



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 09 de noviembre de 2018

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Hector Fabio Parra Quintero, con C.C. No. 1083914454,

Nicolas David Trujillo Munar, con C.C. No. 1083908028,

autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado Evaluación Hidráulica del Sistema de Riego por Microaspersión en la Granja Experimental de la Universidad Surcolombiana presentado y aprobado en el año 2018 como requisito para optar al título de

Ingeniero Agrícola;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Vigilada Mineducación



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Hector Fabio Parra

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Nicolas David Trujillo

Firma

Firma:



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 3
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Evaluación Hidráulica del Sistema de Riego por Microaspersión en la Granja Experimental de la Universidad Surcolombiana

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Parra Quintero	Hector Fabio
Trujillo Munar	Nicolas David

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Bedoya Cardoso	Marlio

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Agrícola

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería Agrícola

CIUDAD: NEIVA **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2018 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 73

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas ___ Fotografías X Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general___ Grabados___ Láminas___
Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos X Retratos X Sin ilustraciones___ Tablas o Cuadros X

Vigilada mieducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: Microsoft Word

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Emisores	Emitters	6. _____	_____
2. Riego localizado	Localized irrigation	7. _____	_____
3. Aforo de emisor	Gauging of emitter	8. _____	_____
4. Uniformidad de riego	Irrigation Uniformity	9. _____	_____
5. Presión de trabajo	Working pressure	10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El Coeficiente de Uniformidad (CU) es un medida que cuantifica o evalúa el desempeño de sistemas de riego, ya que, toma en cuenta aspectos hidráulicos y/o constructivos de los emisores empleados; Obtener una metodología para estimar el Coeficiente de Uniformidad (CU) a través de la selección apropiada de los emisores a evaluar sería de gran utilidad para los operadores de sistemas de riego, ya que esto permite optimizar el trabajo de campo, por ello, este trabajo se realizó con el objetivo de determinar una metodología que permita reducir el número de lecturas, para estimar el Coeficiente de Uniformidad con errores pequeños comparándolos con los valores reales, por lo tanto, se proponen alternativas de aforo de emisores en laterales de riego en un sistema ya implementado hace varios años. Todos los emisores (microaspersores) fueron aforados 3 veces con el fin de obtener el valor real de la uniformidad de los sectores de riego, y se emplearon 5 ecuaciones para determinar CU; de igual forma, se propusieron 7 metodologías de aforo para la selección de emisores a evaluar y compararlas con la metodología más empleada actualmente que es la propuesta por Merrian & Keller, 1978 para establecer la que tiene mayor exactitud. También se realizaron tomas de presiones en algunos laterales de los sectores de riego con el fin de conocer el comportamiento de esta en toda su longitud.



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 3
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The Uniformity Coefficient (CU) is a measure that quantifies or evaluates the performance of irrigation systems, since it takes into account hydraulic and / or constructive aspects of the issuers employed; Obtaining a methodology to estimate the Uniformity Coefficient (CU) through the appropriate selection of the issuers to be evaluated would be very useful for the operators of irrigation systems, since this allows to optimize the field work, therefore, this work was carried out with the objective of determining a methodology that allows to reduce the number of readings, to estimate the Coefficient of Uniformity with small errors comparing them with the real values, therefore, alternatives of gauging of emitters are proposed in laterals of irrigation in a system already implemented several years ago. All the emitters (micro-sprinklers) were gauged 3 times in order to obtain the real value of the uniformity of the irrigation sectors, and 5 equations were used to determine CU; Likewise, seven gauging methodologies were proposed for the selection of issuers to be evaluated and compared with the methodology currently used, which is the one proposed by Merrian & Keller, 1978, to establish the one that has greater accuracy. Pressures were also made on some sides of the irrigation sectors in order to know the behavior of this throughout its length.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: Marlio Bedoya Cardoso

Firma:

Nombre Jurado: John Jairo Arévalo Hernandez

Firma:

Nombre Jurado: Jaime Izquierdo Bautista

Firma:

Jaime Izquierdo Bautista

**EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE RIEGO POR
MICROASPERSIÓN EN LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD
SURCOLOMBIANA**

**HECTOR FABIO PARRA QUINTERO
NICOLAS DAVID TRUJILLO MUNAR**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
NEIVA
2018**

**EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE RIEGO POR
MICROASPERSIÓN EN LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD
SURCOLOMBIANA**

**HECTOR FABIO PARRA QUINTERO
NICOLAS DAVID TRUJILLO MUNAR**

Trabajo de Grado para optar al Título de Ingeniero Agrícola

Director

Dr. Marlio Bedoya Cardoso

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
NEIVA
2018**

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	5
2. OBJETIVOS	7
Objetivo general	7
Objetivos específicos	7
3. MARCO TEORICO	8
3.1 EI AGUA COMO RECURSO	8
3.2 RIEGO	8
3.3 LOS SISTEMAS DE RIEGO	9
3.4 RIEGO POR MICROASPERSIÓN	10
3.4.1 PARTES DE UN SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN ..	10
3.4.1.1 CABEZAL DE RIEGO	10
3.4.1.1.1 SISTEMA DE BOMBEO	11
3.4.1.1.2 SISTEMA DE FILTRADO	11
3.4.1.1.2.1 FILTRO DE ANILLOS	12
3.4.1.1.2.2 FILTRO DE ARENAS	12
3.4.1.1.3 RED DE DISTRIBUCION	13
3.4.1.1.3.1 TUBERIAS PRINCIPALES Y SECUNDARIAS	13
3.4.1.1.3.2 TUBERIAS TERCARIAS	13
3.4.1.1.3.3 RAMALES O LATERALES	13
3.4.1.1.3.4 ELEMENTOS SINGULARES	14
3.4.1.1.3.5 EMISORES	14
3.4.1.1.3.5.1 MICROASPERSONES	16
3.5 COEFICIENTE DE VARIACION DE FABRICACION	18
3.6 COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	18
3.6.1 CAUSAS DE BAJA UNIFORMIDAD	20
3.6.1.1 PRESENCIA DE OBTURACIONES	20
3.6.1.2 DIFERENCIAS DE TEMPERATURA	21
3.6.1.3 DIFERENCIAS DE PRESION	22
3.6.1.4 DIFERENCIAS DE CAUDAL: POR MOTIVOS DE FABRICACION	
22	
4. METODOLOGÍA	23

4.1	LOCALIZACION DEL TERRENO.....	23
4.2	ÁREA ESTUDIADA Y TIPO DE RIEGO.....	23
4.3	DIAGNÓSTICO SISTEMA DE RIEGO.....	23
4.4	AFORO DE EMISORES Y DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y COEFICIENTE DE VARIACIÓN.....	24
4.5	PROPUESTA DE AFORO.....	26
4.6	DETERMINACION DE LA ECUACION DEL EMISOR.....	27
4.7	LA PRESIÓN DEL LATERAL.....	29
4.8	DIAGNOSTICO DE UNIFORMIDAD.....	29
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
	CONCLUSIONES.....	55
	RECOMENDACIONES.....	56
	LITERATURA CITADA.....	59
	ANEXOS.....	64

1. INTRODUCCION

Es importante recalcar que los agricultores no tienen cultura de riego, sino que aplican el agua al suelo de acuerdo con su criterio o como lo han realizado sus antepasados de manera empírica, sin considerar las características edafológicas del suelo ni las condiciones agrometeorológicas de la zona, lo cual se traduce en la baja productividad de los productos agrícolas (Pizarro, 1987).

Uno de los principales objetivos que se busca al instalar un sistema de riego de alta frecuencia es poder proveer el agua lo más uniformemente posible, teniendo en cuenta las necesidades del cultivo, logrando así una mayor homogeneidad del cultivo y así simplificando su manejo. (Cambiaso, 2005)

Un claro ejemplo de un sistema de riego de alta frecuencia es el riego por microaspersión, el cual es un riego presurizado ya que el agua es conducida y distribuida a través de una red de tuberías o conductos cerrados las cuales requieren presión para su funcionamiento. Desde un punto de vista agronómico estos son denominados riegos localizados ya que humedecen un sector de volumen en el suelo, suficiente para un buen desarrollo en el cultivo, y de alta frecuencia porque el sistema permite regar entre una y dos veces al día, todos los días o algunos días, teniendo en cuenta el tipo de suelo donde se encuentra plantado el cultivo. Esta agua es aplicada a través de emisores los cuales entregan pequeños volúmenes de agua periódicamente; esta es aplicada en forma de lluvia mediante difusores denominados microaspersores o microjets. (Liotta, 2005)

Uno de los principales problemas del riego localizado es la obturación de los emisores lo cual ocasiona una pérdida de uniformidad y un desarrollo poco homogéneo del cultivo, lo cual conlleva a una disminución de la producción. Además de un buen mantenimiento del sistema de riego, es importante prevenir el taponamiento de los emisores y los demás elementos con secciones de paso de agua muy pequeñas, como lo son los filtros de anillas, ya que es posible que se produzcan depósitos de partículas orgánicas, minerales, sales, etc., las cuales impidan el paso del agua.

Un buen mantenimiento al sistema de riego implica poner a punto los componentes de una instalación antes del inicio de la temporada de riego, así como la revisión y evaluación de estos durante la campaña y cuando esta termine. (Fernández, 2010)

Los sistemas de riego en diferentes ocasiones pueden no estar bien diseñados o empleados inapropiadamente. Por lo que un mejor manejo en el terreno puede ahorrar el consumo de agua, mano de obra y trabajo, también puede aumentar el rendimiento de los cultivos (Merriam & Keller, 1978).

El rendimiento de un sistema de riego se evalúa en función de los coeficientes de uniformidad del agua los cuales son recogidos en una serie de dispositivos de medición como lo son los pluviómetros (Maroufpoor et al., 2010). La uniformidad de riego se determina en toda clase de sistemas e interviene en el diseño agronómico e hidráulico. En función de ella se definen los límites entre los que se permiten que varíen los caudales de los emisores y es de gran importancia la evaluación de estos en las instalaciones en las que se encuentran en funcionamiento. (Cun et al., 2009).

Cuando la uniformidad es utilizada para la evaluación de un sistema permite conocer si existen diferencias relevantes en la aplicación de agua al cultivo y poder determinar cuáles son las causas que la provocan, para así poder reducirlas y poder mantener en un correcto funcionamiento el diseño original del sistema. (Wu et al., 2007)

Un sistema de riego es el cual distribuye el agua uniformemente por todo el predio regado de tal manera que todo el cultivo reciba la misma cantidad y sea adecuada para satisfacer las necesidades hídricas de la planta durante el intervalo entre riegos. (Pizarro, 1987)

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se desarrolló el siguiente trabajo de diagnóstico y evaluación hidráulica para el sistema de riego por microaspersión que se encuentra en la Granja Experimental de la Universidad Surcolombiana, ubicada en el municipio de Palermo a 7 Kilómetros de la ciudad de Neiva; para determinar el estado actual del sistema y de esta forma realizar las respectivas sugerencias para optimizar su funcionamiento.

2. OBJETIVOS

Objetivo general

Realizar un diagnóstico y evaluación hidráulica al sistema de riego por microaspersión de la Granja Experimental de la Universidad Surcolombiana.

Objetivos específicos

- ❖ Determinar los principales problemas que afectan el buen funcionamiento del sistema de riego por microaspersión.
- ❖ Aplicar las diferentes metodologías para establecer el Coeficiente de Uniformidad de todo el sistema de riego por microaspersión.
- ❖ Proponer alternativas de aforo para medir el Coeficiente de Uniformidad minimizando el número de emisores en campo.

3. MARCO TEORICO

3.1 EI AGUA COMO RECURSO

A razón del aumento poblacional y a una serie de actividades humanas en conjunto con el cambio climático muchas regiones a nivel mundial están empezando a tener serias dificultades para acceder y ahorrar el agua, ya que este líquido es esencial para suplir las necesidades actuales y que se tendrán en las siguientes generaciones. Las sociedades humanas necesitan agua para beber, para suministrar los campos de irrigación y en las actividades industriales. Así, el agua es un recurso no abundante y un elemento caro en la producción agrícola. (Tostado, 2010)

El sector agrícola consume un tercio de las reservas de agua dulce en el mundo. La agricultura influye tanto en la cantidad como en la calidad de agua disponible para otros usos. En algunas zonas, la contaminación provocada por plaguicidas y fertilizantes utilizados en la agricultura constituye, de por sí, una de las principales causas de la deficiente calidad del agua (Alvarez & Perez, 2011).

3.2 RIEGO

(Gurovich, 1985) Dice que el riego es la aplicación oportuna y uniforme de agua a un perfil del suelo para reponer en éste el agua consumida por los cultivos entre dos riegos consecutivos. Es de vital importancia tener en cuenta que se debe regar el suelo y no las plantas. Lo que se pretende regar es el perfil en profundidad del suelo ya que ahí es donde se encuentran localizadas las raíces de las plantas, encargadas de la absorción del agua. La aplicación del riego debe ser oportuna, de tal forma, que las plantas no se vean afectadas debido a la falta de agua por dejar pasar demasiado tiempo entre dos riegos consecutivos, ni se vean sometidas al exceso de agua en el perfil del suelo por regar demasiado frecuentemente una superficie agrícola.

Los sistemas de riego ofrecen un alto grado de aplicación de agua para cumplir con los requisitos de agua de las plantas. La programación de los sistemas de riego se basa generalmente en un método por el cual se busca mantener un contenido de agua favorable para la raíz de las plantas, para así minimizar los periodos de estrés hídrico, lixiviación por debajo de la zona de la raíz. (Koumanov et al., 1997)

De acuerdo con Gispert & Garcia, (1999) un riego correcto es aquel capaz de aplicar el agua a los cultivos en la cantidad necesaria, de acuerdo a las condiciones del

clima y suelo del lugar en cuestión; en el momento oportuno, dejando un contenido de humedad en el suelo suficiente (capacidad de campo) con una distribución homogénea para todas las plantas de la parcela regada.

3.3 LOS SISTEMAS DE RIEGO

Desde que se aplica riego, los sistemas de riego han ido ofreciendo gran número de alternativas que permiten una mejora al uso del agua, modificando muchas veces el relieve de la tierra empleada para cultivar con el fin de obtener pendientes planas para la aplicación del agua en la superficie. Para implementar un sistema de riego es necesario realizar un estudio previo para así establecer cuál es el sistema que mejor se ajusta a las necesidades y condiciones del suelo.

Existe una gran diversidad de sistemas de riego los cuales deben estar en una constante revisión, debido a que se tratan de tecnologías que se vienen desarrollando conforme avanza la sociedad. Estos sistemas se vienen implementando con más frecuencia en las zonas verdes ya que el riego es la operación más importante para conservarlas. (Vega Pilozo et al., 2005)

Existe una gran variedad de sistemas de riego, los cuales se clasifican teniendo en cuenta el caudal que proporcionan a los emisores.

Los sistemas de riego que existen en los cultivos son:

- Riego con aspersores
- Riego con difusores
- Riego por goteo
- Riego subterráneo
- Riego con cintas de exudación
- Riego con micro aspersores
- Riego con manguera
- Riego con regadera
- Macetas de autorriego
- Riego por surcos (por ejemplo, el huerto) (Fuentes, 2003)

La eficiencia en los sistemas de riego es muy incierta, ya que a manera general depende de varios factores, la forma de captación y distribución del agua y la técnica de aplicación a las plantas.

3.4 RIEGO POR MICROASPERSIÓN

En los sistemas de microaspersión, el agua es aplicada sobre cierta superficie en el terreno de forma pulverizada y se desplaza a través del suelo en función de tres factores fundamentales: a) las propiedades y características del perfil físico del suelo; b) el volumen de agua aplicado y c) el caudal del emisor (Salcedo et al., 2005).

De acuerdo con Smajstrla et al. (1990) un sistema de riego por microaspersión tiene el potencial de ser una manera muy eficiente de regar. Sin embargo, para ser aplicado eficientemente, el agua de riego debe ser aplicada uniformemente. Es decir, con cada riego, se debe aplicar aproximadamente la misma cantidad de agua a todas las plantas irrigadas. Si el riego no se aplica uniformemente, algunas áreas obtendrán demasiada agua y otras obtendrán muy poco. Como resultado, el crecimiento de la planta también será no uniforme, y el agua se desperdiciará cuando se aplica demasiado. La uniformidad es especialmente importante cuando el sistema de riego se utiliza para aplicar productos químicos junto con el agua de riego porque los productos químicos sólo se aplicarán de manera tan uniforme como el agua de riego.

El riego por microaspersión es particularmente adecuado para suelos con baja permeabilidad y pequeño almacenamiento de agua en el suelo. Al igual que los riegos por goteo los microaspersores están diseñados para riego de alta frecuencia y las tasas de aplicación se pueden controlar para minimizar el encharcamiento de la superficie. Las desventajas del riego por microaspersión se encuentran asociadas con las pérdidas de agua debido al efecto del viento y la evaporación. La uniformidad en la distribución de microaspersores también ha sido motivo de preocupación ya que los microaspersores tienden a tener una uniformidad de aplicación deficiente sobre su área más húmeda. (Koumanov et al., 1997)

3.4.1 PARTES DE UN SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN

3.4.1.1 CABEZAL DE RIEGO

Se trata de un conjunto de dispositivos los cuales se encuentran situados al principio de la instalación o red de riego localizado con el objetivo de controlar su funcionamiento (Fernandez & Garcia, 2014). Este sistema o estación de control se encuentra formada por el equipo de impulsión, dispositivos de filtración y

fertilización, llaves de paso, manómetros y llave volumétrica o contador (Rodriguez et al., 2017)

Todo el conjunto de elementos que denominan la instalación sirve para proveer la presión y caudal necesario para el funcionamiento del sistema y se puede controlar de forma manual o automática.

3.4.1.1.1 SISTEMA DE BOMBEO

En todo sistema de riego localizado es muy común encontrar que estos cuentan con un sistema de bombeo el cual suministra agua a la presión necesaria para que el resto del sistema de riego funcione a óptimas condiciones de caudales y presiones. Las bombas utilizadas para la captación de agua desde balsas, estanques o depósitos son las denominadas centrífugas que, en la superficie, son capaces de aspirar el agua desde una altura máxima de 7 metros (Fernandez & Garcia, 2014).

El dimensionamiento de la bomba debe ser tal que la presión requerida sea la suficiente para vencer las diferencias de cota las cuales son variables de un sistema a otro, y las pérdidas de carga de todo el sistema. Las más usadas son del tipo centrífuga abastecidas por energía eléctrica (Liotta, 2015).

También al aumentar la presión de trabajo se pueden aumentar los costos de la instalación, por ejemplo, a mayor presión que se quiera mayor será la capacidad de la bomba y a su vez el costo.

3.4.1.1.2 SISTEMA DE FILTRADO

Constituye el conjunto de mecanismos que aspiran, impulsan, filtran, regulan y envían el agua junto con el abono y otros productos hasta los emisores o goteros en condiciones de presión y limpieza. La obturación de los emisores es uno de los problemas más importantes de los sistemas de riego localizado. Suele producirse por partículas minerales (arena, limo y arcilla), partículas orgánicas (algas, bacterias, restos de plantas o animales), y sales precipitadas que provienen de los fertilizantes añadidos, o las que están presentes en el agua de riego. Si se producen obturaciones, el coste de mantenimiento de la red será mayor, la duración de los componentes de la instalación se verá reducida y el agua de riego se aplicará con menor uniformidad (Gomez et al., 2010).

Teniendo en cuenta los pequeños diámetros de paso de los emisores, el equipo de filtrado es clave para poder obtener un correcto funcionamiento en todo el sistema de riego, ya que este se comporta como una barrera la cual no da el paso a las partículas en suspensión (Ferrer & Quinza, 2013).

Es frecuente encontrar que a la entrada del cabezal se ubique una zona de pre filtrado que cuenta con hidrociclones provocando una separación de principalmente de lo que son partículas de arena y solidos más densos que el agua, esto se realiza en casos donde el agua de riego contiene gran cantidad de sólidos en suspensión. Los filtros empleados en riego por microaspersión son de dos tipos: de arena los filtros principales y de anillas o mallas los filtros secundarios.

3.4.1.1.2.1 FILTRO DE ANILLOS

El elemento filtrante es un conjunto de discos que se apilan formando un cartucho con multitud de orificios correspondientes a ranuras marcadas sobre las caras de los discos que están unidos y apretados entre sí, lo que hace que formen un cuerpo compacto y de forma cilíndrica creando un conjunto filtrante que retiene en gran cantidad partículas sólidas, no orgánicas que se encuentren en suspensión. Se colocan inmediatamente después del equipo de impulsión. Gran parte de las impurezas quedan atrapadas entre los anillos ranuradas que se encuentran debidamente agrupadas y ajustadas unas con otras (Fernandez & Garcia, 2014).

Estos filtros pueden trabajar con presiones de hasta 10 atmósferas, tienen una capacidad de filtraje variable, siendo frecuente llegar hasta 60 y 80 m³/hora. La pérdida de carga de un filtro limpio es de 0,2 atmósferas

3.4.1.1.2.2 FILTRO DE ARENAS

Estos filtros están conformados por unos depósitos cilíndricos que comúnmente están fabricados de poliéster reforzado con fibra de vidrio, acero inoxidable, etc., los cuales en su interior tienen varias capas de arena de unos 50 cm de espesor en total, con granulometría variable entre 0,4 y 3 mm de grosor. Cuanto menor es el tamaño de la granulometría las propiedades del filtrado son mejores, pero así mismo se ensucia más rápido el filtro, por lo que la limpieza de este debe realizarse frecuentemente. El agua entra por la parte superior del filtro, atraviesa las mencionadas capas y sale filtrada por la parte inferior. Los filtros de arena están indicados para retener algas, materia orgánica y limos en suspensión cuando se riegue con aguas procedentes de embalses y conducciones al aire libre. Pueden suprimirse en caso de que el agua proceda directamente de pozo, no de embalse (Regaber, s.f.).

Los filtros de arena suelen trabajar a presiones de hasta 10 atmósferas, con una pérdida de carga que puede variar entre un mínimo de 0,1 y un máximo de 0,4 atmósferas. El filtro limpio suele producir una pérdida de carga entre 0,2-0,3 atmósferas.

Este filtro es el más recomendado para la filtración de aguas muy contaminadas que contengan partículas pequeñas o una gran cantidad de materia orgánica. Su eficiencia depende del tamaño de la arena que contenga; puesto que deja pasar partículas cuyo tamaño sea la décima parte del diámetro efectivo de la arena. (Flores, 2014).

Actualmente estos filtros de arena son utilizados cada vez menos, ya que se sustituyen por filtros de anillos auto limpiante.

3.4.1.1.3 RED DE DISTRIBUCION

Después del cabezal siguen las tuberías las cuales distribuyen el agua y los fertilizantes hasta los emisores para terminar siendo aprovechados por las plantas. Los nombres que se le dan a estas vienen dados según su importancia.

Los materiales utilizados para su fabricación son el PVC (Policloruro de vinilo) y el PE (Polietileno), normalmente el primero se utiliza en tuberías principales y secundarias ya que estos tramos normalmente van enterrados y el segundo para tuberías terciarias, pero en muchos casos se utiliza el PE para todo el sistema de tuberías (Quizpha , 2010).

3.4.1.1.3.1 TUBERIAS PRINCIPALES Y SECUNDARIAS

En la actualidad casi todas las instalaciones emplean tuberías con materiales plásticos (PVC, PE, etc.) pero por regla general la tubería de PVC se tiene que instalar enterrada para que esta esté protegida de la radiación de los rayos ultravioleta (UV) mientras que la tubería en PE se instala a cielo abierto.

La presión de trabajo de estas tuberías ha de ser mayor que la de la tubería terciaria y los laterales y ya que estas operan a una presión más elevada (Quizpha , 2010).

3.4.1.1.3.2 TUBERIAS TERCIARIAS

Esta tubería es la que alimenta los laterales o las cintas de goteo. Distribuyendo el agua por las subunidades de riego.

3.4.1.1.3.3 RAMALES O LATERALES

Estos van conectados a las tuberías terciarias, estas tuberías por lo general son de polietileno de baja densidad. Existe gran variedad de accesorios para que se realice

la conexión de los laterales a los emisores o porta emisores, tales conexiones deben resistir la presión de trabajo como las variaciones de presión que se producen en el momento que se llenan las tuberías (Quizpha , 2010).

La tubería lateral suele ser ubicada sobre la superficie del terreno, pero también se puede ubicar por debajo de esta y se dispone que estos estén enterrados entre los 5 -10 cm de profundidad.

3.4.1.1.3.4 ELEMENTOS SINGULARES

Además de las tuberías, los elementos singulares constituyen una parte importante en la red de distribución de agua. Son piezas diseñadas para empalmar dos tubos, cambiar el diámetro entre tuberías, cambiar la dirección de estas, conectar más de dos entre sí, etc.

3.4.1.1.3.5 EMISORES

Estos son la última parte y una pieza clave siendo estos los elementos más importantes y delicados de la instalación de riego localizado cuya misión es dosificar el agua uniformemente que se aportara al cultivo.

Uno de los principales problemas en el diseño de sistemas de riego localizado es su alto costo debido a que las grandes longitudes de tubería hacen que los diámetros de estas sean grandes, lo que genera un importante costo en la instalación, por eso es importante que los emisores deben proporcionar un caudal bajo con el objetivo de que esos diámetros y longitudes grandes de tuberías sean reducidos.

Existen multitud de tipos de emisores, en función del dispositivo o sistema en que se basan para reducir la presión con que circula el agua en el interior de la tubería (Fernandez & Garcia, 2014). Son básicamente de dos tipos en el riego localizado: los goteros, emisores del riego por goteo con caudal hasta 16 l/h y los microaspersores con caudales mayores de 16 l/h.

Comúnmente, la descarga que en campo arrojan los emisores se caracteriza prácticamente como una función de la presión de entrada (Demir et al. 2007). Los efectos de la presión son más representativos en los emisores a los que se le llama no autocompensantes en comparación a los emisores llamados autocompensantes, compensantes o autorregulados.

La intención de utilizar emisores de riego localizado es que el agua que se le proporcionara al suelo sea en pequeñas cantidades, lo que hace necesario generar una caída de presión en ellos mediante laberintos, o a través de orificios con diámetros entre 0,3 y 1,5 mm, pero que serían muy sensibles a problemas de obturaciones (Keller y Karmeli 1974).

Por otra parte, la presión de servicio de los emisores preferiblemente no debe ser muy baja ya que esto junto con los cambios de nivel de los terrenos generaría un efecto sobre la uniformidad de riego. Por eso, caudal bajo y presión alta son las ideales desde el punto de vista hidráulico para emisores en los que el paso del agua sea pequeño, pero esto generaría un problema de obturaciones por lo que será necesario un sistema de filtrado adecuado. Este problema está minimizado actualmente ya que los fabricantes lo han ido solucionando de forma muy variada y existen muchos tipos de emisores en el mercado que suplen las necesidades y condiciones de diseño.

La mayor parte de los emisores que se encuentran en el mercado trabajan a una presión de 10 m.c.a sin embargo existen unos que son de alto caudal y pueden llegar a trabajar a 20 m.c.a por otro lado hay cintas de riego las cuales trabajan entre 1 y 3 m.c.a.

En el mercado se pueden encontrar diferentes emisores, los cuales se clasifican de acuerdo a sus características hidráulicas, obturaciones, forma de inserción en los laterales, etc. Por eso, Pizarro, (1996) los clasifica de la siguiente forma:

Tabla 1. Clasificación de emisores.

Emisores de bajo caudal (goteros): $q < 16$ l/h	Goteros propiamente dichos	De largo conducto	Microtubos helicoidales de laberinto
		De orificio	
		Vortex	
	Mangueras	Autocompensantes	
	Cinta de exudación		
Emisores de alto caudal 16 l/h $< q < 150$ l/h	Microaspersores		
	Difusores		
	Microtubos de alto caudal		

Fuente: Riego Localizado de Alta Frecuencia, Pizarro, 1996.

3.4.1.1.3.5.1 MICROASPERSORES

Son emisores que distribuyen el agua al suelo en forma de fina lluvia sin llegar a humedecer toda la superficie del cultivo (por lo que se incluyen dentro de los emisores de riego localizado). Los microaspersores tienen alguno de sus elementos móviles generalmente efectuando un movimiento de rotación. Algunos los confunde con otro tipo de emisores que se les llama difusor, que se diferencian el uno al otro es que el ultimo no lleva un elemento giratorio que distribuye el agua como lo llevan los microaspersores.

Existe una diferencia fundamental entre los microaspersores y los demás emisores de riego localizado, y es que en los microaspersores el agua, una vez pulverizada se transporta por el aire hasta distancias inconstantes alcanzando a mojar el suelo en un área considerable, mientras que los otros emisores le entregan el agua al suelo en forma de gota o chorro y la superficie que moja es pequeña por lo que su distribución se hace mediante el suelo.

En el mercado existe gran variedad de microaspersores, suelen tener en común una boquilla o tobera que es la encargada de pulverizar el agua y un difusor que es el elemento encargado de pulverizar el agua en forma de círculo. Algunas piezas de estos emisores pueden ser modificables, es decir que hay piezas que se pueden cambiar por otras con el fin de adaptar el funcionamiento del emisor a diferentes condiciones o necesidades; cambiando la boquilla se modifica el caudal; cambiando el difusor se modifica el tamaño de las gotas. Una forma de identificar estas piezas son sus colores, radios, etc., algo que depende del fabricante (Pizarro, 1996).

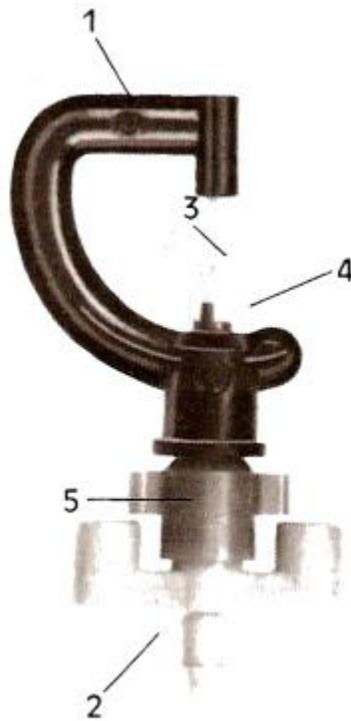


Figura 1. Cabeza de microaspersor.

1. Puente
2. Mariposa
3. Difusor
4. Boquilla
5. Antibruma

Fuente: Riego Localizado de Alta Frecuencia, Pizarro, 1996.

El uso de microaspersores en riego agrícola es más frecuente. Los microaspersores más difundidos son los de bailarina, que permiten intercambiar las piezas móviles para adaptarlas a las condiciones requeridas por el cultivo en cuestión. Estos se pinchan directamente a la tubería o bien se conectan mediante un microtubo. Para obtener mayores alcances suelen colocarse en estacas de sujeción a varios centímetros del suelo (Fernandez & Garcia, 2014).

Los microaspersores deben seleccionarse con gastos adecuados para evitar encharcamientos y escurrimientos de agua. Deben de utilizarse láminas precipitadas horarias que no excedan la velocidad de infiltración de agua en el suelo. El micro aspersor y/o micro jet riega un espacio más amplio y más uniforme dentro de la zona radicular de los árboles frutales (Tovar, 1993).

En cuanto a costos de operación con microaspersores, el consumo de energía por m^3 es algo mayor que en el riego por goteo, ya que la presión de trabajo es del

doble, pero eso no quiere decir que el consumo de energía sea el doble, ya que las pérdidas son comunes en los dos casos. En la práctica, la facturación por energía en microaspersión puede ser del orden del 10-20% más elevada que en goteo (INIA, 2015).

3.5 COEFICIENTE DE VARIACION DE FABRICACION

En todo proceso industrial siempre hay alguna imperfección por lo que los productos que se fabrican no siempre son en su totalidad iguales y estos presentan variaciones, aunque en su mayoría el margen de error es tolerable (Medina, 1981). En el tipo de variación a nivel de emisores influye mucho los materiales que se usen para la fabricación de estos ya que los orificios son pequeños y cualquier imperfecto influye.

3.6 COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD

El coeficiente de uniformidad es una magnitud la cual caracteriza a todo el sistema de riego y que además interviene en el diseño bien sea agronómico, pues este afecta el cálculo de las necesidades hídricas, como el hidráulico, pues en función de este es posible definir los límites entre los que se permiten que varíen los caudales de los emisores.

Esta uniformidad de riego en los Riegos Localizados de Alta Frecuencia (RLAF) debe superar el 90%, pero este resultado se ve afectado debido a las variaciones en la fabricación de los elementos que componen el sistema y en algunas ocasiones a los diseños hidráulicos inadecuados los cuales proporcionan caudales distintos para presiones de trabajo iguales. (Pizarro, 1996).

En general se puede señalar que la uniformidad de riego obedece a los siguientes factores (Solomon, 1985):

- Diferencias de presión debidas a las diferencias de cota o a las pérdidas de carga en toda la red de tuberías.
- Variaciones temporales y espaciales de la temperatura del agua.
- Respuesta del emisor a la temperatura del agua y a la presión.
- Coeficiente de variación de fabricación de los emisores y de los reguladores de presión.
- Número de emisores por planta.
- 8Grado y extensión de la obturación de los emisores.

Pero no en todos los factores anteriores tiene un efecto de igual manera en el Coeficiente de uniformidad, y por eso (Solomon, 1985) los ordena de mayor a menor importancia, así:

- Obturaciones.
- Número de emisores por planta.
- Coeficiente de variación de fabricación del emisor, CV.
- Exponente de descarga del emisor.
- Respuesta del emisor a la temperatura del agua.
- Diferencias de presión en la subunidad.
- Coeficiente de variación de fabricación de los reguladores de presión.
- Relación entre las pérdidas de carga que se produce en la tubería terciaria y en el lateral.
- Número de diámetros de la tubería terciaria (si es telescópica).

No necesariamente el orden anterior tiene que ser ese, ya que esta depende de la magnitud de los diferentes factores citados.

Para realizar una clasificación de los emisores de acuerdo con su Coeficiente de Uniformidad (CU) se tienen en cuenta las siguientes tablas de valores:

Tabla 2. Valores recomendados de CU

<i>Emisores</i>	<i>pendiente(i)</i>	<i>CU</i>	
		<i>Clima árido</i>	<i>Clima húmedo</i>
		0,90 -	
	-Uniforme ($i < 2\%$)	0,95	
Emisores espaciados más de 4m en cultivos permanentes.	-Uniforme ($i > 2\%$) u	0,85 –	0,80 – 0,85
	ondulada	0,90	0,75 – 0,80
Emisores espaciados menos de 2,5 m en cultivos permanentes o semipermanentes.		0,85 -	
	-Uniforme ($i < 2\%$)	0,90	
	-Uniforme ($i > 2\%$) u	0,80 –	0,75 – 0,80
	ondulada	0,90	0,70 – 0,80
Mangueras o cintas de exudación en anuales.		0,80 –	
	-Uniforme ($i < 2\%$)	0,90	
	-Uniforme ($i > 2\%$) u	0,70 –	0,70 – 0,80
	ondulada	0,85	0,65 – 0,75

Fuente: Riego Localizado de Alta Frecuencia, Pizarro, 1996.

Siempre se ha considerado que cada sistema de riego está caracterizado por unos determinados valores de uniformidad y eficiencia. Pero en sus investigaciones (Keller et al, 1981) dicen que la uniformidad depende de mucho más del manejo de los sistemas de riego que del tipo de sistema utilizado.

3.6.1 CAUSAS DE BAJA UNIFORMIDAD

Como hay múltiples factores que afectan la uniformidad de riego, algunos autores han optado por simplificar esos factores con el fin de que la formulación de expresiones para el cálculo del Coeficiente de Uniformidad (CU) sea más simple, ya que si se incluyen todos sería mucho más complicado la formulación de dichas expresiones, por ello (Turegano, 2014) las resume y establece las siguientes causas de falta de uniformidad:

- Presencia de obturaciones
- Diferencias de temperatura
- Diferencias de presión
- Fabricación
- Numero de emisores por planta

3.6.1.1 PRESENCIA DE OBTURACIONES

La aparición de obturaciones como origen de falta de uniformidad de los sistemas de riego localizado puede considerarse de la forma que propusieron (Bralts & Edwards, 1987), quienes establecen un coeficiente de variación específico de la obturación de los emisores.

En lo posible lo mejor es que los emisores no estén obturados, lo que es posible lograr con un diseño y manejo adecuado del sistema de filtrado, y con la implementación de labores de mantenimiento, las necesarias al tipo de filtrado.

Aunque, tal vez el principal problema de los riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) sea el de las obturaciones, formadas muchas veces por los pequeños diámetros de los emisores o las bajas velocidades. Estas obturaciones también pueden ser debidas a varias causas, como se muestra a continuación:

Tabla 3. Causas de las obturaciones.

Partículas Minerales	Arena
	Limo
	Arcilla
	Otras

Partículas Orgánicas	Algas Bacterias Restos Vegetales
Precipitados Químicos	Sales del agua Depósitos de Fe, S y Mn Fertilizantes

Fuente: Riego Localizado de Alta Frecuencia, Pizarro 1996.

Muchas veces cuando el agua procede de pozos y el agua después pasa directamente al sistema de riego, lo normal es que en ella se transporten algunas partículas minerales como limos o a veces hay casos en que se transportan partículas de arena. También cuando el agua viene de un depósito al aire libre, las posibilidades de que en ella se desarrollen especies de algas, que a veces tienen un tamaño tan mínimo que logran pasar por los filtros lo que generaría un ambiente óptimo para el desarrollo de bacterias en las tuberías y emisores. Todas las aguas tienen una cantidad de sales que varían a diferentes condiciones como lo son los cambios de pH, evaporación, etc., las cuales se pueden precipitar obturando los emisores, y esto también puede ocurrir con los fertilizantes que se le añadan al agua de riego (Pizarro, 1996).

3.6.1.2 DIFERENCIAS DE TEMPERATURA

La temperatura es un factor muy importante ya que esta tiene gran efecto en los emisores, afectando la descarga de los emisores, las pérdidas de carga en las tuberías conductoras y la simetría de los conductos.

- **Efecto de la temperatura en el caudal de descarga de los emisores**

La viscosidad es una propiedad física del agua que se puede afectar por la temperatura, a su vez por ella afectar el caudal de los emisores. La temperatura también afecta el tamaño de las secciones de paso o cambia las propiedades de los materiales de construcción del sistema de riego (Solomon, 1985).

Estudios de Rodríguez et al., (1999) afirman que los cambios de caudal que se generan en los emisores no autocompensantes que se sometieron a diferentes temperaturas dependen del tipo de emisor, ya que en la prueba algunos aumentaban el caudal con la temperatura y otros, lo disminuían. Los emisores autocompensantes no presentaron cambios significativos en el caudal al variar la temperatura.

Recientemente, (Dogan & Kirnak, 2009) llegaron a la conclusión que cuando los emisores sufrían una exposición directa al sol el caudal de descarga podría verse alterado, pero que eso no afectaría significativamente a la uniformidad de riego.

3.6.1.3 DIFERENCIAS DE PRESION

La presión en principio siempre será distinta para todos los emisores de la unidad de riego ya que para esto intervienen factores como las diferencias en las cotas, diferencias de velocidades, pérdidas de carga continuas y pérdidas localizadas. Lo que conlleva a que así todos los emisores sean exactamente iguales el caudal que arrojan será diferente, generando una falta de uniformidad.

3.6.1.4 DIFERENCIAS DE CAUDAL: POR MOTIVOS DE FABRICACION

En su mayoría los emisores requieren un trabajo complejo en cuanto a su diseño y su fabricación ya que estos requieren de caudales de descarga bajo al ser un emisor de riego localizado, por lo que las dimensiones internas de este elemento son muy reducidas y precisas. Por lo tanto, existen variaciones, muy pequeñas pero que pueden representar una variación en algunos casos con un porcentaje representativo.

Los fabricantes a pesar de que son cuidadosos en su fabricación, pero los materiales, que en su mayoría son plásticos también tienen variaciones, que pueden ser en el proceso de la inyección del plástico como lo son: presión, temperatura, velocidad de inyección y la temperatura del molde (Turegano, 2014).

Por los motivos anteriores, (Solomon 1979) dice que, tomando dos emisores del mismo lote, ensayados a la misma presión y temperatura, estos arrojan caudales distintos. La dimensión de esa disimilitud se entiende que varía con el modelo del emisor, materiales de fabricación, modo de fabricación y su diseño.

4. METODOLOGÍA

4.1 LOCALIZACION DEL TERRENO

El estudio se realizó en la granja Experimental de la Universidad Surcolombiana la cual se encuentra ubicada en la jurisdicción del municipio de Palermo, en el departamento del Huila al sur de la ciudad de Neiva; geográficamente a los 2°5' latitud norte y los 75°20' latitud oeste, a una elevación de 450 msnm (Izquierdo et al., 2009).

4.2 ÁREA ESTUDIADA Y TIPO DE RIEGO

La granja cuenta con 30 hectáreas, donde 22 de ellas se encuentran beneficiadas de sistema de riego, de las cuales 4 has son frutales y 18 has en Arroz, el agua utilizada es proveniente del distrito de Riego El Juncal.

En las 4 has de frutales 3,17 de ellas se encuentran destinadas para el cultivo de Mango, este consta de una estación de bombeo la cual abastece todo el sistema de riego del cultivo, siendo este un riego por microaspersión dividido en dos sectores, y cuenta con dos tipos de microaspersores, uno para cada sector, uno beige y el otro morado; este sistema tiene una antigüedad de aproximadamente 16 años.

4.3 DIAGNÓSTICO SISTEMA DE RIEGO

Para la realización de un diagnóstico de un sistema de riego localizado, es de gran importancia conocer cómo se está tratando el agua utilizada para el funcionamiento de este sistema. De esta manera, el riego por microaspersión instalado en la Granja Experimental de la Universidad Surcolombiana toma el agua que proviene del Distrito de Riego El Juncal, la cual abastece el sistema por medio de una bomba centrífuga marca BARNES de referencia 2015S-15C tratada por dos tipos de filtros que se encuentran instalados.

El primer filtro por el que pasa el agua es el de arenas (Anexo 4), tiene una capacidad de 100GPM, sirve para la retención de contaminantes orgánicos como (algas, bacterias, restos químicos) e inorgánicos (arenas, limos, arcillas, precipitados químicos)

El otro sistema de filtrado consta de una especie de anillos de plástico que contienen una ranura, se encuentran uno sobre otro y se comprimen, formando un elemento filtrante; estos anillos tienden a tener una alta eficiencia en la separación de sólidos debido al número de capas filtrantes. (Flores, 2014). La eficiencia de este tipo de filtrado depende de qué tan limpio se encuentre.

Este sistema de filtrado se utiliza debido a que el agua que llega del Distrito no es sometida a un proceso de limpieza y por ende puede contener todo tipo de

partículas que puedan obstruir todo el sistema. Para poder verificar en qué estado se encuentran los filtros instalados en la estación de bombeo se procedió a realizar un chequeo de ambos y si es necesario su limpieza.

Una vez se realizó el mantenimiento al sistema de filtrado se efectuó un chequeo a todo el sistema de microaspersión, tanto a sus tuberías principales, secundarias y terciarias; así como la verificación en qué estado se encuentra cada uno de los emisores para hacer los respectivos ajustes, mantenimientos y reparaciones, y sí el sistema se encuentra funcionando en condiciones óptimas para el cultivo. Con esto se pretendió observar que tan afectado se encuentra este; teniendo en cuenta las observaciones se procedió a realizar una actualización y mejoramiento del plano actual de la granja en el sector de riego del cultivo de mango por microaspersión, dicha actualización será la verificación de árboles por cada sector y el estado de su respectivo emisor.

4.4 AFORO DE EMISORES Y DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y COEFICIENTE DE VARIACIÓN.

Después de realizado el chequeo y sus posibles arreglos al sistema de riego, se procedió a poner en funcionamiento este; realizando el aforo al sector #1 de riego el cual consta de 192 emisores los cuales se aforaron con un balde calibrado y un cronómetro durante 3 repeticiones de 30 segundos cada una, se aforó también el sector 2, el cual consta de 193 emisores y a estos se ejecutó el mismo procedimiento que el sector 1.

Por cuestiones de distribución de tuberías y para poder aplicar las metodologías de aforo que se van a mencionar más adelante, se realizó una subdivisión de los sectores de riego; por eso el sector 1 se dividió en 2 subsectores y el sector 2 en 4 subsectores.

Teniendo los resultados se procedió a la determinación del coeficiente de uniformidad, utilizando las ecuaciones (1) y (3) de Barragán *et al.* (2005), (2) Karmeli y Keller (1975), (4) y (5) Keller y Karmeli (1974).

$$C_U = 1.0 - 1.27 * \frac{Cvf}{\sqrt{ep}} \quad (1)$$

$$C_U = 100 * \left[1 - \frac{1.27 * Cvf}{\sqrt{ep}} \right] * \frac{q_{mind}}{q_{medd}} \quad (2)$$

Donde:

C_u : Coeficiente de uniformidad

C_{vf} : Coeficiente de variación de fabricación

ep : Número de emisores por planta

q_{mind} : Caudal mínimo (l/h)

q_{medd} : Caudal medio de dimensionamiento o diseño (l/h)

$$C_U = 1 - \sqrt{\left(1 - \frac{q_{mind}}{q_{medd}}\right)^2 + \left(\frac{1.27 * C_{vf}}{\sqrt{ep}}\right)^2} \quad (3)$$

$$C_U = 100 * \frac{q_{25\%h}}{q_{medd}} \quad (4)$$

$$C_U = 100 * \left[1 - u + u * \frac{q_{25\%h}}{q_{medh}}\right] * \frac{q_{mind}}{q_{medd}} \quad (5)$$

Donde:

$q_{25\%h}$: Caudal medio del 25% de los emisores de menor caudal (l/h)

q_{medh} : Caudal medio de la muestra de emisores operados a presión de referencia (l/h)

Después de calculados los coeficientes de uniformidad se llevó a cabo a realizar el cálculo del coeficiente de variación (CV) utilizando la ecuación (6) de Pizarro, (1996):

$$CV = \frac{\sigma}{q_a} \quad (6)$$

CV : Coeficiente de variación

σ : Desviación típica

q_a : Caudal medio (l/h)

4.5 PROPUESTA DE AFORO

Para poder determinar la uniformidad de un sistema en laterales de riego con emisores auto compensados, se presentan a continuación las siguientes propuestas para poder obtener este coeficiente sin la necesidad de realizar la medición a todos los emisores que conforman el sistema de riego; estos procedimientos se aplicaron en cada uno de los subsectores de riego.

Estas propuestas se implementaron con el fin de realizar un análisis comparativo entre ellas con respecto al valor real de la uniformidad hallada a partir del aforo de todos los emisores.

1. Merriam y Keller (1978) proponen elegir en la unidad a estudiar seleccionar cuatro laterales, el primero, el que se encuentra a 1/3 del origen, a 2/3 y el último. Por cada lateral se seleccionan cuatro plantas teniendo en cuenta el mismo criterio (primero, 1/3, 2/3 y ultimo). Se denomina en esta investigación como: Propuesta 1. Esta metodología de aforo es muy utilizada por muchos investigadores como Duran-Ros et al., (2015); Carmenates et al., (2014); Cruz Tun Dzul et al., (2011); Apaza & Lopez, (2016) la recomiendan ya que es una herramienta que optimiza el manejo y la operación de sistemas de riego, y también generando ventajas económicas al momento de realizar trabajo de campo, debido a que esta metodología toma una muestra de caudal de 16 emisores de todo el sistema de riego.

2. Para la realización de un análisis comparativo teniendo en cuenta diferentes métodos se propusieron aleatoriamente 7 distintas maneras de aforar un sistema de riego, tomando varias longitudes a lo largo del lateral teniendo en cuenta las pérdidas por fricción que se producen en el mismo.

Las metodologías nuevas de aforo que se probaron a lo largo de la longitud del lateral fueron las siguientes:

- Propuesta 2: a (20 – 40 – 60) % de la longitud total del lateral.
- Propuesta 3: a (20 – 40 – 80) % de la longitud total del lateral.
- Propuesta 4: a (20 – 40 – 100%) de la longitud total del lateral.
- Propuesta 5: a (0 – 20 – 60) % de la longitud total del lateral.
- Propuesta 6: a (0 – 20 – 40) % de la longitud total del lateral.
- Propuesta 7: a (0 – 40 – 60) % de la longitud total del lateral.
- Propuesta 8: a (0 – 40 – 80) %. de la longitud total del lateral.

Estas propuestas se hicieron con el fin de disminuir la toma de muestras de emisores a solo 9 con propósito de que los resultados sean acertados con respecto a los reales.

4.6 DETERMINACION DE LA ECUACION DEL EMISOR

Para la determinación de la ecuación del emisor se tomó un emisor de cada uno de los sectores de riego (Uno de boquilla color beige y otro de boquilla color morado) los cuales fueron desarmados para su limpieza o reemplazo de piezas, se armaron y desarmaron 3 veces cada uno antes de iniciar la prueba ; se instaló un banco de prueba para los emisores en el cual se usa una bomba de marca Perfetti con una capacidad de ½ HP, esta se operó a presiones de 20, 25 y 30 PSI, luego se aforaron los emisores cada uno por tres veces en cada una de las diferentes presiones por un tiempo de 30 segundos para después procesar los datos, las lecturas de descargas son tomadas como mínimo dos minutos después de haber fijado la presión y obtener la ecuación correspondiente a cada emisor.

Esto se realizó mediante dos métodos; el primero es el método grafico utilizando una hoja de Excel que permitió por medio de la gráfica conocer la Ecuación del emisor que tuvo las siguientes características:

$$q = KH^x \quad (7)$$

Donde:

q = Caudal del emisor

K = Coeficiente de descarga del emisor (Constante de proporcionalidad)

H = Carga de presión del funcionamiento del emisor

x = Exponente de descarga del emisor

Para el segundo método se llevó a cabo el cálculo del exponente de descarga del emisor, se empleó la descarga y la presión de operación del emisor a dos presiones diferentes; exponente de descarga del emisor que se determina con la siguiente ecuación:

$$x = \frac{\ln \frac{q_1}{q_2}}{\ln \frac{H_1}{H_2}} \quad (8)$$

Una vez hallado el valor de x , el coeficiente K se obtuvo despejándolo de la ecuación 7, teniendo, así como resultado la siguiente expresión:

$$K = \frac{q_1}{H_1^x} \quad (9)$$

La medida de sensibilidad de los emisores a un cambio de presión se dio mediante el exponente de descarga x (Pizarro, 1996). Algunos valores de x para la clasificación de los emisores se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4. Exponentes de descarga de emisores.

<i>Emisor</i>	<i>X</i>
- De régimen lateral	1
- Microtubos	0.75 – 1
- Helicoidal	0.65 – 0.75
- De régimen turbulento (orificio, de laberinto)	0.5
- Vortex	0.5
- Autocompensante	0 – 0.4
- Teórico perfectamente autocompensante	0

Fuente: Riego Localizado de Alta Frecuencia, Pizarro 1996.

La relación q - h se puede representar gráficamente con el caudal en ordenadas y la presión en abscisas, como muestra la figura 2, que es la forma usual de presentar la relación q - h por los fabricantes.

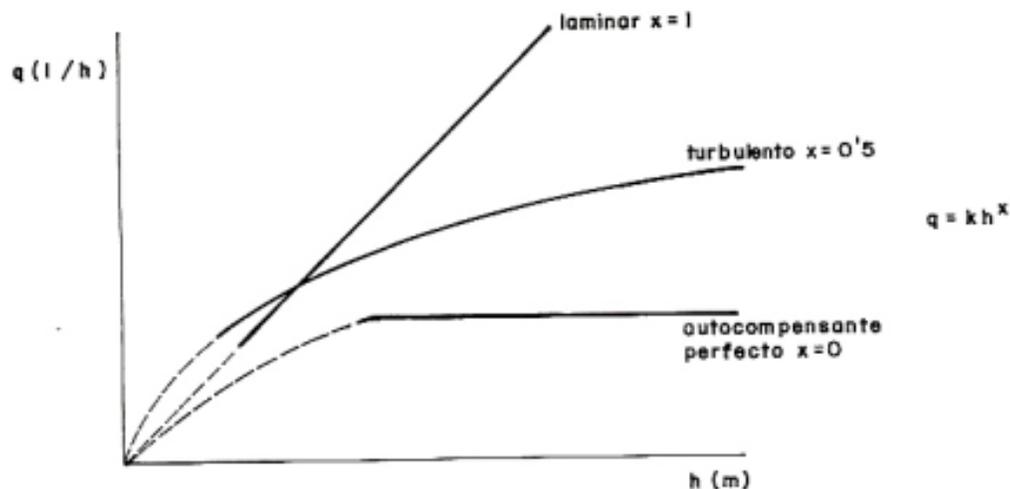


Figura 2. Relación q - h en emisores.

Fuente: Riego Localizado de Alta Frecuencia, Pizarro 1996.

4.7 LA PRESIÓN DEL LATERAL

En la toma de presiones en los laterales se seleccionaron aleatoriamente a 24 laterales de todo el sistema de riego, 4 por cada subsector. A cada uno de los laterales se le tomaron 4 mediciones de presión, con base en Merriam y Keller (1978), midiendo al inicio, a 1/3, 2/3 y al final de la longitud del lateral.

El fin de la toma de muestras es analizar el comportamiento de la presión a lo largo de los laterales.

4.8 DIAGNOSTICO DE UNIFORMIDAD

La uniformidad de riego depende de muchos factores, pero para efectos de evaluación todos estos factores se pueden agrupar en dos, los cuales son las condiciones hidráulicas y la baja uniformidad en los emisores, por esto Bralts y Kesner (1983) proponen un método que consiste en calcular tres coeficientes de variación (Ecuación 11, 12 y 13), que son los siguientes:

CVt: coeficiente de variación total de caudales.

Cve: coeficiente de variación de caudales debido a la baja uniformidad de los emisores.

CVh: coeficiente de variación de caudales debido a causas hidráulicas.

El coeficiente de uniformidad para efectos de la aplicación de esta metodología se calculó bajo la ecuación 10 de Christiansen propuesta por el en 1942.

$$CU = \frac{q_{25}}{q_a} \quad (10)$$

Donde, q_a es el caudal medio de todos los emisores de la instalación y q_{25} es el caudal medio de los emisores que constituyen el caudal promedio del 25 % de los emisores de mas bajo caudal de la muestra.

CVt se calculó según:

$$CVt = \frac{\sigma_q}{q_a} \quad (11)$$

Siendo q_a el caudal medio recibido por 16 plantas (tomadas bajo el método de aforo de Merriam y Keller (1978) y σ_q la desviación típica de 16 caudales. La tabla 5 muestra la clasificación de la uniformidad en función de CVt.

Tabla 5. Clasificación de la uniformidad de CVt

CVt	Uniformidad
>0,4	Inaceptable
0,4 – 0,3	Baja
0,3 – 0,2	Aceptable
0,2 – 0,1	Muy buena
0,1 - 0	Excelente

Fuente: Riego Localizado de Alta Frecuencia, Pizarro 1996.

CVh se calculó según:

$$CV_h = \frac{\sigma_p}{p_a} \quad (12)$$

Siendo p_a la presión media en las 16 plantas y σ_p la desviación típica de las 16 presiones.

CVe se calculó según:

$$CVe = \sqrt{CV_t^2 - x^2 CV_h^2} \quad (13)$$

Donde x es el exponente de descarga del emisor que en caso de no ser conocido se puede sustituir por 0,5. Se considera que, si CVe tiene que estar por debajo de 0,2, en el caso de CVt los emisores son inadecuados (Alto CV) o están obturados. Si CVt es inadecuado y CVe < 0,2, hay que comprobar cuál de las causas hidráulicas ocasiona la baja uniformidad (Pizarro, 1996).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

INSPECCIÓN DEL RIEGO

En la visita de campo fue notable que el sistema de riego no funciona uniformemente, ya que se observó que la descarga de los emisores estaba siendo muy poca, muchos de ellos taponados, algunos emisores con piezas faltantes, partes del lote inundadas debido a que alguna tubería de los laterales estaba desconectada de la tubería terciaria.

Seguidamente se procedió con la inspección al sistema de filtrado que se localiza en el cabezal de control del sistema; la falta de una adecuada descarga de los emisores y el taponamiento de ellos puede ser consecuencia de un mal proceso en los filtros; por ello se observaron los filtros y se evidenció que el filtrado no se encuentra en óptimas condiciones, debido a que no se efectúa un mantenimiento constante; evidentemente en el filtro de arenas en sus paredes se encuentran residuos de arcillas compactadas, y en el fondo estas arcillas se sedimentaron, por esta razón se afecta el funcionamiento correcto de este filtro disminuyendo su capacidad; posteriormente se procedió a realizar un mantenimiento básico de este, lo primero que se hizo es encender la bomba y situar la válvula sobre la posición de retro lavado, para abrir la válvula del tubo de descarga.

Una vez activada la bomba, ésta sólo debe apagarse cuando el agua que salga esté completamente limpia, sin embargo, no se observó totalmente limpia de partículas.

El mantenimiento del filtro consistió en extraer toda la arena que contiene este para proceder con un lavado de ella, debido a que contaba con un contenido de arcilla bastante alto, y las paredes estaban con sedimentos como consecuencia de no realizar un mantenimiento constante, la arena extraída se lavó antes de volver a vaciarla en el filtro, aunque lo ideal es realizar un cambio de esta.

Para la limpieza del filtro de anillos se procedió a desenroscarlo y separar sus anillos, y por medio de agua a presión limpiarlo y retirarle todas las partículas que se encuentren en este.

Una vez efectuada la limpieza al sistema de filtrado se realizó un chequeo más cuidadoso a todo el sistema de microaspersión, en el que se pretendió conocer que tan deficiente se encontraba el riego; teniendo en cuenta esto se efectuó una verificación del número de árboles que se encuentran en el plano, y que estos cuente con su respectivo emisor para así llevar cabo una actualización y mejoramiento del plano, puntualmente en el lote de riego del cultivo de mango; también se efectuó el conteo del número de laterales y a cada uno se le asignó un

numero para así mismo en la investigación posterior poder identificarlos. (Ver Figura 3).

Fue posible comprobar que las 3,17 hectáreas donde se encuentra el sistema de riego por microaspersión y el cultivo de mango hay un total 353 emisores, divididos en dos tipos, uno para cada sector de riego.

El primer sector de riego cuenta con un emisor autocompensado el cual tiene una boquilla de color beige y un caudal de 45 l/h, este consta de 27 laterales los cuales se encuentran unidos a una tubería secundaria de 2" de diámetro, teniendo así un total de 197 árboles, de los cuales 192 cuenta con emisores pero en los que 9 de ellos son de otra referencia (Boquilla color morado) debido a que anteriormente ha sido necesario su cambio por deterioro o daños realizado por los trabajadores en actividades agrícolas y 5 árboles del sector no cuentan con emisor. Por otro lado, el sector número 2 consta de un emisor autocompensado con una boquilla de color morado y un caudal de 40 l/h, este consta de 41 laterales de riego los cuales están conectados a una tubería secundaria de 2" de diámetro, conformado por 161 árboles que cada uno cuenta con su respectivo emisor.

Uno de los mayores problemas que se plantean en un sistema de riego localizado es la presencia de todo tipo de obstrucciones en los emisores, el motivo por el cual tienden a taponarse es el pequeño diámetro de paso de los mismos. Para poder evitar este tipo de inconvenientes es importante prestar atención a los tratamientos de agua de riego para evitar precipitaciones.

Seguidamente se realizó una revisión a los dos sectores del sistema de riego para poder determinar qué afectaciones ha adquirido éste con el pasar de los años.

A cada uno de los emisores se les hizo su respectiva inspección para así determinar en qué condiciones se encontraba, algunos emisores solo necesitan una limpieza de algunas piezas como las boquillas, bailarinas, protector de insectos, geomembrana y manguera; también como cambio de ellas, debido a que diversos factores afectan las partes del emisor, como lo son el paso de la guadaña la cual corta las mangueras y los porta-emisores lo que ocasiona el encharcamiento en algunos sectores del cultivo (Anexos 11, 12, 13, 14). Algunos insectos también influyen en el deterioro y mal funcionamiento de los emisores como lo son las hormigas y las arañas que usan los emisores o las tuberías para protegerse o reproducirse; haciendo sus nidos, ya que el sistema dura en algunos casos mucho tiempo sin encenderse; (Anexo 15, 16), la materia orgánica y la suciedad también ocasiona obstrucciones al paso del agua.

Algunos de los emisores se suspendieron ya que no les estaba llegando agua debido al enraizamiento de los árboles dentro de las mangueras y a causa del pisoteo frecuente por parte de las llantas del tractor y demás vehículos.

Teniendo en cuenta los diversos factores que afectan el buen funcionamiento del sistema de riego se le realizó la actualización al mapa con respecto al número de árboles y emisores, y se identificó con un color los emisores a los cuales se les hace mantenimiento, limpieza y los que no se encuentran en funcionamiento (Color azul para mantenimiento, color violeta para limpieza y color rojo para los que no están en funcionamiento). La actualización del plano se puede apreciar a continuación en la Figura 3.

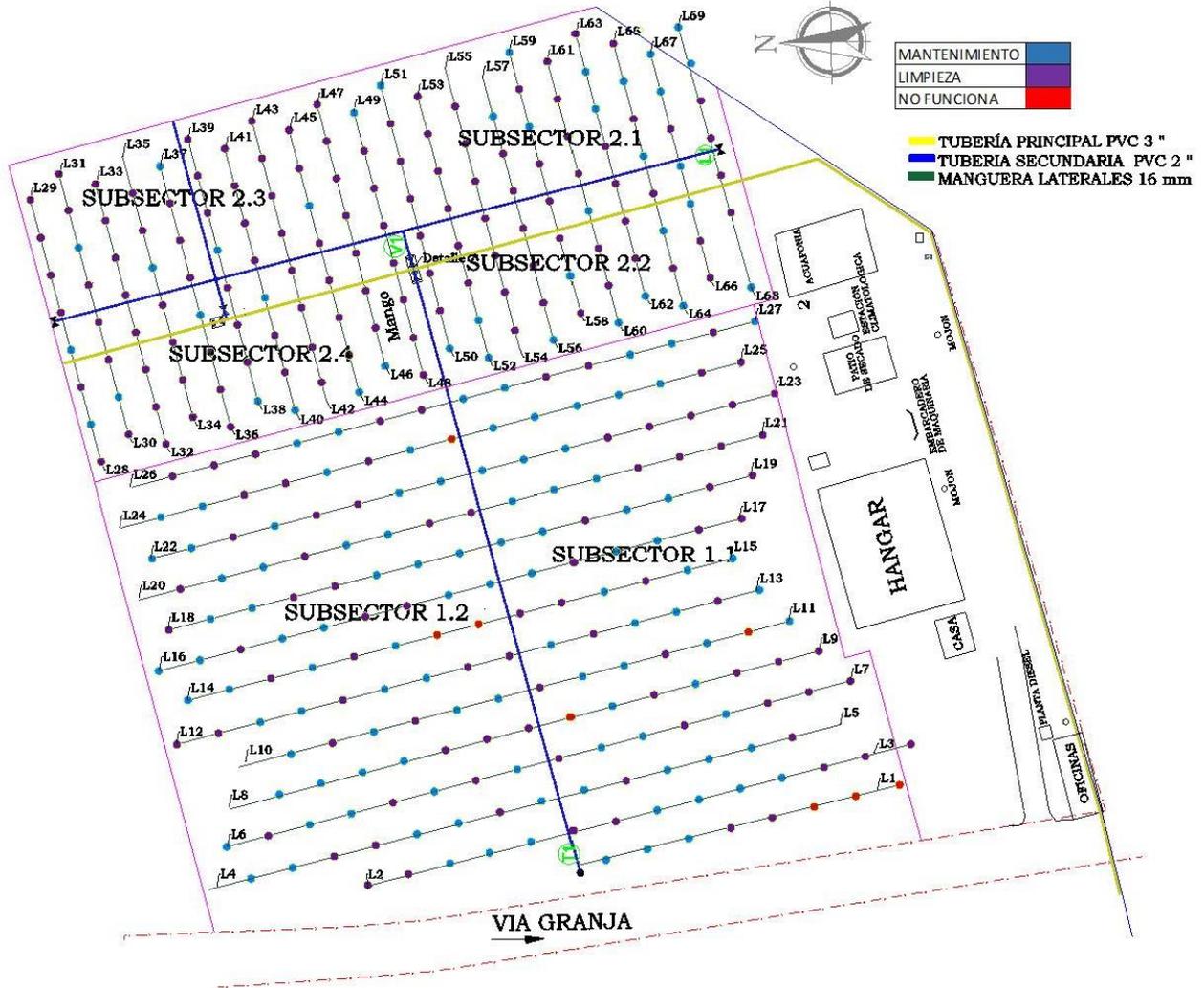


Figura 3. Mapa de cultivo de mango actualizado (Granja experimental Universidad Surcolombiana).

En La figura 3 se observa la distribución de los subsectores de riego, distribución de tuberías principal y secundaria, mangueras de laterales y su orientación, siendo norte-sur para el sector 1 y de oriente-occidente para el sector 2; también se observa la ubicación de los microaspersores y su estado.

El sector 1 se encuentra más afectado por taponamientos y deterioro, esto podría ser consecuencia a las diferencias de referencia entre emisores que a su vez hace que presenten desigualdades en cuanto a características y tolerancia a diferentes entornos, razón lo que los puede hacer más vulnerables, ya que para el sector 2 se utilizan emisores de otra referencia.

Una vez culminadas las funciones de mantenimiento y limpieza de emisores se calculó el porcentaje de emisores a los que se les realizó los procesos mencionados para así tener conocimiento del estado en que se encontró el sistema de riego en los dos sectores.

A continuación, se ilustran (Tabla 6) los resultados obtenidos del mantenimiento, la limpieza y los emisores dados de baja en el Sector 1 del riego con Boquilla Beige.

Tabla 6. Porcentajes del estado en que se encuentra el Sector de riego 1.

Sector 1 de Riego (Boquilla Beige)	
	%
Mantenimiento	53,27
Limpieza	42,71
No Sirve	4,02
Total	100

Teniendo en cuenta el porcentaje obtenido por el mantenimiento (53,27%) se observó que en el sector 1 de Riego se requieren accesorios para cambio en los emisores, lo que puede ser consecuencia a diferentes factores antrópicos; cuando se está realizando el corte del pasto del sector con la guadaña no se tienen los cuidados en el momento de pasar este instrumento cerca de los emisores, con las cuchillas cortan las bailarinas, las boquillas y las estacas porta emisores dejando este inservible; también el sistema se ve afectado con el pisoteo del tractor cuando se va a realizar la poda de las ramas de los árboles, esto daña la manguera y ocasiona fugas de agua.

La limpieza (42,71%) se efectuó teniendo en cuenta que como el sistema de riego se encuentra instalado en un cultivo el cual no se va a utilizar frecuentemente, en ese lapso de tiempo a los emisores los obstruyen las hormigas y arañas, las cuales realizan sus nidos, también se llenan de polvo que al contacto con el agua se genera un tipo de arcilla que genera taponamiento y sedimentos en la tubería y emisores debido a que no tienen un mantenimiento y uso constante.

El 4,02% restante se debe a que a los emisores no les llega el agua ya que las mangueras se encuentran obstruidas debido al enraizamiento por parte de los árboles.

Tabla 7. Porcentaje del estado del Sector 2 del riego.

Sector 2 de Riego (Boquilla Morada)	
	%
Mantenimiento	23,90
Limpieza	76,10
No Sirve	0
Total	100

En el sector 2 de Riego el porcentaje de microaspersores a los que se les hizo mantenimiento fue mucho menor con respecto al sector 1 (23,90%) y esto ocurre ya que estos emisores son de diferentes características de fabricación, por ende, no se han visto tan afectados como el sector 1 por los diversos factores antrópicos. Lo que quiere decir que son menos amigables con los insectos lo cual es una ventaja con respecto a los emisores que son afectados por ellos.

Gran parte de los emisores requerían una limpieza (76,10%), estos se encontraron obstruidos por hormigas, arañas y tierra, debido a que el sistema de riego no se enciende frecuentemente, generando las condiciones óptimas para que estos seres vivos se ubiquen en los emisores; muchas de las mangueras se encuentran taponadas debido al barro; en su mayoría los laterales estaban saturados de lodo, ya que cuando se abrió al final de los laterales para que de este escurriera el agua al inicio el agua que este expulsaba era de color café oscuro, y se dejan escurrir hasta que el agua se tornara más clara (Anexo 7).

Sin embargo, en el sector 2 todos los emisores se encontraron en funcionamiento, algunos con menos potencia que otros.

Caudal de emisores

En la figura 4 se aprecia la variabilidad espacial de la descarga de los emisores donde se evidenció que a medida que aumenta la longitud de los laterales desde el inicio el caudal de descarga va siendo descendente, ya que a la entrada de los laterales el caudal que se entrega es el caudal de descarga que deberían arrojar los emisores para el sector 1, de 40 l/h y para el sector 2 es de 45 l/h; aunque

Los resultados obtenidos en la tabla 8 son el Coeficiente de Uniformidad (CU) empleando diferentes ecuaciones y evalúa el desempeño de todos los emisores del sistema.

Tabla 8. Coeficientes de uniformidad tomando en cuenta todos los emisores de cada subsector y evaluados por 5 ecuaciones diferentes.

Subsector	CV	Barragán	Karmeli y	Barragán	Keller y	Keller y
		(2005) Ec. 1	Keller (1975) Ec. 2	(2005) Ec. 3	Karmeli (1974) Ec. 4	Karmeli (1974) Ec. 5
1.1	0,23	70,73	29,17	34,35	71,01	13,25
1.2	0,18	76,68	47,13	54,96	75,29	20,75
2.1	0,14	82,02	61,37	69,06	85,06	36,83
2.2	0,17	78,73	50,25	58,04	78,70	28,80
2.3	0,17	77,88	42,06	48,96	75,04	24,76
2.4	0,15	81,47	56,02	63,68	81,29	34,14

Para la obtención del Coeficiente de Uniformidad (CU) mediante la metodología de Merriam y Keller (1978) se evaluaron las descargas de 16 emisores de cada subsector como está indicado en la metodología.

En la tabla 9 se registraron los datos como muestra correspondiente para el sector 1.1 en la aplicación de la metodología de aforo planteada por Merriam y Keller (1978).

Tabla 9. Volúmenes obtenidos en los emisores de cada planta del sector 1.1, en l/h

	Lateral Primero	Lateral a 1/3	Lateral a 2/3	Lateral Ultimo
Planta Primera	26,28	23,2	30,28	26
Planta 1/3	24,2	20,48	29,36	14
Planta a 2/3	19,68	15,4	18,32	17
Planta Ultima	18,56	15,04	13,6	8

A partir de los datos obtenidos se obtuvo el caudal medio aplicado Q_{medio} :

$$Q_{medio} = \frac{(26,28 + 23,2 + 30,28 + \dots + 15,04 + 13,6 + 8)}{16} = 19,96 \frac{l}{h}$$

El caudal medio del cuarto inferior se obtuvo calculando el promedio del cuarto de los valores que presentan menor volumen de agua $q_{25\%}$:

$$q_{25\%} = \frac{8 + 13,6 + 14 + 15,04}{4} = 12,66 \frac{l}{h}$$

El coeficiente de variación se determinó mediante la ecuación 6 que tomó valores de caudal medio de la muestra y la desviación estándar de la misma.

$$Cv = \frac{6}{19,96 l/h} = 0,30$$

Tabla 10. Coeficientes de uniformidad evaluando 5 ecuaciones sector 1.1 (Método de Merriam y Keller).

CV	Barragán (2005) Ec. 1	Karmeli y Keller (1975) Ec. 2	Barragán (2005) Ec. 3	Keller y Karmeli (1974) Ec. 4	Keller y Karmeli (1974) Ec. 5
0,30	61,78	24,76	28,92	63,42	11,27

Como se aprecia en la tabla anterior (Tabla 10) los coeficientes de uniformidad entre los subsectores que conforman el sistema de riego, al realizar la aplicación de las diferentes ecuaciones y con todas las metodologías varían significativamente ya que entre los emisores hay diferencias de caudal en todo el sistema de riego debido a que están sometidos a diferentes presiones, las que a su vez dependen de los desniveles topográficos y de las pérdidas de carga en la red de tubería de riego (Pizarro, 1996).

De la misma forma se realizó para el cálculo de los coeficientes de uniformidad de los demás subsectores de riego en la utilización de la metodología de Merriam y Keller y las metodologías propuestas para realizar la comparación respectiva entre ellas (Ver tabla 11).

Al obtener todos los resultados a partir de la aplicación de las diferentes ecuaciones para la determinación del coeficiente de uniformidad; se observó que los resultados presentan una variación significativa dependiendo de la ecuación utilizada, esto se debe a que cada una de las ecuaciones utiliza diferentes variables.

Para corroborar lo anterior, y determinar si existen diferencias entre las ecuaciones se procedió a realizar un análisis de varianza (ANOVA) a cada uno de los subsectores, simplemente tomando los datos de coeficiente de uniformidad calculados en el subsector 1.1. Este análisis se realizó utilizando el software Matlab.

Tabla 11. Coeficientes de uniformidad aplicando las metodologías de aforo planteadas para todos los subsectores de riego.

		Qmedio (l/h)	q25% (l/h)	CV	CU 1	CU 2	CU3	CU4	CU5
Subsector 1.1	Valores reales	20,4	14,0	0,2	70,7	29,2	34,4	71,0	13,3
	Merriam & Keller (1978)	20,0	12,7	0,3	61,8	24,8	28,9	63,4	11,3
	20% - 40% - 60%	20,8	16,2	0,2	73,1	53,7	62,2	77,6	26,4
	20% - 40% - 80 %	21,2	15,4	0,2	74,0	48,4	56,7	73,0	22,5
	20% - 40% - 100%	17,4	9,8	0,3	60,0	29,0	34,7	56,2	10,5
	0 % - 20% - 60%	23,1	16,4	0,2	73,4	48,7	57,1	71,2	24,3
	0% - 20% - 40%	22,8	18,6	0,1	84,4	63,0	70,2	81,3	30,8
	0% - 40% - 60%	22,8	17,5	0,2	78,3	60,1	68,2	76,9	29,9
	0% - 40% - 80%	23,6	18,2	0,2	79,1	57,0	65,2	77,2	29,2
Subsector 1.2	Valores reales	20,2	15,2	0,2	76,7	47,1	55,0	75,3	20,7
	Merriam & Keller (1978)	20,0	13,2	0,3	68,2	42,4	50,6	66,1	18,2
	20% - 40% - 60%	21,2	19,1	0,1	90,3	80,3	85,2	89,8	37,7
	20% - 40% - 80 %	20,4	17,4	0,1	87,1	70,5	77,0	85,2	31,3
	20% - 40% - 100%	20,6	15,0	0,2	77,0	48,7	56,7	72,8	21,0
	0 % - 20% - 60%	22,2	19,4	0,1	90,6	77,1	82,4	87,4	36,7
	0% - 20% - 40%	22,3	20,8	0,0	93,8	81,1	85,1	93,3	39,9
	0% - 40% - 60%	22,0	20,0	0,1	92,5	83,5	87,7	90,6	40,0
	0% - 40% - 80%	21,6	17,9	0,1	84,4	64,6	71,8	82,8	30,4
Subsector 2.1	Valores reales	23,1	19,7	0,1	82,0	61,4	69,1	85,1	36,8
	Merriam & Keller (1978)	22,5	20,0	0,1	87,8	67,5	73,8	88,6	38,4
	20% - 40% - 60%	25,4	23,4	0,1	92,0	84,7	88,8	92,1	53,9
	20% - 40% - 80 %	26,8	24,0	0,1	83,0	74,1	79,9	89,3	53,5
	20% - 40% - 100%	23,7	19,7	0,1	84,2	61,4	68,7	83,0	36,0
	0 % - 20% - 60%	25,3	23,2	0,1	91,1	82,7	87,2	91,6	52,6
	0% - 20% - 40%	25,4	23,4	0,1	91,7	82,9	87,3	92,3	53,0
	0% - 40% - 60%	24,0	23,0	0,0	95,4	91,2	93,6	95,6	54,9
	0% - 40% - 80%	25,4	22,8	0,2	80,4	71,7	77,6	89,7	50,8
Subsector 2.2	Valores reales	22,9	18,1	0,2	78,7	50,3	58,0	78,7	28,8
	Merriam & Keller (1978)	21,7	17,1	0,2	79,9	53,9	61,8	79,1	29,0
	20% - 40% - 60%	24,9	23,2	0,1	91,3	85,1	89,0	93,3	54,1
	20% - 40% - 80 %	24,8	21,2	0,1	88,1	68,1	74,4	85,5	40,9
	20% - 40% - 100%	22,4	17,7	0,2	80,4	63,2	71,0	79,1	34,8
	0 % - 20% - 60%	24,4	20,8	0,1	85,7	65,5	72,5	85,1	39,7
	0% - 20% - 40%	24,4	20,8	0,1	85,6	65,5	72,5	85,1	39,7
	0% - 40% - 60%	22,5	18,7	0,1	87,8	72,7	78,9	82,9	38,7
	0% - 40% - 80%	22,5	18,2	0,1	83,3	65,6	73,0	80,9	35,8
Subsector 2.3	Valores reales	24,4	18,3	0,2	77,9	42,1	49,0	75,0	24,8
	Merriam & Keller (1978)	26,6	21,8	0,1	83,4	55,9	63,1	81,8	36,5
	20% - 40% - 60%	23,4	14,5	0,3	65,5	40,5	48,5	61,8	22,4
	20% - 40% - 80 %	22,5	14,4	0,3	67,9	43,5	51,8	64,3	23,2
	20% - 40% - 100%	21,6	13,8	0,3	62,5	38,2	46,0	64,2	21,2
	0 % - 20% - 60%	23,9	14,6	0,3	64,8	39,4	47,3	61,0	22,1
	0% - 20% - 40%	23,2	14,6	0,3	66,5	41,5	49,7	62,8	22,7
	0% - 40% - 60%	27,7	26,6	0,0	95,3	91,6	93,9	96,1	63,9
	0% - 40% - 80%	26,6	24,9	0,0	94,8	87,6	90,8	93,9	57,6
Subsector 2.4	Valores reales	24,4	19,9	0,1	81,5	56,0	63,7	81,3	34,10
	Merriam & Keller (1978)	25,3	19,3	0,2	79,8	54,5	62,5	76,2	33,00
	20% - 40% - 60%	27,0	22,9	0,1	85,2	72,3	78,9	84,9	48,65
	20% - 40% - 80 %	24,5	21,9	0,1	90,4	76,9	82,3	89,3	46,53
	20% - 40% - 100%	22,8	17,1	0,2	79,2	58,3	66,4	74,8	31,43
	0 % - 20% - 60%	27,7	24,5	0,1	87,6	72,4	78,6	88,2	50,54
	0% - 20% - 40%	26,0	24,4	0,0	94,2	83,0	86,8	93,8	53,74
	0% - 40% - 60%	28,0	25,8	0,1	89,7	82,8	87,2	92,3	59,64
	0% - 40% - 80%	25,7	23,5	0,1	93,4	83,8	87,7	91,5	52,62

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para el subsector 1.1 del análisis de varianza.

Tabla 12. Análisis de varianza (ANOVA) para las cinco ecuaciones utilizadas para determinar el coeficiente de uniformidad del subsector 1.1.

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad (p)
Entre grupos	13440,6277	4	3360,15692	26,20582554	4,2011E-10
Dentro de los grupos	4487,76139	35	128,221754		
Total	17928,3891	39			

Teniendo como resultado la ANOVA con un nivel de significancia del 95% del subsector 1.1 se rechaza la hipótesis ($p < 0,05$) lo cual concluye que no todas las medias son iguales y que existen diferencias significativas entre las ecuaciones utilizadas para el cálculo de datos de coeficiente de uniformidad.

Tomando como referencia de que se rechaza la hipótesis nula, se procedió a realizar un test de Tukey, la cual mostró como resultado (Tabla 13) diferencias significativas entre las 5 ecuaciones utilizadas.

Tabla 13. Test de Tukey para cada las cinco ecuaciones (Ec.1, Ec.2, Ec.3, Ec.4, Ec.5) las cuales determinan el coeficiente de uniformidad del subsector 1.1. Las diferencias significativas ($p < 0,05$) se encuentran en negrita.

	EC.1	EC.2	EC.3	EC.4	EC.5
EC.1	-				
EC.2	24,92	-			
EC.3	17,61	-7,31	-		
EC.4	0,91	-24,01	-16,69	-	
EC.5	49,91	24,99	32,31	49,00	-

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) a cada uno de los subsectores restantes (1.2, 2.1, 2.2, 2.3, 2.4) y en cada uno de ellos se rechaza la hipótesis nula ($p < 0,05$) lo cual indica que existen diferencias significativas entre cada una de las ecuaciones utilizadas para determinar el Coeficiente de Uniformidad.

Tabla 14. Calculo error relativo para sectores 1.1 y 1.2

	Barragán (2005) Ec. 1	Karmeli y Keller (1975) Ec. 2	Barragán (2005) Ec. 3	Keller y Karmeli (1974) Ec. 4	Keller y Karmeli (1974) Ec. 5	
Subsector 1.1	Valores reales	70,7	29,2	34,4	71,0	13,3
	¹ Propuesta 1	61,8	24,8	28,9	63,4	11,3
	² Propuesta 2	73,1	53,7	62,2	77,6	26,4
	³ Propuesta 3	74,0	48,4	56,7	73,0	22,5
	⁴ Propuesta 4	60,0	29,0	34,7	56,2	10,5
	⁵ Propuesta 5	73,4	48,7	57,1	71,2	24,3
	⁶ Propuesta 6	84,4	63,0	70,2	81,3	30,8
	⁷ Propuesta 7	78,3	60,1	68,2	76,9	29,9
	⁸ Propuesta 8	79,1	57,0	65,2	77,2	29,2
	¹ Error Propuesta 1	12,7	15,1	15,8	10,7	14,9
	² Error Propuesta 2	3,4	84,2	81,2	9,3	99,3
	³ Error Propuesta 3	4,6	66,0	65,2	2,8	69,4
	⁴ Error Propuesta 4	15,1	0,5	1,0	20,9	20,9
	⁵ Error Propuesta 5	3,7	67,0	66,3	0,3	83,0
	⁶ Error Propuesta 6	19,3	115,9	104,3	14,6	132,4
	⁷ Error Propuesta 7	10,7	106,1	98,6	8,3	125,8
⁸ Error Propuesta 8	11,9	95,6	89,7	8,7	120,4	
Subsector 1.2	Valores reales	76,7	47,1	55,0	75,3	20,7
	¹ Propuesta 1	68,2	42,4	50,6	66,1	18,2
	² Propuesta 2	90,3	80,3	85,2	89,8	37,7
	³ Propuesta 3	87,1	70,5	77,0	85,2	31,3
	⁴ Propuesta 4	77,0	48,7	56,7	72,8	21,0
	⁵ Propuesta 5	90,6	77,1	82,4	87,4	36,7
	⁶ Propuesta 6	93,8	81,1	85,1	93,3	39,9
	⁷ Propuesta 7	92,5	83,5	87,7	90,6	40,0
	⁸ Propuesta 8	84,4	64,6	71,8	82,8	30,4
	¹ Error Propuesta 1	11,0	10,1	8,0	12,2	12,2
	² Error Propuesta 2	17,7	70,3	55,1	19,2	81,6
	³ Error Propuesta 3	13,6	49,5	40,1	13,2	50,8
	⁴ Error Propuesta 4	0,4	3,3	3,1	3,3	1,3
	⁵ Error Propuesta 5	18,2	63,6	49,9	16,0	76,7
	⁶ Error Propuesta 6	22,3	72,0	54,8	24,0	92,4
	⁷ Error Propuesta 7	20,6	77,1	59,6	20,4	93,0
⁸ Error Propuesta 8	10,1	37,0	30,6	10,0	46,5	

¹Aforo propuesta Merriam y Keller (1978) a 0, 33.3, 66.6 y 100 % de la longitud total.

²Aforo a 20,40 y 60 % de la longitud total.

³Aforo a 20,40 y 80% de la longitud total.

⁴Aforo a 20, 40 y 100% de la longitud total.

⁵Aforo a 0, 20, 60% de la longitud total.

⁶Aforo a 0, 20 y 40% de la longitud total.

⁷Aforo a 0, 40 y 60% de la longitud total.

⁸Aforo a 0, 40 y 80% de la longitud total.

Se procedió a realizar el test de Tukey para cada subsector y los resultados indican que entre cada una de las ecuaciones analizadas existen diferencias significativas, debido a que las medias son mayores a 0,05 en cada una de las comparaciones.

Para determinar que metodología de aforo se comporta mejor al hallar CU en cada ecuación con respecto al valor real se realizó un análisis teniendo en cuenta el error relativo.

Las diferentes metodologías propuestas para la predicción de la uniformidad sin la necesidad de realizar el aforo a todos los emisores del sistema de riego generan errores en la comparación con los datos reales de uniformidad ya que se tuvieron en cuenta las descargas de todos los emisores, en el caso del subsector 1.1, estas generan errores altos que van desde el 132,4% pero que disminuyen a 0,34% como lo muestra la tabla 14. Según los errores que presentan las metodologías propuestas se deduce que la propuesta de aforo 4 (20-40-100%) generó errores más pequeños comparada con las demás en este subsector, con rango de error que va del 20,9% hasta el 0,5%, siendo estos relativamente bajos.

En el subsector 1.2 se obtuvieron errores altos, siendo el más alto 93,0 % que se genera en la propuesta 7 que presenta los errores más alto con respecto a las demás, y también se tiene que la propuesta con el menor porcentaje de error con cada una de las ecuaciones es la metodología de aforo 4 (20-40-100%); dicha propuesta como se aprecia en la Tabla 14 generó mejores resultados que la propuesta por Merriam & Keller (1978) en la que el error mínimo es de 8,0% y la que se planteó (Aforo 4) es de 0,4%.

Para el sector 1 las propuestas de aforo más acertadas fueron las utilizadas por Merriam & Keller (1978) (0-33,3-66,6-100%) y la propuesta de aforo 4 (20-40- debido a que en ambos subsectores estas dos metodologías basados el cálculo 100%); de los errores se mostraron con valores más pequeños si se comparan con las otras metodologías de aforo.

Se afirma que 6 de las 8 propuestas no son adecuadas para realizar un análisis con las ecuaciones que se presentan, ya que muchas de ellas presentaron errores con porcentajes bastante altos (Propuestas: 2, 3, 5, 6, 7 y 8).

Para definir si existen diferencias significativas entre las propuestas de aforo 1 Merriam & Keller (1978), la propuesta 4 (20-40-100%), se efectuó un análisis de varianza (ANOVA) entre estas dos, la cual se comprueba con un nivel de significancia del 95%, esta arrojó un resultado en el cual no existen diferencias significativas ($p > 0,05$) entre estas dos propuestas. Lo cual indica que es posible realizar el procedimiento con cualquiera de las dos metodologías mencionadas.

Tabla 15. Calculo error relativo para sectores 2.1 y 2.2

	Barragán (2005) Ec. 1	Karmeli y Keller (1975) Ec. 2	Barragán (2005) Ec. 3	Keller y Karmeli (1974) Ec. 4	Keller y Karmeli (1974) Ec. 5	
Subsector 2.1	Valores reales	82,0	61,4	69,1	85,1	36,8
	¹ Propuesta 1	87,8	67,5	73,8	88,6	38,4
	² Propuesta 2	92,0	84,7	88,8	92,1	53,9
	³ Propuesta 3	83,0	74,1	79,9	89,3	53,5
	⁴ Propuesta 4	84,2	61,4	68,7	83,0	36,0
	⁵ Propuesta 5	91,1	82,7	87,2	91,6	52,6
	⁶ Propuesta 6	91,7	82,9	87,3	92,3	53,0
	⁷ Propuesta 7	95,4	91,2	93,6	95,6	54,9
	⁸ Propuesta 8	80,4	71,7	77,6	89,7	50,8
	¹ Error Propuesta 1	7,1	9,9	6,9	4,2	4,2
	² Error Propuesta 2	12,1	38,1	28,5	8,3	46,3
	³ Error Propuesta 3	1,2	20,8	15,7	5,0	45,2
	⁴ Error Propuesta 4	2,7	0,1	0,6	2,4	2,4
	⁵ Error Propuesta 5	11,0	34,7	26,2	7,7	42,8
	⁶ Error Propuesta 6	11,8	35,0	26,4	8,5	43,8
	⁷ Error Propuesta 7	16,3	48,6	35,6	12,4	49,1
⁸ Error Propuesta 8	1,9	16,8	12,4	5,5	37,8	
Subsector 2.2	Valores reales	78,7	50,3	58,0	78,7	28,8
	¹ Propuesta 1	79,9	53,9	61,8	79,1	29,0
	² Propuesta 2	91,3	85,1	89,0	93,3	54,1
	³ Propuesta 3	88,1	68,1	74,4	85,5	40,9
	⁴ Propuesta 4	80,4	63,2	71,0	79,1	34,8
	⁵ Propuesta 5	85,7	65,5	72,5	85,1	39,7
	⁶ Propuesta 6	85,6	65,5	72,5	85,1	39,7
	⁷ Propuesta 7	87,8	72,7	78,9	82,9	38,7
	⁸ Propuesta 8	83,3	65,6	73,0	80,9	35,8
	¹ Error Propuesta 1	1,4	7,3	6,4	0,5	0,5
	² Error Propuesta 2	15,9	69,4	53,3	18,5	87,8
	³ Error Propuesta 3	11,9	35,5	28,2	8,6	42,1
	⁴ Error Propuesta 4	2,1	25,8	22,4	0,5	20,8
	⁵ Error Propuesta 5	8,8	30,4	24,8	8,1	37,9
	⁶ Error Propuesta 6	8,8	30,4	24,9	8,1	38,0
	⁷ Error Propuesta 7	11,5	44,7	36,0	5,3	34,3
⁸ Error Propuesta 8	5,8	30,6	25,8	2,8	24,4	

¹Aforo propuesta Merrian y Keller (1978) a 0, 33.3, 66.6 y 100 % de la longitud total.

²Aforo a 20,40 y 60 % de la longitud total.

³Aforo a 20,40 y 80% de la longitud total.

⁴Aforo a 20, 40 y 100% de la longitud total.

⁵Aforo a 0, 20, 60% de la longitud total.

⁶Aforo a 0, 20 y 40% de la longitud total.

⁷Aforo a 0, 40 y 60% de la longitud total.

⁸Aforo a 0, 40 y 80% de la longitud total.

Tomando las ecuaciones por separado y seguidamente comparando los resultados entre ellas se afirma que las ecuaciones que tienen un menor porcentaje de error son la 1 (Barragán, 2005) y la 4 (Keller & Karmeli, 1974), ya que comparadas con las otras varían bastante su error no siendo constantes como las anteriores; por ejemplo en el caso de las ecuaciones 2 (Barragán, 2005) y 5 (Keller & Karmeli, 1974) los porcentajes de error de estas fueron demasiado altos, lo cual podrían ser descartadas para ser utilizadas en el cálculo del coeficiente de uniformidad en esta investigación.

Respecto a la tabla 15, más detalladamente el subsector 2,1 es posible conocer que las propuestas de aforo a diferentes espaciamientos que menos porcentaje de error arrojó son las de Merrian & Keller (1978) y la propuesta 4, ya que generan errores inferiores al 9,9% y al 2,7% respectivamente, y es correcto afirmar que en este subsector la propuesta de aforo que mejor se adapta es la 4 (20-40-100%) que por sus errores más bajos es la más confiable.

La metodología que propone Merrian y Keller (1978) fue la que mejor respuesta tuvo para el subsector 2.2, ya que en la aplicación de todas las ecuaciones el error más grande que presenta con respecto al valor de CU teniendo en cuenta todos los emisores es de 7,3 % el cual se muestra en respuesta al aplicar la ecuación de Karmeli y Keller (1975), y presenta errores de solo el 0,5 % en la aplicación de las dos ecuaciones de Keller y Karmeli (1974) lo que hace que sea la más confiable de todas.

Tabla 16. Calculo error relativo para sectores 2.3 y 2.4

	Barragán (2005) Ec. 1	Karmeli y Keller (1975) Ec. 2	Barragán (2005) Ec. 3	Keller y Karmeli (1974) Ec. 4	Keller y Karmeli (1974) Ec. 5
Valores reales	77,9	42,1	49,0	75,0	24,8
¹ Propuesta 1	83,4	55,9	63,1	81,8	36,5
² Propuesta 2	65,5	40,5	48,5	61,8	22,4
³ Propuesta 3	67,9	43,5	51,8	64,3	23,2
⁴ Propuesta 4	62,5	38,2	46,0	64,2	21,2
⁵ Propuesta 5	64,8	39,4	47,3	61,0	22,1
⁶ Propuesta 6	66,5	41,5	49,7	62,8	22,7
⁷ Propuesta 7	95,3	91,6	93,9	96,1	63,9
⁸ Propuesta 8	94,8	87,6	90,8	93,9	57,6
¹ Error Propuesta 1	7,1	33,0	28,9	9,0	47,3
² Error Propuesta 2	15,9	3,8	0,9	17,7	9,7
³ Error Propuesta 3	12,8	3,5	5,9	14,3	6,5
⁴ Error Propuesta 4	19,7	9,0	6,0	14,5	14,5
⁵ Error Propuesta 5	16,7	6,4	3,5	18,7	10,8

	⁶ Error Propuesta 6	14,5	1,2	1,5	16,3	8,2
	⁷ Error Propuesta 7	22,4	117,7	91,8	28,0	158,0
	⁸ Error Propuesta 8	21,7	108,2	85,4	25,2	132,5
Subsector 2.4	Valores reales	81,5	56,0	63,7	81,3	34,1
	¹ Propuesta 1	79,8	54,5	62,5	76,2	33,0
	² Propuesta 2	85,2	72,3	78,9	84,9	48,6
	³ Propuesta 3	90,4	76,9	82,3	89,3	46,5
	⁴ Propuesta 4	79,2	58,3	66,4	74,8	31,4
	⁵ Propuesta 5	87,6	72,4	78,6	88,2	50,5
	⁶ Propuesta 6	94,2	83,0	86,8	93,8	53,7
	⁷ Propuesta 7	89,7	82,8	87,2	92,3	59,6
	⁸ Propuesta 8	93,4	83,8	87,7	91,5	52,6
	¹ Error Propuesta 1	2,1	2,6	1,9	6,3	3,4
	² Error Propuesta 2	4,6	29,1	23,8	4,4	42,5
	³ Error Propuesta 3	11,0	37,3	29,2	9,9	36,3
	⁴ Error Propuesta 4	2,8	4,1	4,3	8,0	8,0
	⁵ Error Propuesta 5	7,5	29,2	23,5	8,5	48,0
	⁶ Error Propuesta 6	15,6	48,2	36,3	15,4	57,4
⁷ Error Propuesta 7	10,1	47,9	36,9	13,6	74,7	
⁸ Error Propuesta 8	14,7	49,5	37,8	12,6	54,1	

¹Aforo propuesta Merriam y Keller (1978) a 0, 33.3, 66.6 y 100 % de la longitud total.

²Aforo a 20,40 y 60 % de la longitud total.

³Aforo a 20,40 y 80% de la longitud total.

⁴Aforo a 20, 40 y 100% de la longitud total.

⁵Aforo a 0, 20, 60% de la longitud total.

⁶Aforo a 0, 20 y 40% de la longitud total.

⁷Aforo a 0, 40 y 60% de la longitud total.

⁸Aforo a 0, 40 y 80% de la longitud total.

En la tabla 16 se observa que la implementación de las diferentes metodologías de aforo para el subsector 2.3 que mejor se ajustó es la propuesta de Merriam y Keller (1978), esta mostró errores más pequeños con respecto a las demás en 2 de las 5 ecuaciones, en la ecuación de Karmeli y Keller (1975), y también procedimiento de aforo 2 de 20 % - 40% - 60% en la longitud de los laterales genera errores de 0,9 % siendo este muy pequeño.

En el subsector 2.4 se referencian las propuestas de Merriam & Keller (1978) y la 4 (20-40-100) como las de menor porcentaje de error, ya que entre las dos no se supera el 8,0% de error relativo, sobresaliendo notablemente en comparación con las otras metodologías propuestas.

Aplicar las metodologías de aforo de laterales a 20% - 40% - 80 %; 0 % - 20% - 60%; 0% - 40% - 80% y 0% - 40% - 60% no es recomendable para hallar coeficientes de uniformidad, debido a que en ninguno de los 6 subsectores donde se aplican las diferentes ecuaciones, en ningún momento estas metodologías fueron las más

acertadas con respecto a las otras que se aplicaron, esto se debe a que los porcentajes de error fueron muy altos, no teniendo un comportamiento uniforme con respecto a las otras metodologías.

Para cada una de las ecuaciones empleadas hay metodologías que resaltan con respecto a las otras, teniendo así que para la ecuación 1 (Barragán 2005) las propuestas de aforar emisores que se ajustaron más con respecto a los 6 subsectores es la de Merrian y Keller (1978) y la de aforar a 20% - 40% - 100% de la longitud del lateral con un porcentaje de acierto de 33,32, siendo cada una la que mejor se adaptó en 2 subsectores de los 6; mientras que para las ecuaciones 2,3 y 4(Karmeli y Keller (1975);Barragán (2005) y Keller y Karmeli (1974) la propuesta de aforar laterales a 20% - 40% - 100%de la longitud es la que más se adecuó con porcentajes de éxito entre los 6 subsectores con valores de acierto de 49,98%(más acierto en 3 subsectores). En el caso de la ecuación 5 Keller y Karmeli (1974) la metodología que más se adaptó fue la de Merrian y Keller (1978) siendo esta la más acertada en 3 subsectores.

Lo anterior se resume en la siguiente tabla:

Tabla 17. Resúmenes metodologías de aforo que mejor se ajustan en los sectores.

	Barragán (2005) Ec. 1	Karmeli y Keller (1975) Ec. 2	Barragán (2005) Ec. 3	Keller y Karmeli (1974) Ec. 4	Keller y Karmeli (1974) Ec. 5
Metodología de aforo que mejor se ajusta	Propuesta 4 Propuesta 1	Propuesta 4	Propuesta 4	Propuesta 4	Propuesta 1

Entre la propuesta 4 y la 1 existe una gran diferencia, siendo el primero el más práctico a la hora de hacer el trabajo de campo, debido que en este se tomaron solo 9 emisores como muestra, mientras que en la propuesta 1 que es la sugerida por Merrian y Keller (1978) tomó muestra de 16 emisores, lo que se reduciría con la propuesta 4 casi en la mitad (43,75 %), esto ahorraría todo ese trabajo de aforo siendo mucho más práctico para la mayoría de las ecuaciones empleadas en esta investigación.

Teniendo en cuenta de que las propuestas de aforo 1 y 4 fueron las que más acierto alcanzaron en todo el sector 2, se realizó un análisis de varianza entre estas dos, dicho análisis se ejecutó con un nivel de significancia del 95% y este arrojó un resultado en el cual no existieron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre estas dos metodologías.

Este resultado en todos los subsectores corroboró el análisis estadístico planteado, puesto que todas las ecuaciones se comportaron de forma diferente frente al cálculo de las diferentes propuestas planteadas; esto se debe a que algunas ecuaciones son derivadas de otras, las cuales tienen algunas variables similares, pero se le añaden otras para obtener un cálculo diferente.

También, la ecuación 1 planteada por Barragán (2005) y la ecuación 4 Karmeli & Keller, (1975) fueron las que han sido más constantes con los resultados del error relativo, pero existe una gran diferencia entre cada una de estas, la ecuación 1 plantea un cálculo a base de variables que corresponden al coeficiente de variación y del número de emisores que se tienen por planta; este último factor no se ve muy influenciado en la ecuación con el sistema de riego planteado, dado que esta variable tomaría un valor de 1, en el cual la ecuación solo se vería afectada por la variable de coeficiente de variación; mientras que la ecuación 4 de Karmeli y Keller (1975) tiende a tener más relevancia con los cálculos a causa de que esta utiliza variables como lo es el caudal medio del 25% de los emisores de menor caudal y el caudal medio de la muestra de emisores operados a presión de referencia lo que hace que esta ecuación para que el análisis sea más confiable ya que se tuvieron en cuenta todos los datos de caudales obtenidos en campo.

ECUACION DEL EMISOR

Para emisor de Boquilla morada:

Se aplicó la ecuación 9 para determinar el exponente de descarga del emisor (x) obteniendo:

$$x = \frac{\ln \frac{42,24 \text{ l/hr}}{38,08 \text{ l/hr}}}{\ln \frac{2,07 \text{ Bar}}{1,72 \text{ Bar}}}$$

$$x = 0,55974524$$

Seguidamente se despejó el coeficiente de descarga del emisor (K) de la ecuación 7, dando como resultado:

$$K = \frac{42,24}{2,07^{0,55974524}}$$

$$K = 28,11$$

Obteniendo para este caso la ecuación del emisor así:

$$q = 28,11H^{0,568715}$$

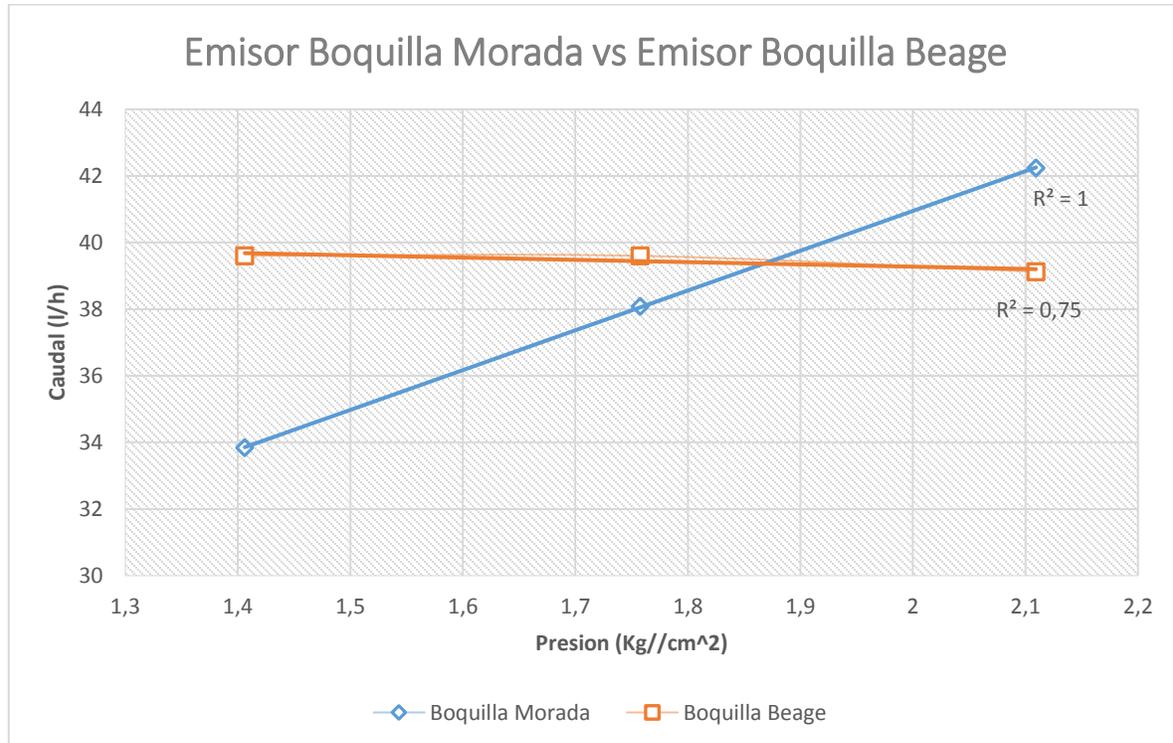
Según la tabla 4 donde Pizarro, (1996) clasifica los emisores de acuerdo a su coeficiente de descarga, este emisor se clasificó como de régimen turbulento (orificio, de laberinto) ya que se encuentra en los rangos para valores de x de 0.5 a 0.65, puesto que en este tipo de emisores según esta clasificación el agua circula en régimen turbulento donde el agua sale al exterior a través de un orificio de diámetro pequeño donde la presión disponible se desperdicia. El principal problema son las obturaciones, debido a que el orificio de salida es demasiado pequeño.

Se aplicó la misma metodología para el emisor de boquilla Beige y dio como resultado la siguiente ecuación del emisor:

$$q = 39,6H^0$$

El emisor de boquilla beige se clasificó como un emisor teórico perfectamente Autocompensante, esto se debe a que el valor de su coeficiente de descarga x es igual a 0, el cual trabajaría bajo flujos turbulentos capaz de brindar un caudal constante independiente de la presión a la que se someta.

Figura 5. Relación presión-caudal para dos tipos de emisores.



En la figura 5, donde se muestra la curva caudal vs presión, se observó que para el emisor de boquilla morada hay una tendencia definida de los valores del coeficiente de variación por fabricación con respecto a las variaciones de presión, es decir, a medida que las presiones son mayores los coeficientes de variación se incrementan en igual proporción.

También se analizó que existe un vínculo positivo entre las variables siendo el coeficiente de correlación $r = 0,9996$, es decir la variación de presión influyó directamente en un 99,96 % de la variación del caudal respecto al emisor de boquilla morada, y para el emisor de boquilla beige se presenta una relación entre las variables del 75%.

El régimen hidráulico tuvo unas consecuencias prácticas sobre el funcionamiento de los emisores, el cual puede ser laminar cuando Re (Numero de Reynolds) es menor de 2.000; para Re mayor a 4.000 el régimen se denomina turbulento; y para valores intermedios el régimen unas veces se comporta como laminar y otras veces como turbulento a lo que se le denomina inestable (Pizarro, 1996).

Realizada una clasificación de acuerdo a la forma de las gráficas que generan la relación entre la presión y el caudal de los emisores, en la figura 5 la curva correspondiente al emisor de Boquilla morada se clasificó como un emisor de flujo laminar, en donde a mayor presión mayor es el caudal; por el contrario, la curva del emisor de boquilla Beige indica que no es proporcional el caudal a la presión como la del otro emisor; lo que los hace más sensibles a los cambios de presión y por lo tanto riegan con una menor uniformidad. Por otro lado, Pizarro, (1996) explica que para un emisor en régimen laminar el exponente de descarga (x) es igual a uno y para un régimen turbulento <1 , lo que clasifica a los dos emisores en régimen turbulento.

En una misma presión, los emisores donde el agua se encuentre a una mayor temperatura arrojaran un caudal más grande, lo que generaría unas diferencias significativas entre el primer y el ultimo emisor de un lateral expuesto al sol; este fenómeno muchas veces puede llegar a suplir las pérdidas de carga que se generan a lo largo del lateral, por lo que se debe considerar como un factor de perdida de uniformidad en el riego. Esos efectos de la temperatura es un factor difícil de introducir en el diseño hidráulico de la instalación de riego, porque es complicado conocer o prever el régimen de temperaturas a lo largo del lateral, esto se debe a que es diferente en el día y en la noche, estando nublado o no.

METODO DE BLALTS Y KESNER (1983)

Aplicando la metodología a los 6 subsectores que plantea Bralts y Kesner (1983) para calcular los coeficientes de variación y así diagnosticar una uniformidad teniendo en cuenta la presión a la que se trabajan los emisores, se obtuvo lo siguiente:

Como muestra de cálculo se tomó el subsector 1.1, teniendo los siguientes datos:

18. Datos de campo para muestra del subsector 1.1 (Caudales y presiones)

Caudal por planta (l/h)	Presión (m.c.a.)	Caudal por planta (l/h)	Presión (m.c.a.)
26,28	7,73	30,28	7,03
24,2	4,22	29,36	6,33
19,68	2,81	18,32	6,33
18,56	2,81	13,6	4,22
23,2	7,03	26	7,03
20,48	5,62	14	7,03
15,4	4,22	17	6,33
15,04	4,22	8	6,33

Obteniendo así:

$$q_a = 19,96 \text{ l/h}$$

$$q_{25} = \frac{8 + 13,6 + 14 + 15,04}{4} = 12,66 \text{ l/h}$$

Se halló el coeficiente de uniformidad:

$$CU = \frac{12,66}{19,61} = 0,63$$

La uniformidad es bastante baja con respecto a la tabla 2 de valores recomendados para CU, donde para este caso debería estar en un valor dentro del rango de 0,90 - 0,95.

En la columna de caudales se calculó la desviación típica de caudales $\sigma_q = 6,21$.

$$CV_t = \frac{\sigma_q}{q_a} = \frac{6,21}{19,96} = 0,31$$

En la columna de presiones se calculó $\sigma_p = 1,64$, $p_a = 5,58$ m. c. a.

$$CV_h = \frac{\sigma_p}{p_a} = \frac{1,64}{5,58} = 0,29$$

El exponente de descarga de los emisores para el subsector 1.1 (Boquilla beige) fue de 0:

$$Cve = \sqrt{CV_t^2 - x^2 CV_h^2} = \sqrt{0,31^2 - (0^2 * 0,29^2)} = 0,31$$

La misma metodología se aplicó para los otros 5 subsectores, obteniendo en resumen los resultados consignados en la siguiente tabla:

Tabla 19. Valores de CVt y Cve para todo en todo el sistema de riego.

Subsector	CVt	Cve
1.1	0,31	0,31
1.2	0,26	0,26
2.1	0,10	0,04
2.2	0,16	0,13
2.3	0,13	0,05
2.4	0,16	0,13

En la tabla 19 que muestra los resultados para Cvt y Cve. el CVt (Coeficiente de variación total de caudales) Los subsectores 1.1 y 1.2 se encontraron en una clasificación baja y aceptable respectivamente de acuerdo a la tabla 19, mientras que los subsectores 2.1,2.2,2.3 y 2.4 se encontraron en una clasificación con uniformidad de caudal muy buena, esta variación se debió a la diferencias en el emisor que está instalado en cada uno de los sectores, ya que para el sector 1 los emisores pueden ser inadecuados (Coeficiente de variación de fabricación es bajo) o se debe comprobar si están parcialmente con obturaciones, y como Cve (Coeficiente de variación de caudales debido a la baja uniformidad de los emisores) fue menor que 0,2 en el sector 2 se debe comprobar cual causa hidráulica ocasiona la baja uniformidad en el sistema , las cuales pueden ser todas las que afecten a la

presión de funcionamiento de emisores que están relacionadas en su mayoría con un diseño inadecuado, falta de reguladores de presión, desajuste de los mismos y un inadecuado manejo del sistema (Pizarro, 1996).

Las pérdidas de carga en los laterales dependen del caudal porque si el caudal disminuye a lo largo del lateral las pérdidas de carga disminuyen también, por eso (Moya Talens, 2009) realizó un análisis de las pérdidas de carga en los laterales donde experimentalmente comprobó que el 75% de las pérdidas de carga se producen en el primer tercio de la tubería, y que el 25 % de las pérdidas restantes ocurren en el tramo final.

Otros investigadores (Karmeli; Peri; Todes, 1985), dicen que en el primer 40 % de la longitud se pierden el 77 % de las pérdidas del total de la tubería; por lo que en el 60% restante las pérdidas serán el 23 % restante.

Para corroborar la teoría de pérdidas en tuberías de (Moya Talens, 2009) se realizó una prueba en 4 laterales de cada subsector del sistema de riego y fueron seleccionados aleatoriamente, y presentando lo siguiente en algunos casos:

Obteniendo el lateral número 27, ubicado en el subsector 1.1 con longitud de 79 metros y conformado por 9 emisores, donde la presión de entrada es de 7,73 mca y la presión de salida de 2,81 mca, teniendo así un total 4,92 mca (100%) de pérdidas totales y presentando a 1/3 de su longitud el 71,4 % de las pérdidas totales lo que se acerca a la teoría que planteó Moya Talens (2009) según la cual, a 1/3 de la longitud del lateral las pérdidas son del 75 % de las pérdidas totales.

Para el subsector 1.2 se tomó como muestra el lateral número 20 con longitud de 81 m y pérdidas de presión de 3,5 mca en todo el lateral, que presentó a 1/3 de su longitud (23,3 m) pérdidas de presión de 57,1 % de las pérdidas totales, presentando así un porcentaje muy alejado del 75% que plantea Moya Talens (2009).

Por otro lado, el lateral 50 presentó un porcentaje de pérdidas del 68,6 % a 1/3 de su longitud, acercándose más a la teoría del investigador ya mencionado.

Después de realizar la prueba a los 24 subsectores se obtuvieron en resumen los siguientes promedios:

Tabla 20. Pérdidas de presión en la tubería de los laterales por cada subsector.

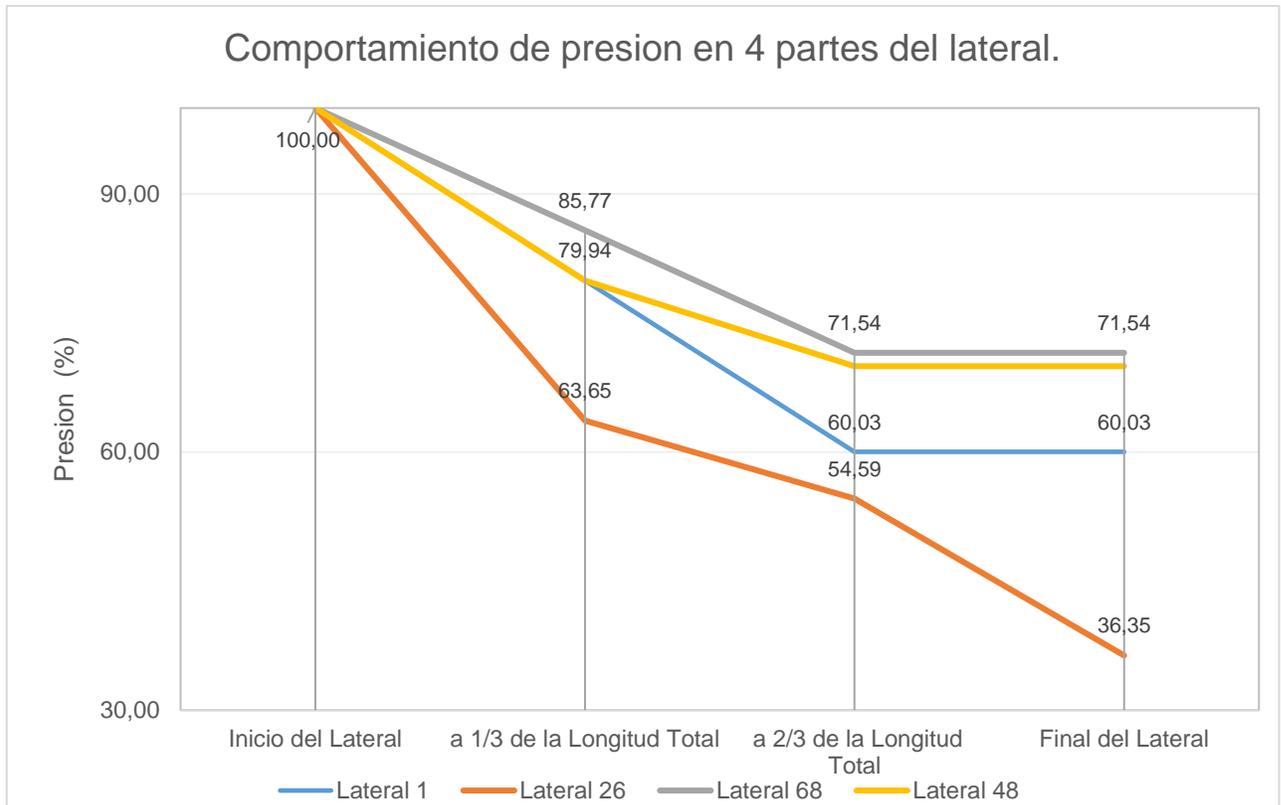
Subsector	Longitud (m)	Pérdidas totales (mca)	Pérdidas a 1/3 (mca)	Porcentaje de pérdidas a 1/3
1.1	69,62	3,3	1,8	49,2
1.2	69	3,0	1,6	50,3
2.1	33	1,6	0,7	45,9
2.1	31,9	1,8	0,9	50,0
2.3	30	1,8	1,1	66,8
2.4	22,4	1,8	0,5	27,1

El porcentaje de pérdidas a 1/3 desde el inicio de longitud del lateral en el sistema de riego estuvo por debajo de los porcentajes que los investigadores indican que deberían ser, ya que este debe ser del 75 % de las pérdidas totales, y en promedio para el sistema de riego estas son del 48,2 %, lo que difiere en 26,8 % del porcentaje teórico.

Las longitudes en el sector 1 fueron aproximadamente el doble de las que se encuentran en el sector 2, y las pérdidas fueron aproximadamente el doble, y es correcto afirmar que las pérdidas fueron directamente proporcionales a la longitud.

Se seleccionaron 4 laterales aleatoriamente de los cuales se les realizaron tomas de presiones a lo largo de la longitud en cuatro partes para analizar su comportamiento gráficamente, así:

Figura 6. Comportamiento de la presión a lo largo de la tubería lateral expresada en porcentaje.



Apreciando la figura 6, fue posible referenciar que el comportamiento de la presión a lo largo del lateral 26 la línea desciende con mayor pendiente desde el inicio hasta 1/3 de la longitud del lateral, mientras que para los otros 3 las pérdidas tuvieron una disminución constante hasta 2/3 de su longitud, y de allí no hay pérdidas hasta el final, siendo estas el 100 % de las pérdidas. En ninguno de los 4 laterales se cumplió el criterio de (Moya Talens, 2009) que habla que a 1/3 del inicio de la tubería se perdió el 75% de las pérdidas totales del lateral.

CONCLUSIONES

El riego instalado en la granja experimental se encontró en condiciones desfavorables teniendo en cuenta que para que el funcionamiento de un sistema riego sea óptimo se debe realizar un mantenimiento periódico o en su defecto una limpieza preventiva; al realizar el trabajo de campo es posible conocer las condiciones de este sistema en el cual se determinaron diversos factores que lo afectan; uno de los principales inconvenientes que presentó es que este suele ser utilizado por épocas del año, por lo que en los periodos de inactividad surgen fallas tanto en sus emisores como en la tubería generando sedimentación, obturaciones por insectos, hierva y partículas que provienen de la fuente de agua debido a que los filtros no trabajan adecuadamente, y también cortes, y fugas tanto en laterales como en emisores debido a labores como corte de maleza y limpieza del cultivo, por lo que fue necesario realizar cambios de algunas partes de emisores, limpiezas y cambios de tuberías en algunos tramos con el fin de que el sistema de riego trabajara en condiciones favorables para el desarrollo de esta investigación.

Queda demostrado que las ecuaciones 1 Barragán (2005) y 4 Karmeli & Keller (1975) son las que mayor afinidad han presentado en relación con los datos de uniformidad en todos los subsectores, pues si bien revelan errores relativamente bajos en comparación con los datos de las otras ecuaciones; al realizar un análisis a sus variables es posible notar que la ecuación Karmeli & Keller (1975) es la más acertada debido a que para esta se tienen en cuenta todos los datos de caudales obtenido en campo, confirmando así que la misma es más relevante. Por otra parte, realizando el análisis de varianzas (ANOVA) con un nivel de significancia del 95% refleja que existen diferencias significativas entre todas las ecuaciones utilizadas para cálculos de CU en el presente trabajo.

La propuesta de aforo 4 para la realización de este trabajo es una buena alternativa para estimar el Coeficiente de Uniformidad en un sistema de irrigación, debido a que minimiza la toma de lecturas en laterales y unidades de riego, esta metodología arrojó porcentajes de error bastante bajos si se comparan con la propuesta 1 realizada por Merriam & Keller (1978), dado a que este método de aforo es utilizado por diversos autores; de igual forma, el análisis de varianza entre la propuesta 1 y 4 con un nivel de significancia del 95% nos muestra que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre los dos procedimientos.

Actualmente existen procedimientos que permiten una práctica y sencilla estimación de la uniformidad de distribución de agua en un sistema de riego, lo que es una importante ventaja para los regantes; ya que la evaluación del riego revela las insuficiencias que de cierta manera afectan la uniformidad de la distribución del agua, y en consecuencia la eficiencia de su uso. Es importante resaltar que el correcto mantenimiento, siendo este preventivo tanto como correctivo, y el

adecuado manejo de la instalación de riego son componentes trascendentales para obtener la más alta uniformidad posible en la distribución del agua de riego.

RECOMENDACIONES

SISTEMAS DE LIMPIEZA

Los tapones de lavado es recomendable abrirlos periódicamente al momento de encender el riego para limpiar las tuberías terciarias, secundarias y principal de algunos sedimentos generados en las operaciones anteriores, Pizarro, (1996) recomienda que se haga cada 6 meses la limpieza de las tuberías, abriendo los extremos y dejando correr el agua empezando por las tuberías primarias, después secundarias, terciarias y por último los laterales.

En cuanto a los emisores se pueden desmontar para su limpieza ya que tienen piezas fáciles de limpiar ya que algunas se pueden atascar por los precipitados de sales.

Para poder evitar inconvenientes en el sistema, es recomendable tratar diferentes medidas las cuales aseguren un buen tratamiento al agua que se utilizar en el riego, esto se recomienda para poder evitar el desarrollo de todo tipo de problemas entre ellos el crecimiento de algas las cuales se dan debido al estancamiento del agua, y ya que el tamaño de estos organismos es reducido es posible el paso a través de los filtros.

Filtros

El correcto funcionamiento de un sistema de riego depende mucho de un buen diseño, pero no siempre el diseño es lo más importante, porque para que este funcione óptimamente lo más importante es el manejo que se le dé desde la captación del agua hasta que se le entrega a la planta, con sus respectivos mantenimientos, limpiezas y cambio de piezas que sufren deterioros, porque no siempre riega mejor la instalación más costosa, si no la que mejor se cuida.

Teniendo en cuenta las condiciones en las que el agua de riego llega a la caseta de bombeo de la Granja, es importante realizar una limpieza del sistema de filtrado, ya que si este no se realiza correctamente se van a tener problemas con el riego y uno de los más comunes son la obturación; por lo que una deficiente limpieza de filtros genera pérdida de presión en la tubería de riego y, por tanto, variaciones notables del caudal.

Con el filtro de arenas es fundamental efectuar con frecuencia la operación del retro lavado, proceso que debería realizarse cada semana; también realizar el cambio de arena cuando esta se encuentre con sedimentación.

Reche Marmol, (1993) recomienda que la limpieza de filtros tanto de anillas como de arenas se realice mínimo una vez por semana, considerando si el manómetro instalado después del filtro indica una caída de presión de 0,2 Atmósferas (2,02 Bar) con respecto a la producida en condiciones normales con el filtro limpio.

Para el filtro de anillas Ferreyra *et al.*, (2005) recomienda una vez al año limpiar estos con ácido clorhídrico para evitar incrustaciones cálcicas.

Laterales

Debido a que la manguera de los laterales en muchas partes se encuentra expuesta a las condiciones climáticas, como lo son; al sol, a la lluvia, al polvo, han sufrido un desgaste notorio, lo que ocasiona que con el paso del tractor o algún automotor estas se rompan y se ocasionen fugas en el sistema.

Lo más recomendable para este inconveniente es realiza un cambio total de toda la manguera, ya que esta con cualquier movimiento brusco se rompe. Es de gran importancia poder mantener bajo tierra estos laterales de riego, ya que con ello evitamos cualquier daño que ocasione algún factor externo, por ello que Liotta, (2005) recomienda que esta tubería se instale en una zanja la cual debe tener un mínimo de 0,60m y la cual se compacte muy bien cuando se tape, y de la misma manera recomienda tener precaución para no quebrar las salidas de riego y que no queden tirantes para así evitar que el conector se desprenda.

Emisores

Se ha podido evidenciar de que los emisores de riego se han visto muy afectados por diversos problemas, una gran recomendación sería poner en función el sistema de riego con frecuencia, ya que si este se deja de utilizar por un largo periodo va a generar las condiciones propicias para que microorganismos ocasionen obturaciones en el riego.

Se pudo observar el gran daño que está haciendo la poda de los pastos al riego, ya que con el paso de la guadaña se están cortando las estacas porta emisores, las mangueras que se conectan al lateral de riego y también a los microaspersores. De esta manera es recomendable hablar con la persona que se encarga de cortar el pasto, para que a la hora de realizar esta labor tener más cuidado cuando se pase el instrumento de corte cerca a los árboles, ya que ahí es donde se encuentran ubicados los emisores.

Cuando haya que cambiar un emisor, se debe reemplazar por otro de idénticas características. No se deben poner emisores de distinto tipo en la misma instalación, para poder calcular constantemente el riego y su uniformidad (Lop & Cesa, 2005).

Algunos materiales de los que están compuestos los emisores experimentan un envejecimiento acelerado debido a las diferencias de temperatura que se ven sometidos entre el día y la noche, por eso es conveniente realizar una inspección periódica del estado de los emisores. Alejar los emisores del tronco del árbol al menos a una distancia que el radio de mojado de este no moje el tronco directamente, por ello algunos autores citan como inconveniente que el agua pulverizada trae problemas fitosanitarios ya que el agua pulverizada puede mojar la base del tronco favoreciendo el desarrollo de enfermedades. Por esto algunos agricultores utilizan dos microaspersores sectoriales, de 180°, cada uno de ellos a un lado del tronco y de espaldas a él (Pizarro, 1996).

LITERATURA CITADA

A. G. Smajstrla, B. B. (1990). Field evaluation of Microirrigation Water Application Uniformity. IFAS.

Alvarez, G., & Perez, P. (2011). El cultivo intencivo y los procesos de riego. Madrid: Mc. Graw Hill.

Apaza, G. L., & Lopez, C. (2016). EVALUACIÓN DE LA UNIFORMIDAD DE UN SISTEMA PRESURIZADO DE RIEGO POR GOTEO PARA CULTIVOS DE ZONAS ALTO-ANDINAS DE BOLIVIA. Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, 7-17.

Barragán, J., Bralts, V., & Wu, I. P. (November, 2005). Assessment of Emission Uniformity for Microirrigation Design. Biosystems Engineering, Elsevier, 93(1), 89-97.

Bralts, M., & Edwards, D. (1987). Dripe irrigarion desing and evaluation based on the statistical uniformity concept.

Bralts, V. F., & Kesner, C. D. (1983). Drip irrigation field uniformity estimation. Transactions of the ASAE, 26(5), 1369-1374.

Cambiaso, F. R. (2005). Evaluación de la descarga y uniformidad de aplicación en riego por microaspersión, con y sin el uso de reguladores de flujo. Santiago, Chile.

Carmenates Hernández, Dayma, Mujica Cervantes, Albi, Pelier, Daniubis Luis, & Paneque Rondón, Pedro. (2014). Evaluación de los parámetros de manejo de los sistemas de microirrigación mediante el criterio de Merriam y Keller. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 23(1), 37-40. Recuperado en 21 de agosto de 2018, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542014000100006&lng=es&tlng=es.

Cruz Tun Dzul, J., & Ramírez Jaramillo, G., & Sánchez Cohen, I., & Lomas Barrié, C., & Cano González, A. (2011). Diagnóstico y evaluación de sistemas de riego en el distrito 048 Ticul, Yucatán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (1), 5-18.

Cun González, R., Puig Estrada, O., Morales Gómez, C., & Duarte Díaz, C. (2011). Evaluación de la uniformidad del riego por goteo en condiciones de casas de cultivo en explotación. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 20(1), 36-39.

DEMIR, V., YURDEM, H. y DEGIRMENCIOGLU, A. (2007). Development of prediction models for friction losses in drip irrigation laterals equipped with integrated in-line and on-line emitters using dimensional analysis. Biosystems Engineering, 617-631.

Dogan, E. y Kirnak, H. (2009). Water temperature and system pressure effect on drip lateral properties. *Irrigation Science*, 407-419

Duran-Ros, M., Pujol, J., Barragan, J., Ramirez de Cartagena, F., & Puig-Burgues, J. (Junio de 2005). EVALUACIÓN DE LA UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN EN CAMPO EN RIEGO POR GOTEO CON AGUAS REGENERADAS: COMPARACIÓN Y PROPUESTA DE UN NUEVO MÉTODO. Obtenido de Conference: XXXIII Congreso Nacional de Riegos: https://www.researchgate.net/publication/300140548_EVALUACION_DE_LA_UNIFORMIDAD_DE_DISTRIBUCION_EN_CAMPO_EN_RIEGO_POR_GOTEO_CON_AGUAS_REGENERADAS_COMPARACION_Y_PROPUESTA_DE_UN_NUEVO_METODO

Fernandez, M., & Garcia, G. (2014). El sistema de riego localizado. *Tecnología Agroalimentaria*. Boletín informativo del SERIDA, 25-32.

Fernández, R. (2010). *Manual de riego para Agricultores: módulo 2. Riego por superficie*. Sevilla, ES, Servicio de Publicaciones y Divulgación, DL

Ferrer J. Pedro, E. Quinza. (2013). *Consideraciones sobre el mantenimiento y el manejo de las instalaciones de riego localizado*. Valencia.

Ferreya, R., Sellés, G., Ahumada, R., Maldonado, P., Gil, P., & Barrera, C. (2005). *Manejo del riego localizado y fertirrigación*. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

Flores, R. C. (2014). *Preparación del terreno para instalación de infraestructuras y plantación de frutales*. Ediciones Paraninfo, SA.

Fuentes, J. 2003 *Técnicas de Riego*. Cuarta edición. Ministerio de Agricultura y Pesca. España ed. por Mundi-prensa. p. 311-318.

Gispert Folch, J., & Garcia Fabrega, J. (1999). El volumen húmedo del suelo en el riego localizado. Importancia y evaluación. Departamento de Arboricultura Mediterránea. Centro de Mas Bové – Constantí (Tarragona). Institut de Recerca i Tecnologia.

Gomez, R., Yruela, M. D., Milla, M., Garcia, J. P., & Oyonarte, N. (2010). Módulo 4. Riego Localizado. . En *MANUAL DE RIEGO PARA AGRICULTORES* (pág. 154). Sevilla: Junta de Andalucía. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de Agricultura y Pesca.

Gurovich, L. A. (1985). *Fundamentos y diseño de Sistemas de Riego*. San José, Costa Rica: IICA.

INIA, I.N. (2015). Diseño de los componentes básicos del sistema de riego INIA. Perú.

Izquierdo, J. B., Rodríguez, E. M., & Medina, D. P. (2009). Diseño de una alternativa de abastecimiento, canales abiertos y estructuras hidráulicas en el riego por superficie de la Granja Experimental de la Universidad Surcolombiana. *Ingeniería y Región*, 6(1), 61-67.

Karmeli, D., & Keller, J. (1975). *Trickle Irrigation Design* (154 pp.). Glendora, USA: Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation.

Karmeli; Peri; Todes, M. (1985). *Irrigation systems; Design and Operation*. Oxford University Press, Oxford, UK.

Keller J., Corey, W. R. Vavra M. E. 1981. Evaluation of Irrigation Systems. En: *Irrigation Challenges of the 80's*. ASAE. St. Joseph. Michigan. USA. p. 95-105.

Keller, J., & Karmeli, D. (1974). Trickle Irrigation Design Parameters. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 17(4), 678- 684.

Koumanov, K. S., Hopmans, J. W., Schwankl, L. J., Andreu, L., & Tuli, A. (1997). Application efficiency of micro-sprinkler irrigation of almond trees. *Agricultural Water Management*, 34(3), 247-263.

Liotta, M. (2005). *Los sistemas de riego por goteo y micro aspersión*. ed. electrónica.

Liotta, M. (2015). *Manual de capacitación: riego por goteo*. Obtenido de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf

Lop, A., & Cesa, P. (Marzo de 2005). *Curso de riego para agricultores*.

Maroufpoor, E., Faryabi, A., Ghamarnia, H., & Moshrefi, G. Y. (2010). Evaluation of uniformity coefficients for sprinkler irrigation systems under different field conditions in Kurdistan Province (northwest of Iran). *Soil and Water Research*, 5(4), 139-145.

Medina San Juan, J.A. (1981). *Riego por Goteo*. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. p 59-87.

Merrian, J., & Keller, J. (1978). *Irrigation system evaluation. A Guide for Management*. Logan: Utah State University.

Moya Talens, J. A. (2009). En *Riego Localizado y Fertirrigación* (pág. 227). Madrid: Mundi-Prensa

Pizarro, F. 1987. *Riegos Localizados de Alta Frecuencia (RLAF)*, de Mundi Prensa, Madrid, España, p. 73-123.

Pizarro, F. 1996. *Riegos Localizados de Alta Frecuencia (RLAF)*, Madrid, España, p. 395-399.

Quizpha , D. D. (2010). Instalacion de un cabezal de riego para un sistema establecido que comprende un invernadero. Obtenido de Universidad Politecnica Salesiana

Reche Mármol, J. (1993). Limpieza y mantenimiento de las instalaciones de riego por goteo (No. Folleto 14460).

Regaber. (s.f.). Universidad de Castilla-La Mancha. Obtenido de https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Catalogos/HidraulicaRiegos/RegaberFiltroArena.pdf

Rodriguez - Sinobas, L., Juana, L., & Losada, A. (1999). Effects of temperature changes on emitter discharge. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 64.73.

Rodriguez, L., Sobrino, F., Alvarez, R., & Garrido, J. C. (13 de 02 de 2017). Instalación de sistema de riego por goteo en itdUPM. Obtenido de Grupo de Investigacion hidraulica del riego HIDER – Madrid

Salcedo, F., Barrios, R., Garcia, M., & Valdez, T. (2005). Distribucion de agua en un sistema de microaspersion sobre un untisol cultivado con Lima Tahiti en el estado de Monagas, Venezuela. *UDO Agricola*, 88-95.

Solomon, K.H. (1985) Global uniformity of trickle irrigation systems. *Transactions of the ASAE*, pag. 1151-1158

Solomon, K.H. (1979). Manufacturing variation of trickle emitters [irrigation equipment]. *Transactions of the ASAE*, 22.

Tostado Delgado, P. A. (2010). UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. Obtenido de DISEÑO HIDRAÚLICO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO PARA UNA HUERTA AGUACATERA PEQUEÑA.

Tovar R. E. 1993. *Hidráulica Elemental*. UACH. Dirección de Difusión Cultural. Departamento de Irrigación. Chapingo. México. p 25.

Turegano, J. V. (Julio de 2014). Modelizacion del comportamieneto hidraulico de una subunidad de riego localizado.

Vega Pilozo, M., Defaz Alava, G., Solozano Velez, M., & Solorzano , E. (2015). REPOSITORIO UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ. Obtenido de “Implementación de un sistema de riego por aspersión para uso agrícola, ubicado en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería Agrícola en la parroquia Lodana del cantón Santa Ana”.

Wu, I-P., Barragán, J. & Bralts, V. (2007). Field performance and evaluation. En: Lamm, F.R., Ayars, J.E. & Nakayama, F.S. (Eds.) Microirrigation for crop production. Design, Operation, and Management (357-388). Amsterdam. Elsevier.

ANEXOS

Anexo 1. Datos de aforo de emisores del sector 1 por cada lateral en l/hr.

1			2			3			4			5			
26,3	25,6	26,2	20,4	23,4	22,3	18,4	18,1	19,2	19,3	19,8	19,9	18,6	18,0	18,5	
13,2	13,8	14,0	22,8	23,4	22,3	20,3	19,8	20,0	21,8	21,2	22,0	29,2	29,8	29,9	
17,2	16,7	16,7	26,5	26,0	26,2	17,0	16,8	17,2	24,6	25,2	13,1	25,2	26,2	26,3	
22,8	21,6	22,4	12,0	14,4	13,9	22,6	22,8	22,7	25,2	24,0	24,7	27,1	27,8	27,7	
9,0	8,2	8,0	14,9	15,0	15,2	16,6	16,0	16,7	22,9	22,6	22,3	15,0	15,6	15,6	
						15,6	16,7	16,4	28,2	27,2	28,4	15,2	15,4	15,0	
						14,5	15,4	14,5	28,2	28,1	28,4				
						22,8	22,7	22,9	22,8	22,1	22,0				
						11,9	12,1	12,1							
6			7			8			9			10			
20,4	21,1	21,0	30,2	31,2	31,2	27,0	26,4	26,6	NO EMISOR			29,6	30,2	30,4	
22,0	21,5	21,7	24,2	23,3	24,1	16,2	16,9	16,4	22,0	22,8	22,9	20,6	20,2	20,0	
21,6	22,3	22,3	23,6	22,3	23,4	19,3	19,2	19,2	30,1	30,5	30,2	21,2	21,4	21,4	
25,8	25,0	25,3	19,2	20,2	20,0	17,6	16,8	16,9	13,8	13,2	13,8	23,0	22,8	23,5	
25,2	25,4	25,6	23,8	25,0	24,2	15,6	14,6	15,7	30,0	29,2	28,9	24,1	24,4	24,8	
20,2	20,8	20,2	26,2	26,9	26,5	21,4	20,5	21,1	18,4	18,2	18,4	13,8	13,9	14,3	
27,7	27,4	27,8	25,2	25,0	25,0	17,4	17,0	17,3	25,7	24,2	24,8				
17,5	17,6	17,3	27,2	27,6	27,4										
11			12			13			14			15			
24,6	26,2	24,8	19,8	20,2	20,2	25,2	27,0	26,4	21,8	22,4	22,3	24,4	24,0	25,0	
22,0	22,2	22,2	25,2	23,8	24,1	29,8	28,8	29,5	15,7	16,6	15,6	18,7	19,4	19,4	
16,8	16,7	17,0	20,9	21,4	21,2	17,8	17,0	17,9	22,0	21,7	22,1	17,6	18,2	18,0	
24,6	25,4	25,3	24,0	22,8	23,8	21,0	19,9	20,5	22,3	21,8	21,7	20,0	20,3	20,2	
26,6	27,4	26,9	19,9	19,7	20,0	9,6	9,7	10,1	13,4	14,0	14,0	19,8	19,7	19,9	
NO EMISOR NI ARBOL			19,8	18,0	18,7	18,0	16,8	17,5	14,6	14,8	14,6	22,8	23,6	23,0	
21,6	21,2	21,5	19,3	19,1	19,0				NO FUNCIONAN						
			17,4	17,4	17,2										
			13,7	14,8	13,9										
16			17			18			19			20			
20,6	21,0	20,9	16,8	18,6	17,2	22,6	22,8	22,9	22,9	23,3	23,4	20,5	20,4	20,8	
27,0	26,4	26,9	16,8	17,3	17,0	21,8	21,6	21,6	15,7	16,3	16,2	22,0	22,2	22,3	
23,0	22,3	22,4	19,8	20,4	20,5	21,4	22,1	21,8	15,5	15,5	15,2	19,1	19,7	19,4	
21,4	19,8	19,4	21,0	21,0	21,4	20,3	20,6	20,0	15,8	15,6	15,7	21,0	21,0	21,2	
19,1	19,9	19,7	22,8	24,6	22,8	22,3	22,2	22,4	20,2	20,6	20,6	19,4	19,9	19,3	
15,6	14,2	15,1	15,5	15,2	15,8	21,7	21,8	22,1	15,0	15,4	14,9	21,4	21,8	21,6	
16,6	17,4	16,7				22,9	22,4	22,7	15,2	15,0	14,9	19,4	19,8	19,9	
21,0	20,4	21,6				19,1	18,8	19,1				20,4	20,5	20,3	
19,3	19,8	19,7													
21			22			23			24			25			
19,4	20,0	19,7	17,4	16,3	17,0	15,1	15,8	15,7	NO EMISOR NI ARBOL			22,2	22,7	22,1	
19,0	18,5	19,0	18,0	18,7	18,1	19,8	20,2	20,4	21,4	22,3	21,6	17,6	17,3	17,6	
22,6	22,8	23,0	18,0	19,8	19,9	13,7	13,3	13,2	15,8	16,6	15,6	21,4	23,0	21,5	
21,5	21,6	21,7	17,2	17,4	17,0	13,2	14,4	13,9	20,6	21,2	21,4	21,8	19,2	19,2	
21,8	21,7	22,1	22,2	23,2	22,9	24,6	22,8	23,8	21,0	20,9	20,9	21,8	23,6	22,9	
15,7	15,8	15,8	24,0	22,2	22,6	16,7	17,5	16,9	17,5	18,1	17,9	22,3	22,9	22,4	
22,3	22,8	22,6	18,1	19,4	19,1	15,0	15,7	15,2	21,4	21,5	21,1	21,6	22,0	22,1	
			19,9	18,5	19,1	10,1	12,0	11,3	17,0	16,6	16,9				
26			27												
14,9	15,4	15,0	19,2	21,0	19,7										
13,2	13,8	13,8	24,1	24,0	24,5										
12,2	12,6	12,4	26,0	26,5	26,3										
21,5	21,2	21,5	26,0	26,5	26,3										
13,8	14,4	13,9	19,2	19,4	19,4										
13,1	13,7	13,3	18,8	18,4	18,5										
13,2	12,5	12,2	19,3	19,6	20,2										
			19,7	19,3	19,3										

Anexo 3. Filtro de anillas (Completamente sucio)



Anexo 4. Filtro de arena



Anexo 5. Sectorización de sistema de riego por microaspersión



Anexo 6. Sectorización de sistema de riego por microaspersión



Anexo 7. Tramo final de lateral expulsando agua con sedimentos.



Anexo 8. Método para aforar emisores



Anexo 9. Método para aforar emisores 2.



Anexo 10. Prueba para la determinación de ecuación del emisor.



Anexo 11. Emisor dañado por paso de la hoja de la guadaña



Anexo 12. Sector afectado por las inundaciones.



Anexo 13. Manguera cortada por paso de la guadaña.



Anexo 14. Estaca porta-emisor dañada por paso de la guadaña.



Anexo 15. Emisor obstruido por el enraizamiento



Anexo 16. Emisor obstruido por hormigas y arañas.

