la adecuada preparación del terreno para asegurar la uniformidad de profundidad de colocación de la cintilla.

Se llevó acabo un muestreo de suelo al azar obteniendo seis muestras a dos profundidades diferentes 0-20 cm y 20-40 cm, estas muestras se secaron a temperatura ambiente y a la sombra, posteriormente se mezclaron para obtener una muestra compuesta obteniendo de cada una de ellas las siguientes determinaciones : densidad aparente (D_a) obtenida por el método de la parafina, capacidad de campo (CC) y punto de marchitamiento permanente (PMP) obtenidas en la olla de presión, textura determinada por el hidrómetro de bouyoucos (Day,1965) y conductividad hidráulica la que se determinó con la ecuación de Darcy y un permeámetro de carga variable o constante (**Cuadro 14**).

Cuadro 14. Propiedades Físicas del Suelo

Profundidad (m)	Textura	D_a ($g\ cm^{-3}$)	CC (%)	PMP (%)	CH ($mm\ h^{-1}$)
0-20	Franco Arcilloso	1.29	15.80	9.08	2.17
20-40	Franco Arcilloso	1.29	14.59	8.84	1.98

3.2 Sistema de Riego.

Se estableció un SDI con cuatro modelos de emisores diferentes (**Cuadro 15**) a dos profundidades diferentes 20 y 35 cm con separación entre laterales de 80 cm, se adopta esta separación que para el caso de alfalfa está dentro del rango recomendado por la

literatura, aunado a que son las condiciones que se tenían en el terreno al disponer de un sistema de riego previamente instalado el cual se acondiciono para que se cumplieran los requisitos para la instalación de un SDI . El enterrado de la cinta se llevó acabo con implemento hechizo como se muestra en la (**Figura 4**) el cual como se ilustra se acopla mediante una barra de soporte al tractor ,este implemento consta de soporte para colocación de rollo de cinta así como un conducto que sirve de guía para la cinta y finalmente terminar en un punta tipo cincel que va abriendo el terreno y colocando la cinta a la profundidad deseada, la uniformidad de la profundidad de colocación de la cinta depende en gran medida de la habilidad del conductor del tractor así como la adecuada preparación del terreno.

Cuadro 15. Características de los Emisores Utilizados

Especificaciones Técnicas	Marca			
	NaandanJain	NaandanJain	Irritec	Irritec
Modelo Emisor	Deluxe	Turbo Slim	IsiplastTape	P1
Calibre	15 mil	10 mil	8 mil	8 mil
Diámetro interno	16 mm	16 mm	16.1 mm	16.1 mm
Separación	30 cm	30 cm	30 cm	20 cm
Q (l / h)	0.91 a 10 psi	1.3 a 0.7 bar	1.2 a 0.7 bar	1.1 a 0.7 bar
Tipo de Emisor	Laberinto	Pastilla	Laberinto	Pastilla

Previo a la instalación del sistema de riego, se seleccionó una muestra de cada uno de los rollos de la cinta que constaba de 80 emisores afín de determinar en el laboratorio de hidráulica del Departamento de Irrigación los gastos medios a diferentes presiones y posteriormente calcular: q_{med} , q_{var} , Cv_f , Cu , Cu_{25} , V_{qs} , U_s , GO además de obtener la curva Q-H y la ecuación de gasto según el modelo de la **ecuación 6**, para la obtención de estos parámetros se siguió la metodología establecida en la NMX-E-225-CNCP-2009.



Figura 4. Enterrado de cintilla

3.2.1 Características generales del emisor Deluxe.

Del catálogo de productos Naandanjain 04/2012 se obtiene las siguientes características:

- a) Fabricado con polietileno de alta calidad.
- b) Pasaje turbulento de caudal único con amplia sección transversal que facilita la resistencia al taponamiento.
- c) Filtración recomendada de 120 mesh.
- d) Patrón de film extrusado que asegura bordes redondeados, ofreciendo una mayor resistencia a la mordida de los insectos.
- e) Excelente performance hidráulica contra variaciones de presión – exponente del emisor menor que 0,49.
- f) Una característica de esta cinta (Deluxe), es el poseer un canal continuo de filtro de entrada (333 entradas por 1,0 m) lo que le atribuye una resistencia alta al taponamiento.
- g) Rendija de salida que reduce la intrusión de raíces.

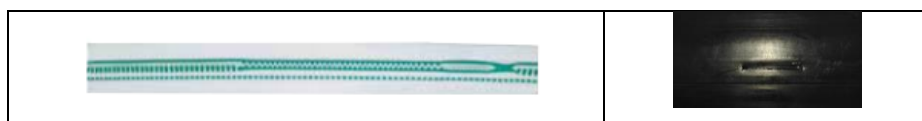


Figura 5. Cinta de goteo Deluxe (Naandanjain), con diseño de laberinto y flujo turbulento

3.2.2 Características generales del emisor Turbo Slim.

Del catálogo de productos Naandanjain 01/2011 se obtiene las siguientes características:

- a) Cinta de goteo sin costura con goteros fijados en forma permanente en su interior. La construcción sin costura mejora la capacidad para soportar fluctuaciones de presión.
- b) Marcado con dos franjas amarillas paralelas "TwinLine". Símbolo de calidad. Ayuda además a asegurar el posicionamiento vertical del gotero.
- c) Fabricado con un polímero virgen de grado especial que asegura una buena tolerancia dimensional y una mayor fortaleza aún con espesores de pared menores.
- d) Gotero de pasaje de flujo turbulento diseñado hidráulicamente con una amplia superficie de sección cruzada y un filtro de entrada de precisión que lo convierte en una cinta de goteo con una gran resistencia al taponamiento.
- e) Extremadamente bajo coeficiente de variación de fabricación, que asegura una alta uniformidad de emisión en campo.
- f) Filtración mínima recomendada 100 micrones, no obstante, el tipo de filtración requerida y la precisión dependen de la calidad de la fuente de agua.



Figura 6. Cinta de goteo Turbo Slim (Naandanjain), con diseño de laberinto y flujo turbulento

3.2.3 Características del emisor IsiplastTape.

Del catálogo de productos Irritec V.09/2016 se obtiene las siguientes características:

- a) Producido con las últimas tecnologías utilizando materias primas de última generación que garantizan una elevada resistencia, inclusive durante la fase de instalación o recogida del material.
- b) El diseño del laberinto, crea un flujo turbulento que reduce al mínimo las sedimentaciones y permite alcanzar grandes longitudes de líneas con una óptima uniformidad de emisión.
- c) El filtro de entrada del gotero protege al laberinto de eventuales obstrucciones.
- d) La doble raya verde de reconocimiento indica el lado superior de los orificios de salida.
- e) El orificio de salida se realiza con láser para impedir la entrada de elementos que puedan producir la obstrucción del laberinto.
- f) Posibilidad de tránsito de máquinas durante o después del riego.
- g) Para el producto enterrado, es aconsejable evitar la compactación del terreno y presurizar cuanto antes el sistema. Además, se aconseja el uso de válvulas de aire a doble efecto en los colectores para depresión y succión.



Figura 7. Cinta de goteo IsiplastTape (Irritec), con diseño de laberinto y flujo turbulento

3.2.4 Características del emisor P1

Del catálogo de productos Irritec V.09/2016 se obtiene las siguientes características:

- a) El gotero plano, de apenas 2 mm espesor soldado a la pared del tubo, elimina prácticamente todas las pérdidas de carga.
- b) El filtro en ingreso del laberinto, provisto de ocho agujeros de paso, excluye la posibilidad de obstrucciones.
- c) El laberinto de flujo turbulento con nuevo perfil para una elevada uniformidad de emisión, elimina la posibilidad de sedimentación incluso a bajas presiones de ejercicio.
- d) Posibilidad de realizar grandes longitudes de lateral.
- e) Elevada presentación de uniformidad incluso con fertirriego.
- f) El nuevo sistema con salida protegida “Flap” (**Figura 8**), sirve para la eliminación de problemas de succión de barro y tierra mientras reduce al mínimo la posibilidad de intrusión de raíces.

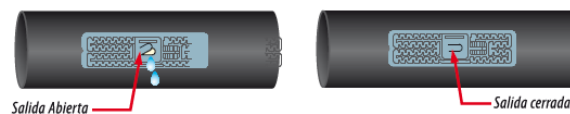


Figura 8. Sistema Flap de cinta P1 de irritec



Figura 9. Cinta de goteo P1 (Irritec), con diseño de laberinto y flujo turbulento

3.3 Método de siembra y variedad de cultivo

La siembra se hizo al voleo con esparcidora manual marca Kioritz modelo T-8G (**Figura 10**) de origen mexicana, con una densidad de siembra de 40 kg/ha. Se

utilizó semilla de alfalfa variedad San Miguelito, con pureza del 98 %, porcentaje de germinación del 90 % y peletizada al 50%.



Figura 10. Siembra al voleo con esparcidora manual Kioritz

Una vez terminado la aplicación de semilla con la espaciadora manual, se procede hacer un paso de rastra muy superficial a fin de tapar la semilla.

3.4 Riegos.

Se aplicaron tres riegos iniciales a capacidad de campo con aspersión móvil a fin de lograr la germinación y desarrollo de la raíz de la planta. Posteriormente se aplicaron riegos diarios, con lámina de aplicación de 100% de ETo, cuya determinación se realizó con base a la evaporación diaria tomada de un tanque evaporímetro tipo “A”. Los coeficientes (Kc) aplicados durante todo el ciclo de la alfalfa fueron: 0.4, 1.20, 1.15 para las etapas inicial, media y final respectivamente, considerando 5 días después del corte para etapa inicial, 20 para etapa media y 5 para etapa final. Las láminas y tiempos de riego para el sistema de SDI se obtuvo con la ecuación de (Boswell, 1990) modificada al sistema métrico decimal por (Montemayor et al., 2010) esta se expresa como: $Tr = [(S * Et) / (Q * Ea)]$ donde: Tr= tiempo de riego en h; S= separación de cintas en m; ETo= evapotranspiración del cultivo en m día-1; Q= gasto de la cinta por metro lineal en m³ h-1 y Ea= eficiencia de aplicación. El sistema opero durante 303 días, con un total de 760 horas acumuladas.

3.5 Lavado de laterales.

Para llevar a cabo el lavado se procedió de la siguiente manera: se operó el sistema a 1.2 bar de presión, y se abrieron las terminales de cinco laterales, dichas laterales se mantuvieron abiertas durante 10 minutos periodo en el cual se observaba agua limpia en cada salida, este procedimiento se repitió hasta completar las 80 laterales establecidas. El periodo de realización de esta operación fue después de cada corte de alfalfa cuyo tiempo transcurrido entre corte y corte fue de 36 días, se llevaron a cabo 7 cortes, por lo que es el número equivalente de lavados realizados.

3.6 Diseño del experimento y toma de datos.

El diseño experimental fue en bloques al azar, donde cada bloque consta de 5 laterales de 83 m de longitud de un mismo tipo de cinta, teniéndose así 4 repeticiones de cada bloque: dos de esas repeticiones a 20 cm de profundidad y dos a 35 cm (**Figura 11**). En la toma de datos se seleccionaron las laterales número 2 y 4 de cada bloque como lo muestra la (**Figura 11**), y de cada lateral se tomaron lecturas de gastos de 4 goteros en 5 puntos equidistantes de lateral haciendo un total de 20 goteros por lateral; las lecturas fueron tomadas por periodos de 10 minutos ,30 minutos después de iniciados los riegos a fin de que presurizara el sistema. Dichas lecturas se tomaron durante 12 diferentes riegos a 0.7 bar de presión.

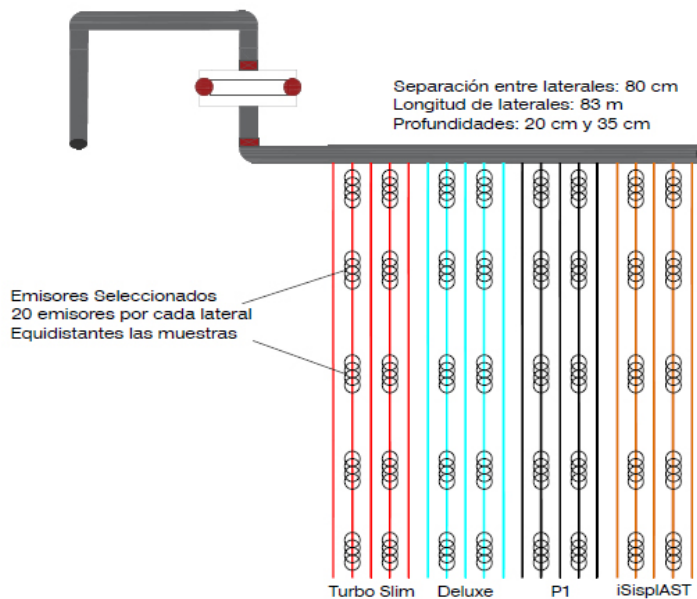


Figura 11. Diseño del experimento y puntos muestreados

Para llevar a cabo la determinación nuevamente de las variables evaluadas y determinación del porcentaje de taponamiento se llevó a cabo de la siguiente manera: de los puntos que ya habían sido ubicados previamente en la (**Figura 11**), se desenterraron 6 goteros para evaluar en el laboratorio los cuatro goteros centrales de cada lateral para la medición de los nuevos gastos y ver si existe variación con los gastos medidos inicialmente. Para verificar si presentaban diferencias significativas los gastos medidos respecto al nominal se aplicó la prueba de tukey al 95 % mediante el programa SAS 9.0, y de esta manera también corroborar la existencia de taponamiento.



Figura 12. Goteros a evaluar en laboratorio

4 RESULTADOS Y DISCUSION.

4.1 Ecuaciones de Q-H para cada emisor utilizado.

Una parte importante para el trabajo fue la determinación de las ecuaciones de gasto para cada emisor (**Cuadro 16**) donde “Q” es en litros por hora y “h” en bar, ya que en base a estas se estimarían las presiones de los caudales medidos en campo, se decidió hacer de esta manera ya que se intentó medir en campo, pero se observó que había fugas de presión lo cual traería consigo un error que repercutirá en el resultado final.

Cuadro 16. Ecuaciones de gasto para cada emisor

Emisor	Ecuación Q-H	R ²
Deluxe	$Q = 1.3328 H^{0.4449}$	0.9985
Turbo Slim	$Q = 1.2642 H^{0.4234}$	0.9982
P1	$Q = 1.2411 H^{0.4403}$	0.9978
IsiplastTape	$Q = 1.5223 H^{0.4372}$	0.9995

Como se muestra en el (**Cuadro 16**), se deduce del exponente x que los emisores utilizados son de flujo turbulento y del tipo de laberinto, con buena tolerancia a las variaciones de presión. Dichos modelos son representados gráficamente en la (**Figura 13**); en lo sucesivo cada tratamiento será identificado en base a su condición de uso y profundidad de colocación de la cinta de la siguiente manera: nuevo(N), profundidad de 20 cm (20) y profundidad de 35 cm (35), con el prefijo que corresponde a cada tipo de emisor Deluxe (TD), turbo slim (TTS), P1 (TP1) e Isisplatape como (TIS): en cada caso se utilizó la letra “T” haciendo alusión a la palabra tratamiento.

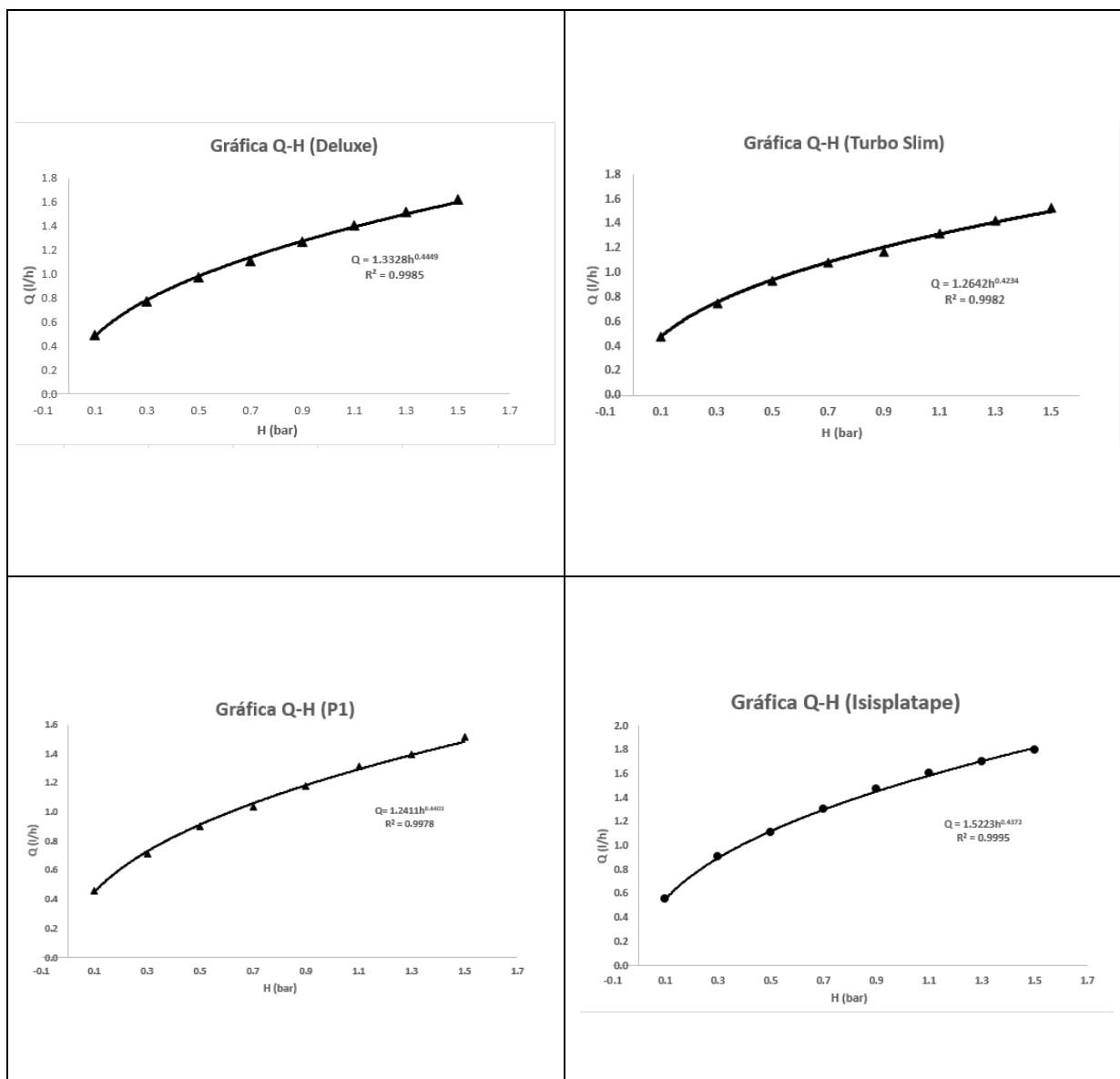


Figura 13. Modelos Q-H, para cada uno de los emisores utilizados

4.2 Evaluación del emisor Deluxe.

En el (Cuadro 17), se muestra los valores determinados para cada una de las variables a evaluar , así como clasificación según las tablas previamente especificadas en el documento.

Cuadro 17. Evaluación del Emisor Deluxe TD(N)

Metodología Tradicional			Metodología ASAE EP458		
<i>Parámetro</i>	<i>TD(N)</i>		<i>Parámetro</i>	<i>TD(N)</i>	
	<i>Valor</i>	<i>Clasificación</i>		<i>Valor</i>	<i>Clasificación</i>
Q_{med} (l/h)	1.1166	N/A	V_{qs}	0.028	Excelente
q_{var}	0.09	Deseable	U_s	97.10%	Excelente
C_{vf}	0.028	Excelente	V_{hs}	0.083	Excelente
C_u	97.89%	Excelente	V_{qh}	3.70%	Muy bien
C_{u25}	95.97%	Excelente	U_{sh}	96.31%	Excelente
GO	0.00%	N/A	V_{pf}	0.002	Excelente

En el (**Cuadro 17**) se observan la clasificación de los diferentes parámetros evaluados para TD(N) por ambas metodologías, para todos los parámetros evaluados se tiene una clasificación de excelente excepto para q_{var} que tiene clasificación deseable y v_{qh} con clasificación de muy bien. De lo anterior se puede concluir que la cinta presenta buen funcionamiento además de corroborar el correcto proceso industrial en la elaboración de la misma.

Cuadro 18. Evaluación del Emisor Deluxe TD(20)

Metodología Tradicional			Metodología ASAE EP458		
<i>Parámetro</i>	<i>TD(20)</i>		<i>Parámetro</i>	<i>TD(20)</i>	
	<i>Valor</i>	<i>Clasificación</i>		<i>Valor</i>	<i>Clasificación</i>
Q_{med} (l/h)	0.997	N/A	V_{qs}	0.145	Pobre
q_{var}	0.575	Inaceptable	U_s	85.49%	Muy bueno
C_{vf}	0.145	Pobre	V_{hs}	0.301	Pobre
C_u	88.26%	Bueno	V_{qh}	0.13%	Justo
C_{u25}	80.35%	Aceptable	U_{sh}	86.62%	Muy bueno
GO	10.69%	N/A	V_{pf}	0.056	Muy Bien

Cuadro 19. Evaluación del Emisor Deluxe TD(35)

Metodología Tradicional			Metodología ASAE EP458		
Parámetro	TD(35)		Parámetro	TD(35)	
	Valor	Clasificación		Valor	Clasificación
Q_{med} (l/h)	1.101	N/A	V_{qs}	0.031	Excelente
q_{var}	0.160	Aceptable	U_s	95.80%	Excelente
C_{vf}	0.042	Excelente	V_{hs}	0.094	Excelente
C_u	96.45%	Excelente	V_{qh}	0.04%	Bueno
C_{u25}	94.98%	Excelente	U_{sh}	95.83%	Excelente
GO	1.41%	N/A	V_{pf}	0.004	Excelente

Como era de esperarse conforme se usó la cinta dicha calidad disminuyó tal y como se observa en los siguientes dos tratamientos, para el caso TD(20) se observa del (**Cuadro 18**) los valores de la clasificación fueron disminuyendo de excelente, a muy bueno y para el caso de q_{var} y C_{vf} su clasificación resultó inaceptable y pobre respectivamente para q_{var} cuyo valor obtenido es de 1, no indica que la menos uno de los emisores presenta taponamiento total, esto hablando de la metodología tradicional, a pesar de estos valores, dos parámetros que juegan un valor importante es esta metodología son el C_{u25} y C_u los cuales tienen clasificación de aceptable y bueno respectivamente indicando aun no es necesario el remplazo del emisor, después del periodo de observación se tiene una reducción del 10.69 % respecto del gasto nominal. Continuando con el (**Cuadro 18**) para la metodología ASAE EP458 los valores de la clasificación de igual manera fueron disminuyendo de nivel de excelente a justo que este último sería el límite para un funcionamiento hidráulico adecuado; V_{hs} y V_{qh} presentan clasificación de pobre y justo respectivamente; sin embargo, para V_{pf} parámetro que determina según la metodología si es necesario llevar acciones correctivas como lo es el remplazo de emisores, o limpieza de los mismos de ser posible, se tiene un valor de 0.056 correspondiente a una clasificación de muy bien de tal manera que en base a la evaluación de la ASAE el emisor aun presenta buen funcionamiento y no es necesario llevar acciones de reemplazo del mismo. Continuando con el análisis en el (**Cuadro 19**) se muestra la clasificación de cada uno de los parámetros evaluados por ambas metodologías para TD(35) donde se observa solo variación en la clasificación de q_{var} de deseable

a aceptable y en V_{qh} de muy bien a bueno, los demás parámetros continúan aun con clasificación excelente; para el caso de la metodología tradicional Cu_{25} y Cu tienen valores de 94.98% y 96.45% respectivamente, valores que indican el buen funcionamiento del emisor aun ya que estos presentan clasificación de excelente, cabe mencionar que el emisor presenta una reducción del gasto de 1.41% respecto al gasto nominal. Para el caso de V_{pf} TD(35) con un valor de 0.004 se tiene una clasificación de excelente lo cual indica el buen funcionamiento aun del emisor.

Las rutas de flujo de los emisores son muy pequeñas y el rendimiento del emisor está fuertemente influenciado por la calidad y la coherencia con que se fabrica. Sin embargo, durante el proceso de uso de las cintas y sobre todo debido al taponamiento se produce la acumulación de partículas en los canales del emisor modificando las rutas de flujo original del agua afectando de manera directa al Cv_f de tal manera que para el caso del tratamiento TD(20) se tiene una clasificación pobre con valor de 0.145 muy cercana al límite de inaceptable que es del 0.15. En TD(35) se tienen una clasificación excelente ya que su valor es menor del 5% tal y como se muestra en el **(Cuadro 19)**.

Bralts (1986), sugirió hacer un análisis estadístico para evaluar el grado de deterioro de los de los emisores introduciendo el concepto de uniformidad estadística U_s incluyendo los diferentes factores que influyen en la variación de gasto del emisor. Clasificando los emisores utilizados en la presente investigación en las diversas situaciones tenemos lo siguiente: para TD(35) se tiene una clasificación de excelente ya que el valor es superior al 90 % tal y como lo muestra el **(Cuadro 19)**, sin embargo para TD(20) su clasificación es de muy bueno con un valor de 85.49%.

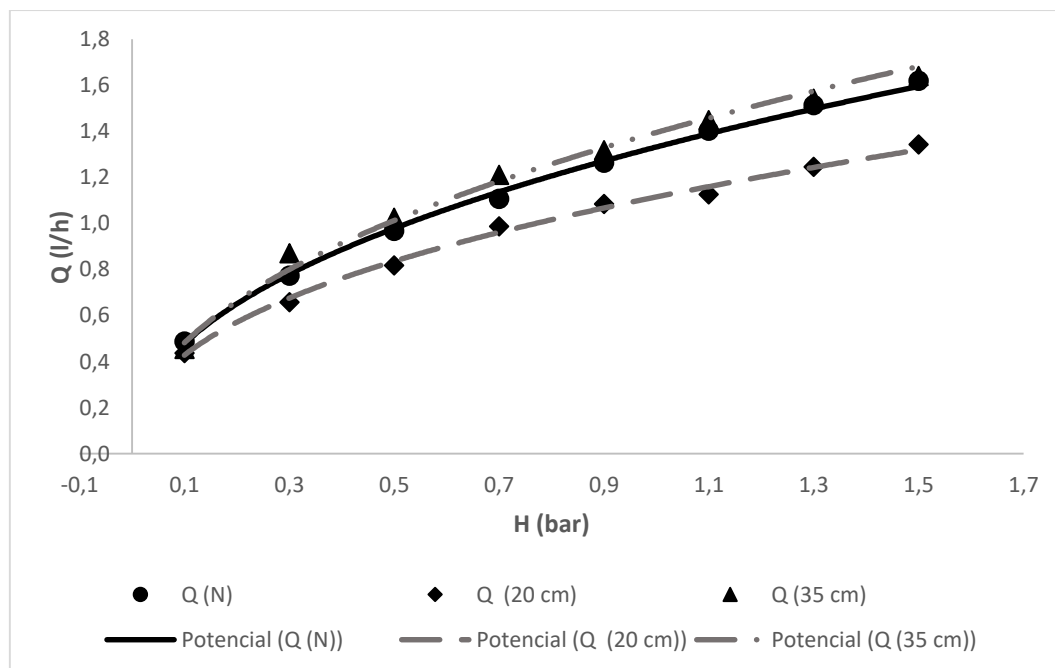


Figura 14. Comparación de las líneas de tendencia de las gráficas Q-H, para emisor en estado nuevo Q(N), para emisor a 20 cm de profundidad Q (20 cm), y para emisor a 35 cm de profundidad Q (35 cm) para el emisor Deluxe.

En base a la (**Figura 14**), de igual manera se observa que TD(20) presenta una disminución del gasto emitido en relación a TD(N) y TD(35). Se llevó a cabo un análisis de varianza para ver la existencia de diferencias significativas, para dicho análisis se tomaron los gastos medidos a 0.7 bar en una muestra de 20 emisores de cada repetición que en total eran 4 repeticiones, los valores se muestran en el (**Cuadro 20**) y se compararon contra los valores de q_{med} de TD(N). Para dicho análisis y tal y como se mencionó en la metodología afín de determinar donde existe disminución de gasto significativa se hizo con el software SAS 9.0 aplicando la prueba de Tukey con nivel de significancia del 5 %, en dicho análisis se eliminaron los valores que presentaban valores con disminución del gasto del 25% respecto al nominal, posteriormente se analizó sección por sección para observar cómo era el comportamiento y determinar si existía taponamiento y la ubicación. Como resultado de diseño análisis se observa que no hay diferencias significativas debido a la variabilidad existente. Tal y como se muestra en la (**Figura 15**), donde del emisor 1 al 20 corresponden a las muestras y se observa la variabilidad de gastos y desviaciones estándar que van de 103.17 a 262.17, a diferencia del emisor 21 que corresponde a los emisores nuevos con media de 1116.6 ml/h y con desviación

estándar de 41.29. Además es posible observar como las medias están por debajo del gasto nominal.

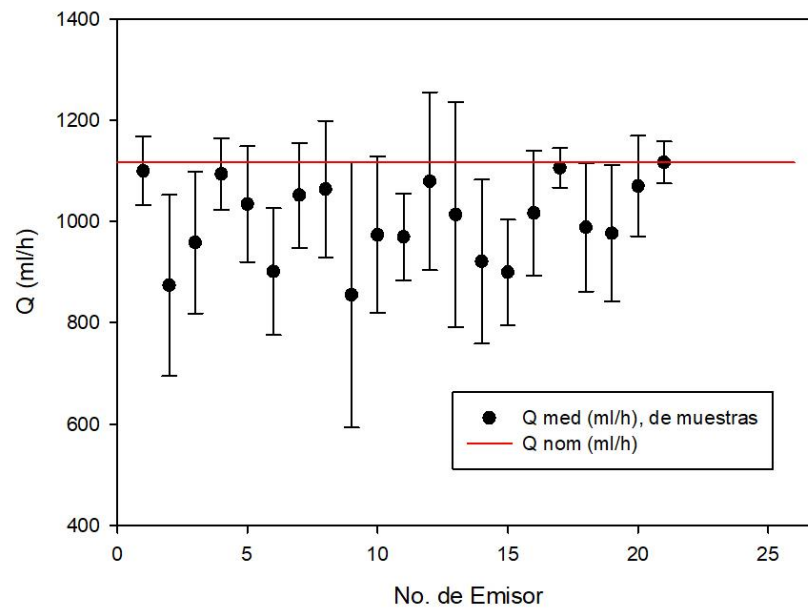


Figura 15. Gastos de las diferentes muestras (medias y desviación estándar), emisor Deluxe TD(20).

Cuadro 20. Gastos medidos para cada una de las repeticiones en TD(20), a 0.7 bar

No. Emisor	No. De Repetición Q (ml/h)				T(N) Q _{med} (ml/h)
	1	2	3	4	
1	1201	1066	1075	1056	1068
2	943	1092	765	696	1164
3	808	889	1009	1128	1068
4	1021	1064	1185	1104	1164
5	876	1026	1131	1104	1140
6	908	732	932	1032	1104
7	1058	1158	911	1080	1068
8	960	1199	1160	936	1068
9	907	1164	822	528	1068
10	743	1069	1049	1032	1164
11	1053	1024	865	936	1164
12	1241	835	1161	1080	1116
13	729	1122	1243	960	1056
14	1004	1083	710	888	1164
15	792	848	927	1032	1116
16	967	1166	877	1056	1104
17	1157	1114	1072	1080	1104
18	1067	800	1054	1032	1104
19	928	1145	825	1008	1164
20	1044	1038	1213	984	1164

Del (**Cuadro 20**), se observa como los emisores que presentan taponamiento parcial afectan a los demás incrementado el gasto nominal a un presión de operación 0.7 bar del resto de los emisores tal y como se observa en la repetición 1 donde hay valores de 1241 ml/h, repetición 2 de 1199 ml/h , repetición 3 de 1243 ml/ h y en la repetición 4 de 1128 ml/h, que son mayores al gasto nominal de 1116 ml/h, no se observan emisores con taponamiento total.

De acuerdo a ISO Standard (2003), la cual considera a un emisor obstruido cuando su flujo se ha disminuido en más de un 25 % respecto al flujo nominal, encontramos en el (**Cuadro 20**), los emisores con esta condición indicados en color amarillo los cuales como se ve tienen una distribución aleatoria y que representan un 15% del total de la muestra.

Los gastos medidos para el TD(35) a 0.7 bar de operación, se observan en el (Cuadro 21).

Cuadro 21. Gastos medidos para cada una de las repeticiones en TD(35), a 0.7 bar

No. Emisor	No. De Repetición Q (ml/h)				T(N) Q _{med} (ml/h)
	1	2	3	4	
1	1122	1148	1121	1104	1068
2	1067	1152	1144	1104	1164
3	1139	1159	1148	1152	1068
4	1074	1134	1149	1152	1164
5	1097	1049	1107	1176	1140
6	1138	1071	1091	1152	1104
7	1057	1098	1103	1104	1068
8	1144	1058	1058	1152	1068
9	1077	1041	1104	1152	1068
10	1023	1022	1044	1152	1164
11	1034	1078	1126	1176	1164
12	1042	1017	1097	1128	1116
13	1028	1148	1047	1152	1056
14	1106	1151	1085	1080	1164
15	1101	1100	1030	1056	1116
16	1029	1136	1043	1128	1104
17	1041	1085	1109	1200	1104
18	1166	1065	1134	1080	1104
19	1113	1075	1008	1080	1164
20	1078	1162	1066	1152	1164

Como se observa de acuerdo en el (Cuadro 21), y de acuerdo a la norma ISO Standard (2003), no se observan emisores con obstrucción en ninguna de las repeticiones.

Tal y como se muestra en la (Figura 16), donde del emisor 1 al 20 corresponden a las muestras, observándose poca variabilidad de los gastos con desviación estándar que va de 8.34 a 67.03 ml/h con respecto al emisor nuevo. Para el caso del emisor 21 que corresponde a los emisores nuevos presentan una desviación estándar de 41.29 ml/h., lo cual hace que el coeficiente de uniformidad se mantenga en una clasificación de muy bueno a excelentes.

De acuerdo con la clasificación detallada realizada por Wu (2006) y Pei et al. (2014), consideran la determinación del taponamiento a lo largo de la lateral y no puntual, de tal manera que mediante el cálculo de Dra hacen la siguiente clasificación: si $Dra \geq 95 \%$ no existe obstrucción; $80\% < Dra < 95 \%$ existe obstrucción ligera; $50\% < Dra < 80 \%$ medianamente obstruido; $20\% < Dra < 50 \%$ gravemente obstruido y $Dra < 20 \%$ completamente obstruido; de tal manera que para el caso de TD(20) el valor es de 85.78% y en base a esta clasificación existe una obstrucción ligera y para el TD(35) no existe obstrucción.

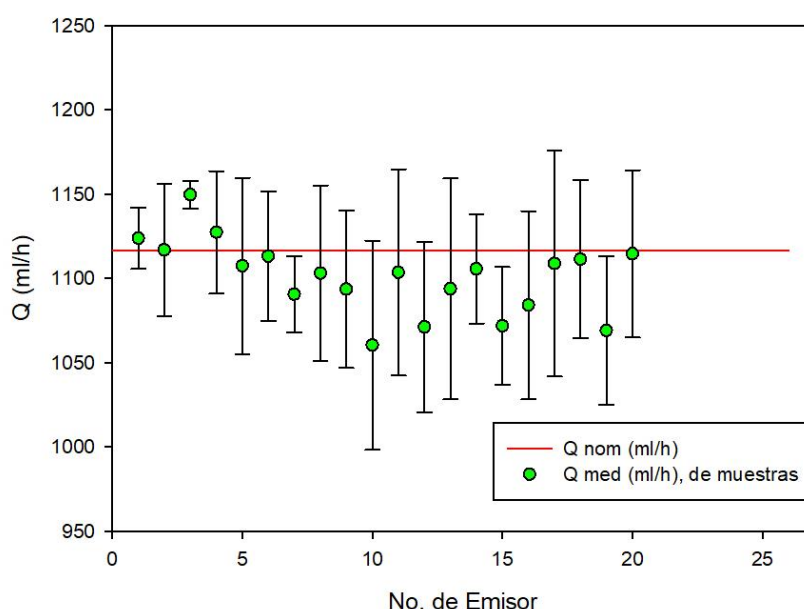


Figura 16. Gastos de las diferentes muestras (medias y desviación estándar), emisor Deluxe TD(35).

De manera similar comparando las medias generales de cada tratamiento para TD(N), TD(20) y TD(35) se tienen valores de 1116.6 ml/h, 997.23 ml/h y 1110.88 ml/h respectivamente, observando que se observa mayor disminución en TD(20) con diferencia de 119.36 ml/h con respecto a TD(N), en relación a la diferencia de 15.71 ml/h para TD(35).

En base a la evaluación del (**Cuadro 17, Cuadro 18 y Cuadro 19**) y del análisis previamente hecho, además de considerar los coeficientes de uniformidad por su importancia en la distribución uniforme del agua; donde para TD(20) se tienen valores de Cu de 88.25 % y de Cu_{25} de 80.35% y para TD(35) Cu de 96.44 % y de

Cu_{25} de 94.98%; además de que los valores presentados para V_{pf} son TD(20) 0.056 y TD(35) 0.004 se concluye que el mejor tratamiento en este mismo tipo de cinta es el TD(35), tal y como se puede observar en la **Figura 17** donde se muestran las medias y desviaciones estándar de cada uno de los tratamientos. Uno de los factores que influyeron para que el taponamiento fuera menor o nulo es que se observó que el paso de maquinaria para realizar el corte y empacado de la alfalfa, genera cierto grado de compactación y después de cada paso de maquinaria dicha compactación era reflejada en fugas que aparecían por la opresión de la lateral al generar roce con el suelo o por la raíz de la planta, de tal manera que durante el proceso de reparación de las mismas el agua que había sido filtrada previamente se contaminaba de nuevo sobre todo con partículas de suelo.

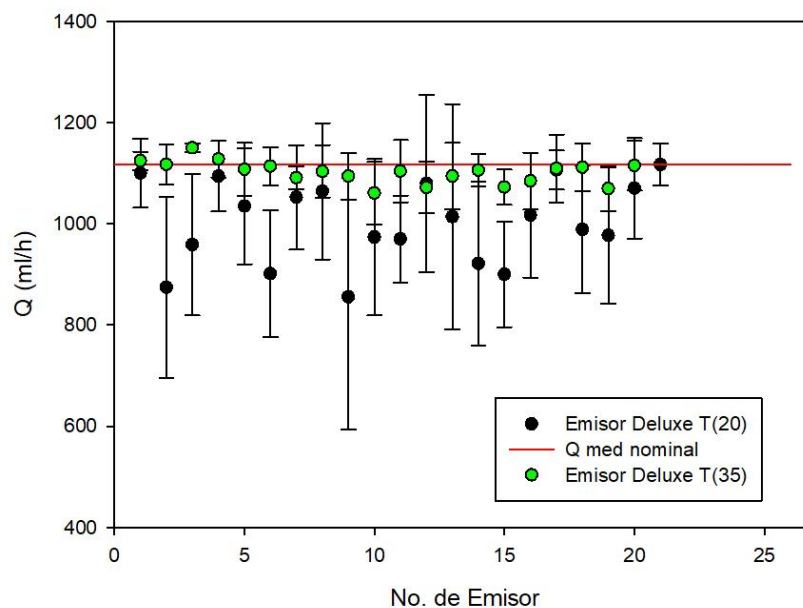


Figura 17. Comparativa de Gastos y desviación estándar de emisor Deluxe TD(20) y TD(35).

4.3 Evaluación del emisor Turbo Slim.

Cuadro 22. Evaluación del emisor Turbo Slim TTS(N)

Metodología Tradicional			Metodología ASAE EP458		
Parámetro	TTS(N)		Parámetro	TTS(N)	
	Valor	Clasificación		Valor	Clasificación
Q_{med} (l/h)	1.093	N/A	V_{qs}	0.0109	Excelente
q_{var}	0.032	Deseable	U_s	98.90%	Excelente
C_{vf}	0.0107	Excelente	V_{hs}	0.058	Excelente
C_u	99.05%	Excelente	V_{qh}	0.025%	Excelente
C_{u25}	98.95%	Excelente	U_{sh}	97.53%	Excelente
GO	0.00%	N/A	V_{pf}	0.008	Excelente

En el (**Cuadro 22**) se observan la clasificación de los diferentes parámetros evaluados para TD(N) por ambas metodologías, para todos los parámetros evaluados se tiene una clasificación de excelente excepto para q_{var} que tiene clasificación deseable. De lo anterior se puede concluir que la cinta presenta buen funcionamiento además de corroborar el correcto proceso industrial en la elaboración de la misma, además de cumplir por ambas metodologías para su uso en campo

Cuadro 23. Evaluación del emisor Turbo Slim TTS(20)

Metodología Tradicional			Metodología ASAE EP458		
Parámetro	TTS(20)		Parámetro	TTS(20)	
	Valor	Clasificación		Valor	Clasificación
Q_{med} (l/h)	1.053	N/A	V_{qs}	0.090	Pobre
q_{var}	1.000	Inaceptable	U_s	85.48%	Muy bueno
C_{vf}	0.285	Inaceptable	V_{hs}	0.391	Pobre
C_u	80.97%	Bueno	V_{qh}	0.17%	Pobre
C_{u25}	63.65%	Inaceptable	U_{sh}	83.44%	Muy bueno
GO	3.73%	N/A	V_{pf}	0.231	Inaceptable

Cuadro 24. Evaluación del emisor Turbo Slim TTS(35)

Metodología Tradicional			Metodología ASAE EP458		
Parámetro	TTS(35)		Parámetro	TTS(35)	
	Valor	Clasificación		Valor	Clasificación
Q_{med} (l/h)	1.041	N/A	V_{qs}	0.219	Pobre
q_{var}	1.000	Inaceptable	U_s	78.14%	Justo
C_{vf}	0.219	Inaceptable	V_{hs}	0.312	Pobre
C_u	85.70%	Bueno	V_{qh}	0.13%	Pobre
C_{u25}	72.90%	Pobre	U_{sh}	86.78%	Muy bueno
GO	4.85%	N/A	V_{pf}	0.174	Pobre

Como era de esperarse conforme se usó la cinta dicha calidad disminuyo tal y como se observa en los siguientes dos tratamientos, para el caso TTS(20) se observa del (**Cuadro 23**) los valores de la clasificación fueron disminuyendo de excelente ,a muy bueno y pobre; para el caso de q_{var} y C_{vf} su clasificación resulto inaceptable , esto hablando de la metodología tradicional, por otro lado los valores de el C_{u25} y C_u con clasificación de inaceptable indicando que es necesario el remplazo del emisor al presentar tres de los cuatro parámetros evaluados en clasificación inaceptable, después del periodo de observación se tiene una reducción del 3.73 % respecto del gasto nominal. Continuando con el (**Cuadro 23**) para la metodología ASAE EP458 los valores de la clasificación de igual manera fueron disminuyendo de nivel de excelente, justo y pobre que este último seria el límite para un funcionamiento hidráulico adecuado; presentando cuatro de los seis parámetros clasificación de pobre, para V_{pf} se tiene un valor de 0.231 correspondiente a una clasificación de inaceptable al ser mayor al valor máximo permisible de 0.20, indicando este factor el reemplazo de los emisores; concluyendo que el emisor debe ser limpiado o reemplazado. En el (**Cuadro 24**) se muestra la clasificación de cada uno de los parámetros evaluados por ambas metodologías para TD(35) donde se observa para q_{var} y C_{vf} clasificación de inaceptable indicando para el caso q_{var} que al menos uno de los emisores presenta taponamiento total; por otro lado para C_{u25} y C_u con valores de 72.90% y 85.70 % presentan clasificación de pobre y bueno respectivamente, indicándonos que el emisor muy pronto debe reemplazarse según la metodología tradicional; además, se observa una reducción del 4.85 % con respecto al gasto nominal. Para el caso de la metodología ASAE EP458 como ya

menciono anteriormente el valor de V_{pf} es el indicador de si debe o no reemplazarse el emisor presenta un valor de 0.174 con clasificación pobre, lo que indica que el emisor se encuentra en los límites permisibles de operación y muy pronto deberá ser reemplazado.

De la **(Figura 18)**, en la cual se representan las líneas de tendencia Q-H para cada uno de los tratamientos , se observa gran similitud; sin embargo, haciendo un análisis de los datos que dieron origen a dichos modelos podemos concluir que los modelos para los tratamientos TTS(20) y TTS(35), no reflejan el taponamiento existente, pero son modelos muy semejantes ya que los emisores que no presentaron obstrucción su gasto medido fue superior al nominal compensado el taponamiento presente.

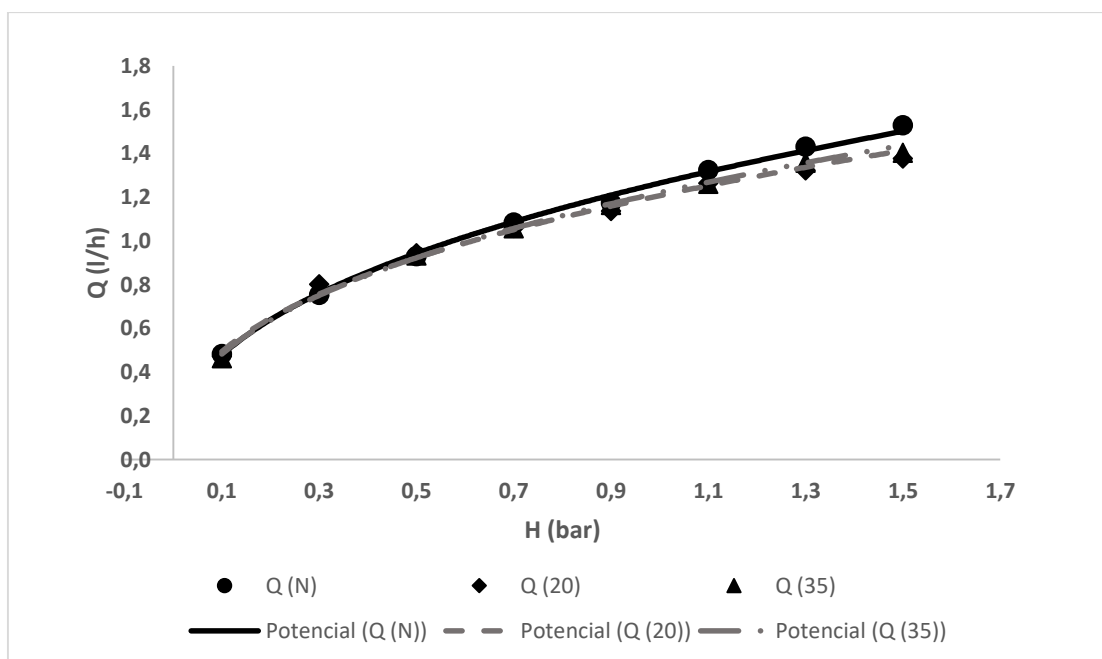


Figura 18. Comparación de las líneas de tendencia de las gráficas Q-H, para emisor en estado nuevo Q(N), para emisor a 20 cm de profundidad Q (20 cm), y para emisor a 35 cm de profundidad Q (35 cm) para el emisor Turbo Slim.

Cuadro 25. Gastos medidos para cada una de las repeticiones en TTS(20), a 0.7 bar

No. Emisor	No. De Repetición Q (ml/h)				T(N) Q _{med} (ml/h)
	1	2	3	4	
1	988	1026	959	1152	1080
2	1158	1160	1080	0	1068
3	1103	1117	1067	1152	1080
4	1133	1138	0	1152	1104
5	1178	1148	1122	1152	1068
6	1243	1240	1171	1008	1152
7	1296	1268	1242	1344	1068
8	1129	0	1142	1200	1104
9	0	1162	1147	1200	1116
10	1297	1292	1262	768	1032
11	934	758	740	1200	1080
12	1308	1297	1266	1152	1068
13	1187	1240	1207	1128	1104
14	1233	1255	1222	432	1128
15	970	922	890	1200	1140
16	580	720	720	1200	1116
17	1180	1150	1080	1152	1092
18	1322	1331	1374	1176	1104
19	988	925	981	1224	1092
20	950	1040	1010	1200	1080

Del (Cuadro 25), podemos encontrar en color amarillo los goteros obstruidos en su totalidad que representan el 5% de la muestra total y que corresponden a cuatro en su totalidad, ubicados en la primera mitad de cada repetición y a la vez uno por repetición, así como también encontramos la ubicación de los emisores que según la norma ISO Standard (2003) son considerados como obstruidos, estos indicados en color verde y que representan el 8.75% de la muestra que corresponde a 7 emisores. Para el análisis estadístico afín de determinar donde existe disminución de gasto significativa se hizo con el software SAS 9.0 aplicando la prueba de Tukey con nivel de significancia del 5 %, en dicho análisis se eliminaron los valores que presentaban valores con disminución del gasto del 25% respecto al nominal, posteriormente se analizó sección por sección para observar cómo era el

comportamiento y determinar si existía taponamiento y la ubicación. Como resultado de diseño análisis se observa que no hay diferencias significativas una vez eliminados los datos extremos. Tal y como se muestra en la **(Figura 19)**, donde del emisor 1 al 20 corresponden a las muestras y se observa la variabilidad de gastos y desviaciones estándar lo que hizo indispensable al momento del análisis la eliminación de esos valores extremos, en la posición 21 se encuentra la media y desviación estándar del emisor que corresponde a los emisores nuevos con media de 1093.8 ml/h y con desviación estándar de 28.41.

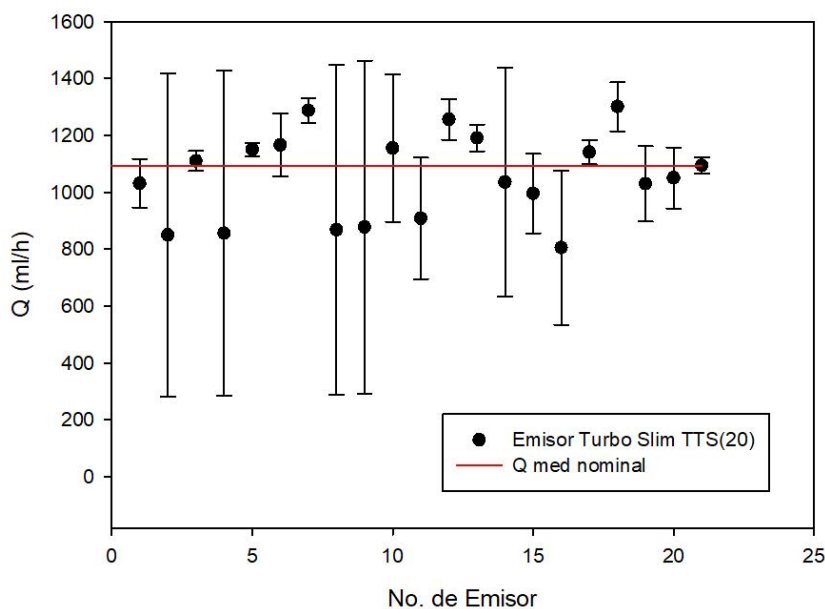


Figura 19. Gastos de las diferentes muestras (medias y desviación estándar), emisor Turbo Slim TTS(20).

Cuadro 26. Gastos medidos para cada una de las repeticiones en TTS(35), a 0.7 bar

No. Emisor	No. De Repetición Q (ml/h)				T(N) Q _{med} (ml/h)
	1	2	3	4	
1	1120	1108	1128	1140	1080
2	940	1108	980	1160	1068
3	1040	885	1012	1160	1080
4	632	722	760	440	1104
5	1040	1118	1148	1160	1068
6	655	1140	1135	1180	1152
7	1120	1140	1136	1140	1068
8	1128	940	0	1140	1104
9	1130	1118	1140	0	1116
10	1148	1120	1140	1120	1032
11	1057	1180	1025	1180	1080
12	1140	1140	1076	1140	1068
13	655	851	1136	1180	1104
14	1190	1169	840	1160	1128
15	1148	1108	1148	1140	1140
16	1098	1176	1140	1140	1116
17	1130	1170	1130	1160	1092
18	1189	725	1140	1140	1104
19	880	1120	1160	1140	1092
20	1190	1180	880	1140	1080

De acuerdo con el **(Cuadro 26)**, podemos encontrar en color amarillo los goteros obstruidos en su totalidad que representan el 2.5 % de la muestra que corresponde a dos goteros, ubicados en la primera mitad de cada repetición 3 y 4, así como también encontramos la ubicación de los emisores que según la norma ISO Standard (2003) son considerados como obstruidos que representan el 8.75 % de la muestra , estos indicados en color verde. Aplicando Tukey eliminando los goteros obstruidos, así como los que presentan un gasto superior al nominal, no se encontraron diferencias significativas con un nivel de significancia del 95%. En la **(Figura 20)**, se aprecia la variabilidad que algunos emisores tienen sobre todos los ubicados en la posición 4, 8 y 9, de igual manera el emisor de la posición 21 corresponde al gasto nominal de fábrica con media de 1093.8 y desviación estándar de 28.41

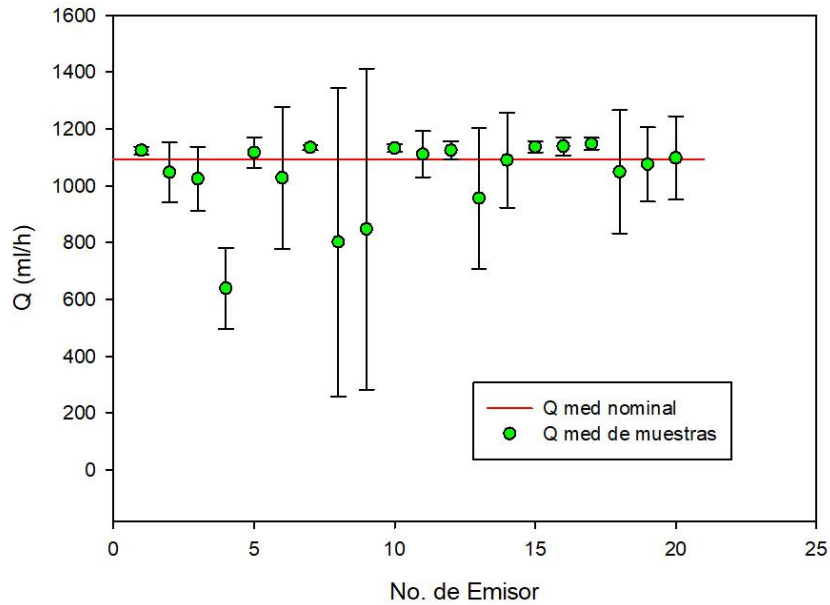


Figura 20. Gastos de las diferentes muestras (medias y desviación estándar), emisor Turbo Slim TTS(35).

Ahora de acuerdo con la clasificación detallada realizada por Wu (2006) y Pei et al. (2014), de tal manera que mediante el cálculo de Dra se tiene que para el caso de TTS(20) el valor es de 96.26% y en base a esta clasificación no existe una obstrucción y para el TTS(35) con valor de 95.15% tampoco existe obstrucción a lo largo de la lateral.

Haciendo un comparación de las medias grupales de TTS(N), TTS(20) y TTS(35), tenemos 1093.8, 1053 y 1040.78 ml/h respectivamente, donde podemos observar que con estas condiciones de obstrucción total y parcial ya mostradas y debido a que el emisor es no auto compensado los emisores no obstruidos incrementaron su gasto debido a que un taponamiento indica una pérdida de presión menor a que si no lo hubiera, tal y como se observan las medias a pesar de existir goteros obstruidos en su totalidad son similares.

Analizando los coeficientes de uniformidad tenemos para TTS(N), TTS(20) y TTS(35), Cu de 99.05 % , 80.97% y 85.70% respectivamente y de Cu_{25} de 98.95%, 63.64% y 72.90%, aquí se puede apreciar el efecto del taponamiento

existente repercutiendo en la uniformidad de riego donde para TTS(20) presenta las peores condiciones, en relación al testigo y TTS(35); que de acuerdo a la metodología de la ASAE EP 458 para TTS(20) es necesario el remplazo del emisor. En la (**Figura 21**), se observa el comportamiento de las medias de cada uno de los tratamientos, en relación al gasto nominal así como las desviaciones estándar donde para TTS(35) en 16 emisores se observan diferencias de -69.55 a 53.7 ml/h, en el resto de los emisores (4,8,9 y 13) presenta un flujo menor respecto al nominal que llega hacer hasta 455.3 ml/h menos; de la misma figura para el TTS(20), se tienen 11 emisores con variación de gasto de -98.3 a 96.7 ml/h (1,3,5,6,10,13,14,15,17,19,20), en el resto de los emisores presenta variación de -216.55 a 206.95 ml/h.

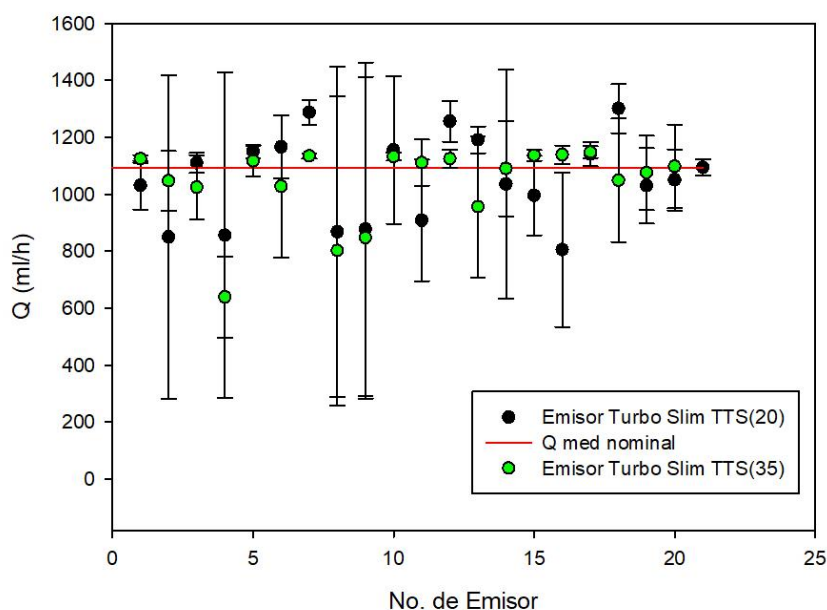


Figura 21. Comparativa de Gastos y desviación estándar de emisor Turbo Slim TTS(20) y TTS(35).

Al igual que en el emisor Deluxe el fenómeno de la compactación influyo en el funcionamiento de los emisores, además en este tipo de emisor por su característica de pastilla insertada en la cinta produjo daños en los bordes de la misma, daño que produjo una pequeña fuga en el laberinto del emisor o en su defecto que el emisor no realizara su función tal como es de gota a gota y se convirtiera en un chorro.

Aunque en ambas condiciones los coeficientes de uniformidad no son de clasificación aceptable se observa que en TTS(35), se encuentran mejores condiciones de operación, por lo que sería recomendable en futuros trabajos ver su comportamiento sin paso de maquinaria y a mayor profundidad.

4.4 Evaluación del emisor P1.

Cuadro 27. Evaluación del Emisor P1 TP1(N)

Metodología Tradicional			Metodología ASAE EP458		
Parámetro	TP1(N)		Parámetro	TP1(N)	
	Valor	Clasificación		Valor	Clasificación
Q_{med} (l/h)	1.038	N/A	V_{qs}	0.0109	Excelente
q_{var}	0.078	Deseable	U_s	0.99%	Excelente
C_{vf}	0.021	Excelente	V_{hs}	0.036	Excelente
C_u	98.24%	Excelente	V_{qh}	0.016%	Excelente
C_{u25}	97.27%	Excelente	U_{sh}	98.41%	Excelente
GO	0.00%	N/A	V_{pf}	0.003	Excelente

En el (**Cuadro 27**) se observan la clasificación de los diferentes parámetros evaluados para TP1(N) por ambas metodologías, para todos los parámetros evaluados se tiene una clasificación de excelente excepto para q_{var} que tiene clasificación deseable que en la clasificación es el máximo valor alcanzable. De lo anterior se puede concluir que la cinta presenta buen funcionamiento además de corroborar el correcto proceso industrial en la elaboración de la misma.

Cuadro 28. Evaluación del emisor P1 TP1(20)

Metodología Tradicional			Metodología ASAE EP458		
Parámetro	TP1(20)		Parámetro	TP1(20)	
	Valor	Clasificación		Valor	Clasificación
Q_{med} (l/h)	0.955	N/A	V_{qs}	0.339	Inaceptable
q_{var}	1.000	Inaceptable	U_s	66.14%	Pobre
C_{vf}	0.339	Inaceptable	V_{hs}	0.467	Inaceptable
C_u	75.46%	Pobre	V_{qh}	0.21%	Inaceptable
C_{u25}	51.84%	Inaceptable	U_{sh}	79.42%	Justo
GO	8.07%	N/A	V_{pf}	0.269	Inaceptable

Cuadro 29. Evaluación del emisor P1 TP1(35)

Metodología Tradicional			Metodología ASAE EP458		
Parámetro	TP1(35)		Parámetro	TP1(35)	
	Valor	Clasificación		Valor	Clasificación
Q_{med} (l/h)	1.053	N/A	V_{qs}	0.066	Bueno
q_{var}	0.286	Inaceptable	U_s	93.44%	Excelente
C_{vf}	0.066	Bueno	V_{hs}	0.146	Muy bien
C_u	95.02%	Excelente	V_{qh}	0.06%	Bueno
C_{u25}	91.59%	Bueno	U_{sh}	93.58%	Excelente
GO	-1.37%	N/A	V_{pf}	0.013	Muy bien

Conforme se usó la cinta la calidad disminuyó tal y como se observa en los siguientes dos tratamientos, para el caso TP1(20) se observa del (**Cuadro 28**) los valores de la clasificación fueron disminuyendo de excelente ,pobre hasta inaceptable. El valor de 1 en q_{var} nos indica que al menos un emisor tiene taponamiento total; el C_u con valor de 75.46% le corresponde una clasificación pobre, como tres de los cuatro parámetros presenta clasificación inaceptable uno de ellos el C_{u25} es necesario ya reemplazar el emisor según la metodología tradicional. Continuando con el (**Cuadro 28**) para la metodología ASAE EP458 los valores de la clasificación de igual manera fueron disminuyendo de nivel de excelente a inaceptable; V_{qs}, V_{hs}, V_{qh} y V_{pf} presentan clasificación de inaceptable;

para el caso de V_{pf} con valor de 0.269 nos indica que es necesario llevar acciones de reemplazo en el emisor. En el **(Cuadro 29)** se muestra la clasificación de cada uno de los parámetros evaluados por ambas metodologías para TP1(35) donde se observa variación en la clasificación de q_{var} de deseable a inaceptable con valor de 0.286 lo que nos indica la existencia de taponamiento parcial; Cu_{25} y Cu con clasificación de bueno y excelente respectivamente nos indican que el emisor a esta profundidad según la metodología tradicional continua con funcionamiento adecuado. Para el caso de ASAE EP458 en los parámetros evaluados con clasificación aceptable; para el caso de V_{pf} con valor de 0.013 se tiene una clasificación de muy bien, lo cual nos indica que el emisor aún tiene correcto funcionamiento.

Cuadro 30. Gastos medidos para cada una de las repeticiones en TP1(20), a 0.7 bar

No. Emisor	No. De Repetición Q (ml/h)				T(N) Q_{med} (ml/h)
	1	2	3	4	
1	1038	1200	1080	1104	1068
2	1070	980	1032	432	1032
3	1080	740	469	1128	1032
4	940	1036	464	1176	1044
5	1080	1140	1022	1176	1044
6	1038	1240	1089	1152	1044
7	1038	1240	1089	1152	1044
8	0	1054	1022	1392	1032
9	1070	0	1089	1152	1056
10	1070	1275	1032	1152	1020
11	1150	1036	1022	1152	1020
12	1150	1054	578	1080	1032
13	1150	1140	1032	1080	1056
14	456	1382	1022	0	1008
15	718	1054	1080	1152	1056
16	1002	1140	586	1104	1032
17	1206	1054	1089	912	1056
18	628	0	1089	1104	1056
19	478	1140	642	1104	1008
20	1080	725	1080	0	1032

Del **Cuadro 30**, podemos encontrar en color amarillo los emisores con taponamiento al 100 % los cuales son 5 distribuidos al azar que representan el 6.25 % de la muestra, así como también encontramos la ubicación de los emisores que según la norma ISO Standard (2003) son considerados como obstruidos, estos indicados en color verde los cuales son 12 de igual manera distribuidos al azar y que representan el 15 % de la muestra. Para el análisis estadístico afín de determinar donde existe disminución de gasto significativa se hizo con el software SAS 9.0 aplicando la prueba de Tukey con nivel de significancia del 5 %, en dicho análisis se eliminaron los valores que presentaban valores con disminución del gasto del 25% respecto al nominal, posteriormente se analizó sección por sección para observar cómo era el comportamiento y determinar si existía taponamiento y la ubicación, como resultado del análisis se tiene que no hay diferencias significativas. Como se aprecia en la (**Figura 22**), la variabilidad en los gastos registrados es grande: de acuerdo a esta figura en 12 posiciones de las 20 tomadas como muestra, la media del gasto es menor al nominal; las muestras presentan medias con rango de valores de 705.25 a 1132.25 ml/h con desviaciones estándar en un rango de 73.46 a 535.408, en comparación con TP1(N) que presenta media de 1038.6 y desviación de 16.73; de acuerdo a estos valores se afirma lo ya encontrado en las metodologías tradicional

y ASAE EP458 y sobre la mala uniformidad que ya presentaba el emisor a esta profundidad.

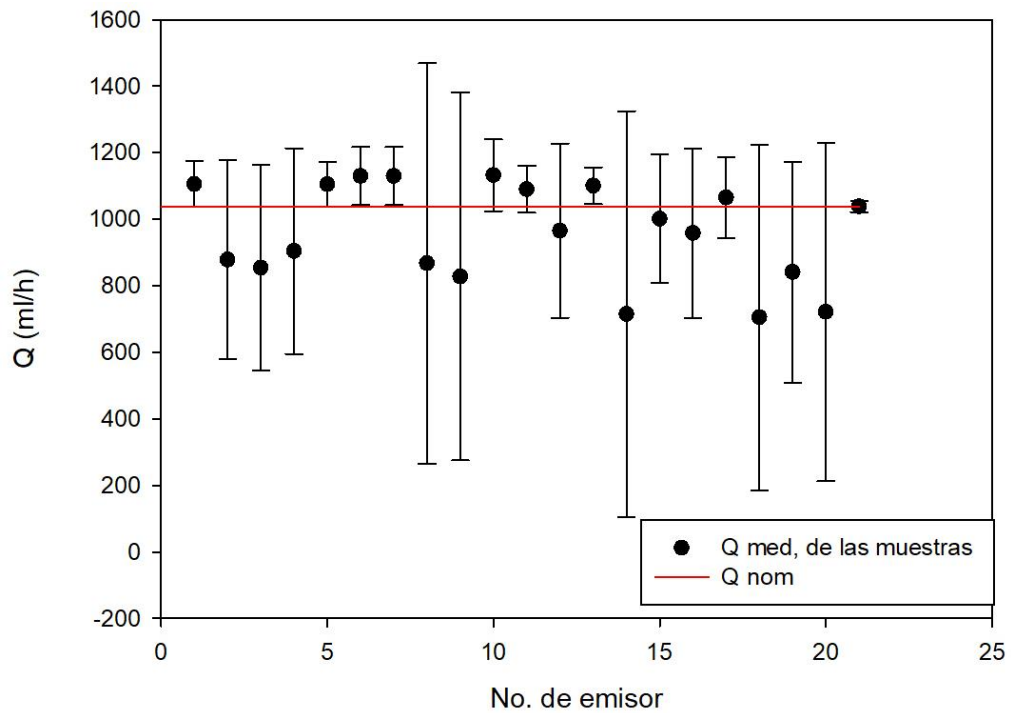


Figura 22. Gastos de las diferentes muestras (medias y desviación estándar), emisor P1 TP1(20).

Cuadro 31. Gastos medidos para cada una de las repeticiones en TP1(35), a 0.7 bar

No. Emisor	No. De Repetición Q (ml/h)				T(N) Q _{med} (ml/h)
	1	2	3	4	
1	1084	1056	1034	1080	1068
2	982	971	1016	1200	1032
3	940	1068	1044	1080	1032
4	1048	1012	1198	984	1044
5	1064	972	968	1056	1044
6	1140	980	968	1104	1044
7	1161	1012	1034	1056	1044
8	1048	971	857	1080	1032
9	1064	934	1084	960	1056
10	1110	1036	1072	1104	1020
11	880	1036	1072	1128	1020
12	1130	1094	1010	1104	1032
13	1078	1146	1016	984	1056
14	1016	1102	1044	1104	1008
15	1036	1188	998	1080	1056
16	1016	1082	1016	864	1032
17	1084	1068	1072	1080	1056
18	1130	1094	1110	1032	1056
19	1036	1056	1128	1056	1008
20	1078	1114	1180	1056	1032

En el (**cuadro 31**) a diferencia del tratamiento TP1(20), no se observan emisores obstruidos de ninguna índole, es decir con taponamiento parcial (el parcial definido según la norma ISO Standard (2003)) o total. A pesar de presentar similitud en los valores, observando la (**Figura 23**) podemos observar que presentan una varianza grande en relación al TP1(N) este último representado en la posición 21 de la figura, de igual manera se puede apreciar que 14 de los 20 emisores presentan medias mayores al gasto nominal; las muestras presentan medias de 989 a 1107 ml/h con

desviaciones estándar en un rango de 7.302 a 106.896, en comparación con TP1(N) que presenta media de 1038.6 y desviación de 16.73.

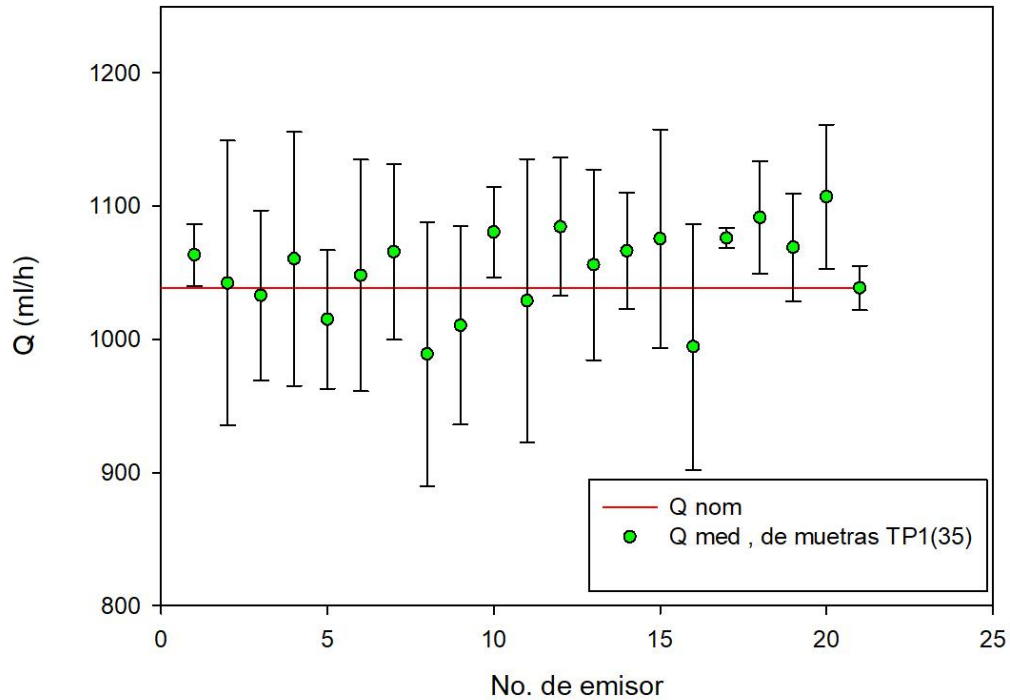


Figura 23. Gastos de las diferentes muestras (medias y desviación estándar), emisor P1 TP1(35).

Ahora de acuerdo con la clasificación detallada realizada por Wu (2006) y Pei et al. (2014), de tal manera que mediante el cálculo de Dra se tiene que para el caso de TP1(20) el valor es de 91.93% y en base a esta clasificación existe obstrucción ligera y para el TP1(35) con valor de 100% no existe obstrucción a lo largo de la lateral.

Haciendo una comparación de las medias grupales de TP1(N), TP1(20) y TP1(35), tenemos 1038.6, 954.8 y 1052.87 ml/h respectivamente, donde podemos observar que TP1(20) a pesar de los grados de obstrucción que ya se mostraron presenta una media general similar a la de las otras dos condiciones.

Por ultimo analizando los coeficientes de uniformidad tenemos para TP1(N), TP1(20) y TP1(35), Cu de 98.24 % , 75.45% y 95.02% respectivamente y de Cu_{25}

de 97.27%, 51.84% y 91.59%, aquí se puede apreciar el efecto del taponamiento existente repercutiendo en la uniformidad de riego donde para TP1(20) presenta las peores condiciones, en relación al testigo y TP1(35).

Observando la **Figura 24**, se aprecia la gran variabilidad que existe en TP1(20) en relación al TP1(35), además que es posible observar mayor uniformidad del TP1(35) respecto al gasto nominal, de tal manera que relacionando lo observado en esta figura y la (**Figura 23**), nos dan las herramientas suficientes para concluir que TP1(20) al final del experimento ya no estaba cumpliendo con el objetivo del riego uniforme.

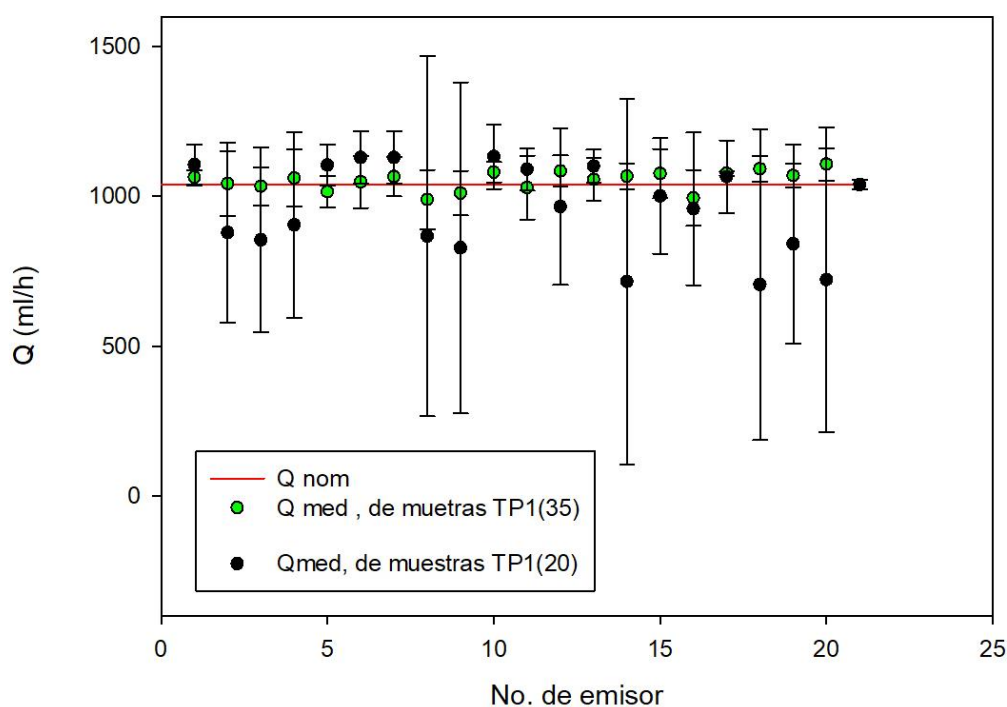


Figura 24. Comparativa de Gastos y desviación estándar de emisor P1 TP1(20) y TP1(35).

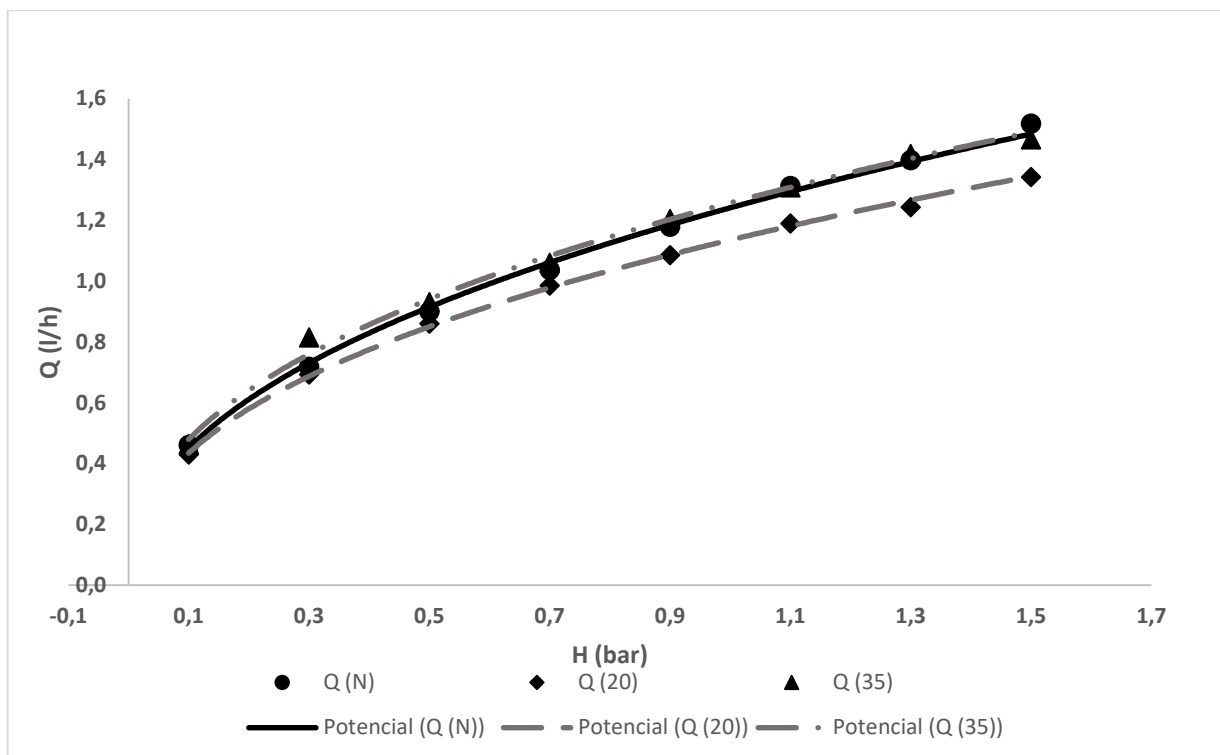


Figura 25. Comparación de las líneas de tendencia de las gráficas Q-H, para emisor en estado nuevo Q(N), para emisor a 20 cm de profundidad Q (20 cm), y para emisor a 35 cm de profundidad Q (35 cm) para el emisor P1.

4.5 Evaluación del emisor IsiplastTape.

Cuadro 32. Evaluación del emisor IsiplastTape TIS(N)

Metodología Tradicional			Metodología ASAE EP458		
Parámetro	TIS(N)		Parámetro	TIS(N)	
	Valor	Clasificación		Valor	Clasificación
Q_{med} (l/h)	1.3098	N/A	V_{qs}	0.027	Excelente
q_{var}	0.086	Deseable	U_s	97.22%	Excelente
C_{vf}	0.027	Excelente	V_{hs}	0.036	Excelente
C_u	97.58%	Excelente	V_{qh}	0.016%	Excelente
C_{u25}	96.49%	Excelente	U_{sh}	98.42%	Excelente
GO	0.00%	N/A	V_{pf}	0.029	Excelente

Cuadro 33. Evaluación del emisor IsiplastTape TIS(20)

Metodología Tradicional			Metodología ASAE EP458		
Parámetro	TIS(20)		Parámetro	TIS(20)	
	Valor	Clasificación		Valor	Clasificación
Q_{med} (l/h)	0.803	N/A	V_{qs}	0.668	Inaceptable
q_{var}	1.000	Inaceptable	U_s	33.20%	Inaceptable
C_{vf}	0.668	Inaceptable	V_{hs}	0.809	Inaceptable
C_u	39.85%	Inaceptable	V_{qh}	0.35%	Inaceptable
C_{u25}	3.08%	Inaceptable	U_{sh}	64.63%	Pobre
GO	38.69%	N/A	V_{pf}	0.567	Inaceptable

Cuadro 34. Evaluación del emisor IsiplastTape TIS(35)

Metodología Tradicional			Metodología ASAE EP458		
Parámetro	TIS(35)		Parámetro	TIS(35)	
	Valor	Clasificación		Valor	Clasificación
Q_{med} (l/h)	0.957	N/A	V_{qs}	0.560	Inaceptable
q_{var}	1.000	Inaceptable	U_s	43.96%	Inaceptable
C_{vf}	0.560	Inaceptable	V_{hs}	0.809	Inaceptable
C_u	51.15%	Inaceptable	V_{qh}	0.35%	Inaceptable
C_{u25}	24.27%	Inaceptable	U_{sh}	64.63%	Pobre
GO	26.92%	N/A	V_{pf}	0.435	Inaceptable

Del (**Cuadro 32**), se observa que la cinta nueva TIS(N), en las variables evaluadas sus clasificaciones son excelentes en todas, lo cual nos indica la buena calidad de la cinta; sin embargo para los tratamiento manejados TIS(20) y TIS(35), se observa que al final de las 760 horas de operación, ya no estaban cumpliendo con el objetivo de la uniformidad de riego, al encontrarse gran presencia de taponamiento tal y como se observa en los (**Cuadro 35**) y (**Cuadro 36**), donde para ambas metodologías los parámetros evaluados presentan clasificación de inaceptable; para el caso de los coeficientes de uniformidad los valores más bajos los encontramos en TIS(20); en la metodología ASAE EP458 el valor de V_{pf} ambos tratamientos con clasificación inaceptable pero de igual manera en base a este parámetro esta en peores condiciones TIS(20).

Como se observa en el (**Cuadro 35**), para TIS(20) encontramos indicados en color amarillo los emisores que presentaron taponamiento total y en color verde los que de acuerdo a la norma ISO Standard (2003) ya se consideran obstruidos donde de una muestra de 80 goteros 36 ya presentan problemas de obstrucción. Haciendo un análisis similar para TIS(35) en el (**Cuadro 36**), de una muestra de 80 emisores 33 presentan problemas de obstrucción impactando sobre todo en la uniformidad de riego.

Cuadro 35. Gastos medidos para cada una de las repeticiones en TIS(20), a 0.7 bar

No. Emisor	No. De Repetición Q (ml/h)				T(N) Q _{med} (ml/h)
	1	2	3	4	
1	1328	1348	0	672	1380
2	1198	701	0	1296	1260
3	0	302	1250	1272	1236
4	196	1198	1218	0	1296
5	1156	568	1320	0	1236
6	0	1284	1188	1248	1320
7	0	462	1367	1296	1356
8	682	1310	792	1320	1332
9	1186	514	0	1296	1380
10	1300	1220	1188	1128	1320
11	0	1246	1383	0	1356
12	742	1198	1222	0	1332
13	1096	0	0	1344	1272
14	324	1198	0	1152	1332
15	1046	1374	798	1176	1284
16	1308	741	1056	1320	1296
17	1084	0	512	0	1320
18	1308	1362	1250	0	1344
19	1332	0	1186	192	1272
20	1096	0	620	768	1272

Cuadro 36. Gastos medidos para cada una de las repeticiones en TIS(35), a 0.7 bar

No. Emisor	No. De Repetición Q (ml/h)				T(N) Q _{med} (ml/h)
	1	2	3	4	
1	127	1210	683	1344	1380
2	1254	0	1722	1320	1260
3	874	1255	1224	0	1236
4	1310	1522	1318	240	1296
5	1153	808	1224	1728	1236
6	1304	1399	0	288	1320
7	1185	811	1318	672	1356
8	689	596	1224	0	1332
9	0	1575	1318	576	1380
10	1235	0	1701	1152	1320
11	796	867	776	1296	1356
12	1318	1095	1224	1296	1332
13	1330	1142	758	0	1272
14	1460	1305	0	1320	1332
15	1695	1522	1421	1248	1284
16	874	1522	884	1248	1296
17	0	493	1224	0	1320
18	874	1210	0	336	1344
19	456	759	1498	1344	1272
20	874	1088	1318	1344	1272

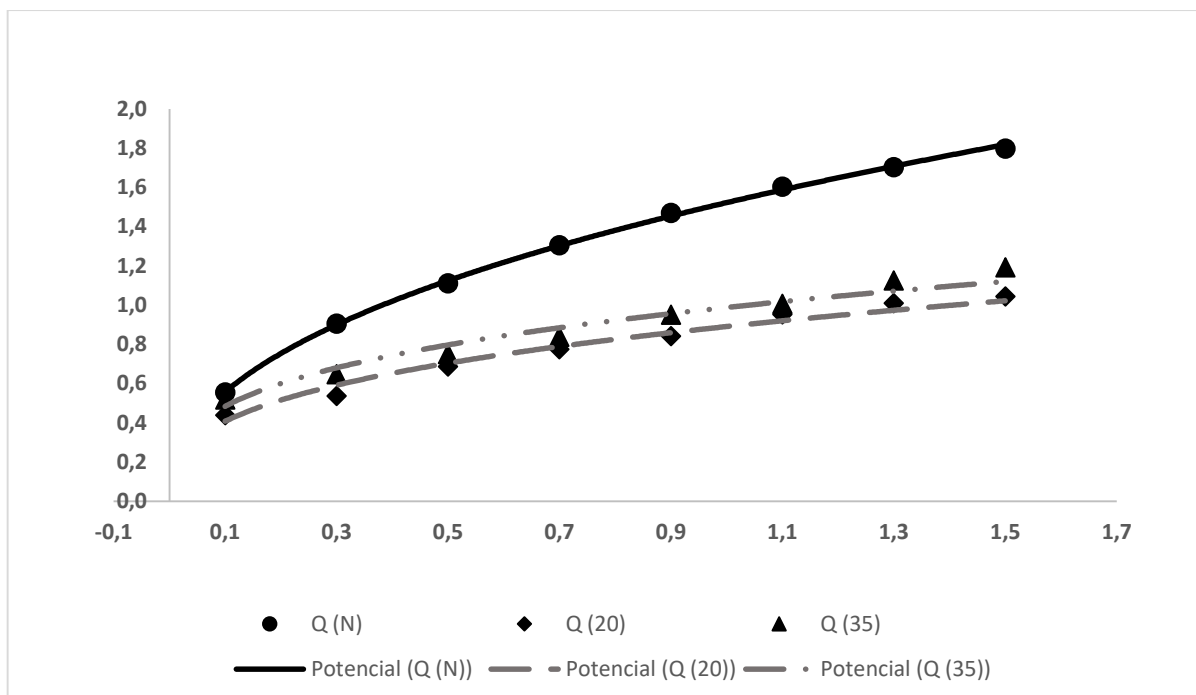


Figura 26. Comparación de las líneas de tendencia de las gráficas Q-H, para emisor en estado nuevo Q(N), para emisor a 20 cm de profundidad Q (20 cm), y para emisor a 35 cm de profundidad Q (35 cm) para el emisor IsiplastTape.

De igual manera como se observa en la (Figura 26), en las ecuación Q-H se observa en TIS(20) y TIS(35) la reducción del gasto en relación a TIS(N).

4.6 Comparación entre emisores y tratamientos.

Como parte final del análisis es importante determinar cual fue el mejor emisor de los 4 utilizados en los diferentes tratamientos, del análisis anterior se deduce que los mejores resultados se obtuvieron en la profundidad de 35 cm, con excepción del emisor IsiplastTape que ninguno de los dos tratamientos al final del experimento se encuentra en condiciones de seguir operando, haciendo la comparativa de los resultados obtenidos en cada uno de los emisores según la metodología tradicional, en el (Cuadro 37) se observa que el mejor tratamiento fue TD(35) al tener coeficientes de uniformidad con clasificación de excelente y con valores mayores a los otros dos tratamientos; en segundo lugar tenemos el TP1(35) con Cu_{25} y Cu con clasificación buena y excelente respectivamente pero con q_{var} de clasificación inaceptable parámetro que en TD(35) presenta clasificación aceptable lo cual es un factor que contribuye a que este último sea mejor tratamiento; en tercer lugar el

TS(35) con Cu_{25} y Cu con clasificación pobre y bueno respectivamente, y q_{var} con valor de 1 lo que indica que al menos uno de los emisores presenta taponamiento total. Por lo tanto el mejor tratamiento fue TD(35) al presentar al termino del experimento clasificación en todos los parámetros evaluados de excelente y aceptable y presentar poca variabilidad de los gastos respecto a TD(N).

Cuadro 37. Comparación de los emisores según la metodología tradicional

Parámetro	TD(35)		TP1(35)		TTS(35)	
	Valor	Clasificación	Valor	Clasificación	Valor	Clasificación
Q_{med} (l/h)	1.1	N/A	1.052	N/A	1.04	N/A
q_{var}	0.16	Aceptable	0.2858	Inaceptable	1	Inaceptable
C_{vf}	0.0419	Excelente	0.065	Bueno	0.2186	Inaceptable
C_u	96.45%	Excelente	95.02%	Excelente	85.69%	Bueno
C_{u25}	94.98%	Excelente	91.59%	Bueno	72.89%	Pobre
GO	1.40%	N/A	-1.37	N/A	4.84	N/A

Como se mencionó anteriormente para el caso de la metodología de la ASAE EP458, el parámetro que nos determina si es necesario hacer acciones correctivas en el emisor o bien reemplazarlo es el V_{pf} en el (**Cuadro 38**) podemos ver los tres tratamientos con resultados aceptables al termino del experimento ,y al igual que la metodología tradicional, el mejor tratamiento fue TD(35) con V_{pf} de 0.004 y clasificación excelente, en segundo lugar TP1(35) con V_{pf} de 0.013 y clasificación de muy bien, y en tercer lugar TTS(35) con V_{pf} de 0.174 con clasificación pobre.

Cuadro 38. Comparación de los emisores según la metodología de la ASAE EP458

Parámetro	TD(35)		TP1(35)		TTS(35)	
	Valor	Clasificación	Valor	Clasificación	Valor	Clasificación
V_{qs}	0.031	Excelente	0.042	Bueno	0.1382	Pobre
U_s	95.80%	Excelente	93.44%	Excelente	78.13%	Justo
V_{hs}	0.094	Excelente	0.146	Muy bien	0.312	Pobre
V_{qh}	0.042	Bueno	0.064	Bueno	0.132	Pobre
U_{sh}	95.83%	Excelente	93.58%	Excelente	86.78%	Muy bueno
V_{pf}	0.004	Excelente	0.013	Muy bien	0.174	Pobre

Es importante resaltar que en los tratamientos con taponamiento parcial o total se observan emisores con gastos menores al nominal, así como emisores con gasto mayor al nominal; tal como lo mencionan Bralts et al. (1981) y Boman (1995), la obstrucción no solo reduce la descarga del emisor, sino que también provoca el aumento de la descarga de emisores no obstruidos.

4.7 Trabajos Relacionados.

Safi et al., (2007), estudio la variación del (Cu) en DI y SDI la cinta estuvo enterrada por 3 años en el cultivo de cebolla a una profundidad de 10 cm encontrando valores máximo de 96,9% y 91,8%, respectivamente para cada tipo de riego la disminución se debe principalmente a la existencia de taponamiento en lo emisores al igual que en la presente investigación situación que es más marcada en la profundidad de 20 cm., para cada uno de los tratamientos trabajados sin diferenciar el tipo de emisor.

García Rodríguez & Puig Estrada (2011), de igual manera realizo una evaluacion de un SDI con profundidades de 15, 30 y 45 cm, durante un periodo de 3 años al final de la investigacion encontro para (Cv_f) valores de 4.63 %, 4.006 % y 3.50 % respectivamente y encontrando diferencias significativas entre ellos, al igual que en la presente investigación y observando lo valores del a medida que se profundiza en la colocación de la lateral se mantiene un valor de (Cv_f) con un valor más bajo.

Al-Ghobari (2012), encontró que los coeficientes de uniformidad en riego subsuperficial variaron y aumentaron con el aumento de la profundidad del suelo desde la superficie del suelo, caso que en el presente trabajo se observa la variación del Cu según la profundidad de enterrado de la cinta y observándose que este es mayor a medida que se incrementa la profundidad.

Lamm & Rogers (2017), en cultivo de maíz evaluaron la longevidad y el rendimiento del SDI, utilizaron una línea de goteo de doble cámara (marca Chapin Turbulent Twin-Wall IV) con un espaciamiento de emisor de 0.3 m instalado a una profundidad de aproximadamente 40 a 45 cm con un espacio de 1.5 m entre laterales de goteo

y longitud de lateral de 90 m, encontraron después de 26.5 años de uso de la cinta los siguientes valores: (Cv_f) de 3%, (Cu_{25}) de 96 a 97 y (Cu) 98, y en el presente trabajo para el caso de la profundidad de 20 cm se observan los valores de (Cv_f) de 16.9%, (Cu_{25}) de 72.57 y (Cu) 85.66 y para la profundidad de 35 cm: (Cv_f) de 4.6%, (Cu_{25}) de 96.68% y (Cu) 96.44%. Como se observa para el caso de 20 cm los valores obtenidos de las evaluaciones están por debajo de las obtenidas por los investigadores uno de los factores por lo que se deterioró en mayor medida la lateral a esta profundidad fue el efecto la compactación ya que se presentan más daños de fugas en las laterales; sin embargo, para el caso de 35 cm se observan valores similares.

5 CONCLUSIONES.

La presencia de taponamiento en los diferentes tratamientos, se distribuyó de manera aleatoria a lo largo de la lateral.

De los cuatro tipos de emisores utilizados en tres de ellos Deluxe, Turbo Slim y P1, se observa mejor comportamiento hidráulico a mayor profundidad, es decir los parámetros evaluados tienen mejor clasificación a 35 cm en comparación con 20 cm, esto debido a que el paso de maquinaria genera compactación que repercutió en las cintas colocadas a 20 cm. Para el cuarto emisor IsiplastTape al final de las 760 horas de operación los parámetros evaluados indican que ya habían cumplido con su vida útil y no se estaba cumpliendo con uno de los principales objetivos del riego por goteo que es la uniformidad, y debían de ser remplazados.

Se observa también que a mayor profundidad y dado que la presencia de taponamiento es menor se tienen valores más aceptables de los coeficientes de uniformidad, tanto del cuarto más bajo como de la uniformidad de distribución.

No todos los emisores se despeñan de la misma manera en el SDI, ya que al inicio se comprobó que los emisores utilizados eran de excelente calidad según la

evaluación hecha, sin embargo, después de las 760 horas de operación presentan diferentes grados de obstrucción.

El mejor tratamiento fue TD(35), al presentar clasificación mejor en los parámetros evaluados, como ya se mencionó anteriormente la cinta de este tratamiento era de emisor de laberinto continuo y una de las características que contribuyó a ser el mejor tratamiento es el calibre, la cual era más gruesa que las anteriores con un calibre 15 mil.

BIBLIOGRAFIA.

- Abdulqader, A., & Ali, M. (2013). Anti-clogging Drip Irrigation Emitter Design Innovation. *European International Journal of Science and Technology*, 2(8), 2304–9693. Retrieved from http://www.cekinfo.org.uk/images/frontImages/Vol._2_No._8/13.pdf%0Awww.eijst.org.uk
- Adin A, Sacks M (1991) Dripper-clogging factors in wastewater irrigation. *J Irrig Drain Eng* 117(6):813–827
- Al-Ghobari, H. M. (2012). A comparison of water application uniformity for drip irrigation system above and below soil surface at various soil depths and scheduling techniques in arid region. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 168, 311–322. <https://doi.org/10.2495/SI120271>
- ASAE (2003). Design and installation of microirrigation systems. Standard EP-405.1, (February 2003), ISSN 0032-0889
- ASAE (2003). Field evaluation of micro irrigation systems. EP458. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, 760–765.
- ASAE (2005). ASAE standards engineering practices data. 43rd edition: 864. Michigan. (August 2005), ISBN 1892769476.
- Bainbridge, A. (2001). Buried clay pot irrigation: a little known but very efficient traditional method of irrigation. *Agricultural Water Management*, Vol. 48, No.2, (June 2001), pp. 79-88, ISSN 0378-3774.
- Boswell, J. M. 1990. Microirrigation design manual. Fourth ed. Hardie Industries. El Cajon, CA, USA. p. 7-12.
- Bralts, V. F., D. M. Edwards, and I. P. Wu. 1987. Drip irrigation design and evaluation based on the statistical uniformity concept. *Advanced in Irrigation*, Vol. 4. : 67-117.
- Camp, C.R., 1998. Subsurface drip irrigation: a review. *Trans ASAE*. 41, 1353–1367.
- Capra A., Scicolone B. (1998). Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 70: 355–365.
- Coelho, R. D., and L. F. Faria. 2003. Comparing drippers for root intrusion in subsurface drip irrigation applied to citrus and coffee crops. ASAE Meeting Paper No. 032095, St. Joseph, Mich. ASAE.
- CONAGUA (2016). Estadísticas del agua en México, SEMARNAT, 12-88.

- Christiansen, J. E. (1942). Irrigation by sprinkling, Bulletin 670, Univ. Of California, Berkeley.
- Day PR (1965) Particle fractionation and particle-size analysis. In: Black CA et al. (ed) Methods of soil analysis. Part I: agronomy. 9: 545–567
- FAO (2011). El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura: cómo gestionar los sistemas en peligro, 4-27.
- FAO (2016). El estado mundial de la agricultura y alimentación, cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria, 4-10.
- Feng, D., Kang, Y., Wan, S., & Liu, S. (2017). Lateral flushing regime for managing emitter clogging under drip irrigation with saline groundwater. *Irrigation Science*, 35(3), 217–225. <https://doi.org/10.1007/s00271-017-0536-x>
- Garcia, E. 1998. Modificación al sistema de clasificación climática de Köepen. Ed. Offset Larios S. A. de C. V. México, p. 217.
- García Rodríguez, M. R., & Puig Estrada, O. (2011). Comportamiento hidráulico de los sistemas de riego por goteo superficial y sub superficial, 4(537), 6. Retrieved from <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v20n4/rcta07411.pdf>
- Hills, D.J., Nawar, F.M, Waller, P.M. 1989. Effects of chemical clogging on drip-tape irrigation uniformity. Trans. ASAE 32(4), 1202-1206
- Irritec (2016). IsiplastTape. V.09/2016
- Irritec (2016). P1. V.09/2016
- ISO standards, ISO/TC 23/SC 18/WG 5 N 4 (2003) Clogging test methods for emitters Li
- Karmeli, D. and J. Keller. 1975. Trickle irrigation desing. Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corp. 133 p.
- Keller J., Karmeli D. (1974). Trickle irrigation design parameters. Transcations of the ASAE, 17: 678–684.
- Lamm, F. R. (2002). Advantages and disadvantages of subsurface drip irrigation. Proceedings of the Int. Meeting on Advances in Drip/Micro Irrigation, pp. 1-13, ISBN 0-929354-62-8, Puerto de La Cruz, Tenerife, Canary Islands, Spain, Dec. 2-5, 2002
- Lamm, F. R., & Rogers, D. H. (2017). T n : I p s d i s, 60(3), 931–939.

- Li, J., & Chen, L. (2008). Field Evaluation Of Emitter Clogging In Subsurface Drip Irrigation Systems, 0300(08). <https://doi.org/10.13031/2013.24588>
- Li, G. Y., J. D. Wang, M. Alam, Y. F. Zhao. 2006. Influence of geometrical parameters of labyrinth flow path of drip emitters on hydraulic and anti-clogging performance. Transactions of the ASABE 49(3): 637-643.
- Lili, Z., Yang, P., Ren, S., Li, Y., Liu, Y., & Xia, Y. (2016). Chemical Clogging of Emitters and Evaluation of Their Suitability for Saline Water Drip Irrigation. *Irrigation and Drainage*, 65(4), 439–450. <https://doi.org/10.1002/ird.1972>
- Martínez, J., & Reca, J. (2014). Water Use Efficiency of Surface Drip Irrigation versus an Alternative Subsurface Drip Irrigation Method. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 140(10), 4014030. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000745](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000745)
- Medina, J.A. (2000). Riego por goteo: teoría y práctica, ediciones mundi-prensa, 4ta edición, Madrid, Barcelona y México
- Merriam J.L., Keller J. (1978). Farm Irrigation System Evaluation: A Guide for Management. Utah State University, Logan.
- Montemayor, T. J. A.; Walter, A. H.; Olague, R. J.; Román, L. A.; Rivera, G. M.; Preciado, R. P. Montemayor, I. del R. Segura, C. M. A.; Orozco, V. J. A. y Yescas, C. P. 2010. Uso del agua en la alfalfa (*Medicago sativa*) con riego por goteo subsuperficial. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 1(2): p.145-156.
- Naandanjain (2012). Cinta chapin-drip. 04/2012
- Naandanjain (2011). Turbo slim. 01/2011
- Nakayama, F. S., and D. A. Bucks. 1991. Water quality in drip/trickle irrigation: a review. *Irrigation Science* 12: 187-192.
- Netafim (2012). Guías para el mantenimiento de sistemas de riego. (manual)
- NMX-E-225-CNCP-2009 - Industria del plástico-requisitos mecánicos y funcionales de cintas (mangueras) de goteo para su instalación y operación en campo-especificaciones y método de prueba.
- Oliveira, R., Alves, A., Marin, Z., Lucía, O., Souza, R. De, Vinícius, C., ... Maduración, D. E. U. N. A. L. D. E. (2009). Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179915377020>.

- Patel N. y T.B.S. Rajput, 2008. Dynamics and modeling of soil water under subsurface drip irrigated onion. *Agricultural Water Management* 95(12):1335-1349
- Pitts, D. J., D. Z. Haman, and A. G. Smajstrla. 1990. Causes and prevention of emitter plugging in microirrigation systems. Institute of Food and Agricultural Science Bulletin No. 258. Gainesville, Fla.: University of Florida
- Pizarro, Francisco (1996). Riegos localizados de alta frecuencia, Ediciones Mundi-Prensa, 3ª edición, pp 223-252
- Puig-Bargués, J., Arbat, G., Elbana, M., Duran-Ros, M., Barragán, J., de Cartagena, F. R., & Lamm, F. R. (2010). Effect of flushing frequency on emitter clogging in microirrigation with effluents. *Agricultural Water Management*, 97(6), 883–891. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.01.019>
- Ravina, I., E. Paz, Z. Sofer, A. Marcu, A. Schischa, G. Sagi, Z. Yechialy, and Y. Lev. 1997. Control of clogging in drip irrigation with stored treated municipal sewage effluent. *Agricultural Water Management* 33(2): 127-137
- Rodríguez Sinobas, Leonor; Gil Rodríguez, María; Sánchez Calvo, Raúl y Juana Sirgado, Luis (2008). Distribución del agua en ramales de riego subsuperficial. En: "XXVI Congreso Nacional de Riegos", 24/06/2008-26/06/2008, Huesca, España. ISBN 84-8181-227-7.
- Ribeiro, T. A. P., Paterniani, J. E. S., & Coletti, C. (2008). Chemical treatment to unclogg dripper irrigation systems due to biological problems. *Scientia Agrícola*, 65(1), 1–9. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162008000100001>
- Safi, B., Neyshabouri, M. R., Nazemi, A. H., Massiha, S., & Mirlatifi, S. M. (2007). Water application uniformity of a subsurface drip irrigation system at various operating pressures and tape lengths. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31(5), 275–285.
- Şahin, Ü., Anapali, Ö., Dönmez, M. F., & Şahin, F. (2005). Biological treatment of clogged emitters in a drip irrigation system. *Journal of Environmental Management*, 76(4), 338–341. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.02.003>
- SALDARRIAGA V., J. G. (2007). HIDRAULICA DE TUBERIAS (1a. ed., 3a. reimp.). BOGOTA: MCGRAW-HILL INTERAMERICANA
- Solomon, K. (1979). "Manufacturing variation of trickle emitters." *Trans. ASABE*, 22(5), 1034–1038.
- Suarez-Rey, E. M., C. Y. Choi, W. B. McCloskey, and D. M. Kopec. 2006. Effects of chemicals on root intrusion into subsurface drip emitters. *Irrigation and Drainage* 55: 501-509.

- Schifris, S., Schweitzer, A., Matan, E., & Borkow, G. (2015). Inhibition of root penetration in subsurface driplines by impregnating the drippers with copper oxide particles. *Irrigation Science*, 33(4), 319–324. <https://doi.org/10.1007/s00271-015-0468-2>
- Taylor HD, Bastos RKX, Pearson HW et al (1995) Drip irrigation with waste stabilisation pond effluents: solving the problem of emitter fouling. *Water Sci Technol* 31(12):417–424
- Wang, R., S. Gong, J. Wang, G. LI, and Y. Zhao. 2005. The study on anti-clogging of negative pressure for driplines for subsurface drip irrigation (SDI). *Journal of Irrigation and Drainage* 24(5): 18-21
- Wei, Q., Shi, Y., Lu, G., Dong, W., & Huang, S. (2008). Rapid Evaluations of Anticlogging Performance of Drip Emitters by Laboratorial Short-Cycle Tests. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134(3), 298–304. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2008\)134:3\(298\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2008)134:3(298))
- Wu, I. P. 1997. An assessment of hydraulic design of micro-irrigation systems. *Agricultural Water Management*, No: 32. :275-284.
- Wu, I. P. and H. M. Gitlin. 1975. Energy gradient line for drip irrigation laterals. *Journal of the Irrig. and Drainage Engr. Div., ASCE*, Vol. 101 (IR4) :321-326.
- Wu F, Fan YS, Li H et al (2004) Clogging of emitter in subsurface drip irrigation system. *Trans CSAE* 20:80–83
- Yu, Y., Shihong, G., Xu, D., Jiandong, W., & Ma, X. (2010). Effects of Treflan injection on winter wheat growth and root clogging of subsurface drippers. *Agricultural Water Management*, 97(5), 723–730. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.01.003>
- Zhang, L., Wu, P., Zhu, D., & Zheng, C. (2017). Effect of pulsating pressure on labyrinth emitter clogging. *Irrigation Science*, 35(4), 267–274. <https://doi.org/10.1007/s00271-017-0532-1>
- Zhou, B., Li, Y., Song, P., Zhou, Y., Yu, Y., & Bralts, V. (2017). Anti-clogging evaluation for drip irrigation emitters using reclaimed water. *Irrigation Science*, 35(3), 181–192. <https://doi.org/10.1007/s00271-016-0530-8>
- Zhou, B. O., Li, Y., Liu, Y., Pei, Y., Jiang, Y., & Liu, H. (2014). EFFECTS OF FLOW PATH DEPTH ON EMITTER CLOGGING AND SURFACE TOPOGRAPHICAL CHARACTERISTICS OF BIOFILMS †, 58(17), 46–58.