



“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de Tesis

**Análisis de los parámetros hidráulicos para
conocer la uniformidad de riego en una
unidad de riego por goteo, en la finca El
Plantel, UNA, 2020.**

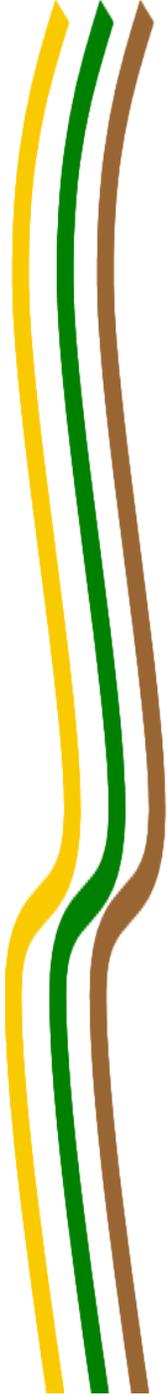
Autor

Br. Paul Frederick Fley Vado

Asesores

**Ing. MSc. Joel Isaias Angulo
Ing. Carmen Margarita Castillo**

**Managua, Nicaragua
Noviembre, 2020**





“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de Tesis

Análisis de los parámetros hidráulicos de una unidad de riego por goteo, en la finca el Plantel, UNA, 2020.

Autor

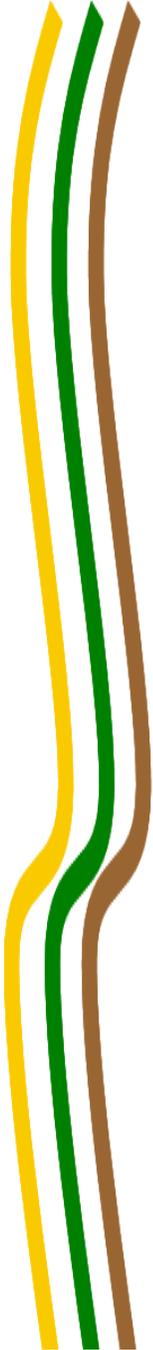
Br. Paul Frederick Fley Vado

Asesores

Ing. MSc. Joel Isaias Angulo
Ing. Carmen Margarita Castillo

Presentado a la consideración del honorable tribunal
examinador como requisito final para optar al grado
de Ingeniero Agrícola Para el Desarrollo Sostenible

Managua, Nicaragua
Noviembre, 2020



Hoja de aprobación del Tribunal Examinador

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable Tribunal Examinador designado por el Decanato de la Facultad de Agronomía como requisito final para optar al título profesional de:

Ingeniero Agrícola Para el Desarrollo Sostenible

Miembros del Tribunal Examinador

Presidente (Grado académico y nombre)

Secretario (Grado académico y nombre)

Vocal (Grado académico y nombre)

Lugar y Fecha: _____

DEDICATORIA

A Dios, con su gracia me ha permitido concluir este proyecto y me ha llevado a la cima de este podio.

A la memoria de mi padre, Roberto Fley González, quien puso la semilla en mí de la pasión por las ciencias agrarias y el amor a la humilde labor de trabajar con la madre tierra. Su inspiración, espíritu e ímpetu de hacer un mundo mejor vivirán sempiternamente.

A mi madre, Sarahí Vado Álvarez, su amor inmensurable me ha permitido llegar al podio de esta etapa de mi vida. Con ahínco día tras día ha dejado un legado único con su maravilloso ejemplo personal. Quien siempre ha creído en mí. Pilar principal para mi vida.

A mi familia, amigos y seres queridos, quienes me han apoyado de forma incondicional a lo largo de este periodo.

Br. Paul Frederick Fley Vado

AGRADECIMIENTO

A Dios, quien con su amor me ha dado el milagro de la vida y me lleva con paso firme a lo mejor para mi vida.

A mi madre, Sarahí Vado Álvarez, quien ha fomentado en mí el deseo de superación y me ha brindado su apoyo absoluto en esta etapa importante de mi vida. Con esfuerzo y sacrificio me ha llevado a cumplir mis sueños, Inculcándome valores y principios me ha mostrado siempre lo correcto de hacer siempre el bien.

A mi abuelita, Sara Álvarez M, quien con su ejemplo y apoyo me ha animado a ser un grande ser humano, su amor es mi motor para la búsqueda de concretar mis objetivos y sueños.

A mis seres queridos, quienes han aportado siempre para mí un apoyo total.

Al lobo estepario, quien ha dejado el legado de la amistad y la hermandad para toda la vida.

A mis asesores, Joel Angulo Rocha y Carmen Margarita Castillo, por confiar en mí, por brindarme siempre su ayuda y su loable labor de hacer crecer el potencial de la carrera de ingeniería Agrícola.

A los trabajadores de la finca El plantel quienes apoyaron con esmero en la realización de este proyecto.

Br. Paul Frederick Fley Vado

INDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
INDICE DE CUADROS	iii
INDICE DE FIGURAS	iv
INDICE DE ANEXOS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
III. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1. Sistema de riego por goteo	4
3.2. Régimen hidráulico	4
3.3. Relación caudal – presión	5
3.4. Elementos involucrados en Coeficiente de Uniformidad	6
3.5. Finca experimental El Plantel	6
3.6. Academia	8
3.7. Coeficiente de variación de fabricación	8
3.8. Coeficiente de uniformidad de presiones	9
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	11
4.1. Ubicación del estudio	11
4.2. Diseño metodológico	12
4.2.1. Volumen suministrado:	12
4.2.2. Presión en los goteros:	12
4.2.3. Levantamiento planimétrico:	12
4.2.4. Altimetría:	12
4.3. Diseño metodológico	13
4.3.1. Procedimientos	13
4.4. Unidad de riego	13
4.4.1. Elementos del sistema	14

4.4.2. Diagonal de Presión	14
4.5. Emisor instalado	16
4.6. Variables evaluadas	16
4.6.1. Coeficiente de variación de fabricación	16
4.6.2. Efecto del coeficiente de variación de fabricación en la uniformidad de riego	17
4.6.3. Coeficiente de Uniformidad de presiones	18
4.6.4. Coeficiente de Uniformidad	19
4.6.5. Regresión lineal por mínimos cuadrados para determinar la ecuación de caudal $q=kh^x$ con datos de campo	21
4.6.6. Coeficiente de correlación	22
4.6.7. Coeficiente de determinación	22
4.6.8. Significación del coeficiente de correlación	22
4.6.9. Ecuación del emisor	23
4.7. Diagnóstico de una baja uniformidad	24
4.8. Análisis de datos	25
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
5.1. Curvas a nivel	26
5.2. Regresión lineal	27
5.3. Coeficiente de correlación	27
5.4. Coeficiente de determinación	27
5.5. Prueba de significancia	27
5.6. Coeficiente de descarga	28
5.7. Ecuación del emisor	28
5.8. Datos ajustados por regresión lineal	28
5.9. Coeficiente de variación de fabricación	29
5.10. Efecto del Coeficiente de variación de fabricación en la uniformidad	31
5.10.1. Uniformidad Estadística	31
5.10.2. Coeficiente de uniformidad bajo efecto del coeficiente de variación de fabricación	31
5.11. Uniformidad de Presiones	31
5.11.1. Coeficiente de uniformidad de presiones	31
5.11.2. Uniformidad de distribución de presiones	32
5.12. Coeficientes de uniformidad	33
5.12.1. Merriam & Keller	33
5.12.2. Keller & Karmeli	33
5.12.3. Barragán	34

5.13.	Diagnóstico de una baja uniformidad	35
VI.	CONCLUSIONES	37
VII.	RECOMENDACIONES	38
VIII.	LITERATURA CITADA	39
IX.	ANEXOS	42

INDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1.	Régimen hidráulico de los emisores de riego localizado	5
2.	Clasificación de los emisores según su CV_f	17
3.	Indicadores del desempeño de sistema de riego presurizado	19
4.	Factor complementario dependiente del número de emisores por plantas	20
5.	Clasificación para los valores de CV_t	24
6.	Valores de caudal de diferentes puntos de la unidad de riego para el cálculo de la desviación típica	30
8.	Indicadores del desempeño de sistema de riego presurizado	31
9.	Datos de caudal y presión	36

INDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1.	Seccionamiento de las 15 ha del sistema de riego en la finca El Plantel	7
2.	Área de la red de riego en la finca El Plantel	11
3.	Pasos de investigación	13
4.	Evaluación de la uniformidad del riego	14
5.	Esquema de campo del sistema de riego por goteo	15
6.	Curva característica del emisor	16
7.	Curvas a nivel de la unidad de riego en el bloque de níspero	26
8.	Datos ajustados por regresión lineal	29
9.	Uniformidad de presiones	33
10.	Coefficiente de uniformidad de emisión de agua	35

INDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1.	Catálogo del fabricante del gotero MBTECH 8/L	42
2.	Datos hidráulicos de campo	43
3.	Coefficiente de Variación de Fabricación	44
4.	Presión de los dieciséis puntos	45
5.	Caudales de los dieciséis puntos	45
6.	Datos evaluados por punto	46
7.	Regresión Lineal	46
8.	Valor de caudales ajustados por mínimos cuadrados	47
9.	Cabezal de campo	48
10.	Localización de los puntos con pintura blanca en aerosol	49
11.	Emisores en funcionamiento	50
12.	Vegetación presente en punto de emisión de agua	51
13.	Manómetro de glicerina	52
14.	Tubería principal de distribución de la finca El Plantel	53
15.	Pozo de agua en finca El Plantel	53
16.	Medición de presión en laterales de riego	54

RESUMEN

Este estudio fue desarrollado durante el primer semestre de 2020, en la finca El Plantel, propiedad de la Universidad Nacional Agraria, Masaya, Nicaragua, en la zona donde se estableció el cultivo de níspero, con el objetivo de analizar los parámetros hidráulicos de una unidad de riego por goteo en la finca experimental El Plantel. Para su cálculo se eligieron 16 puntos de emisión distribuidos uniformemente dentro de la unidad de riego, para ello los lados más cercanos y más alejados de la toma de tubería terciaria y los dos intermedios (los ubicados en 1/3 y 2/3). Para medir el volumen se utilizó una probeta 1000 ml, en un tiempo de tres minutos. La presión se midió en los 16 puntos con un manómetro con baño de glicerina con una escala entre 0 y 60 PSI. Se calculó la uniformidad de presión obteniendo valores entre 93% y 95% categorizados como excelentes en desempeño; coeficiente de uniformidad con un valor máximo de 83 % y un mínimo de 65% categorizado entre bueno y malo; la ecuación del emisor resultó en $q = 1.34h^{0.70}$, y se propusieron metodologías para diferenciar el efecto de las causas constructivas de las hidráulicas. Existe una baja uniformidad debido al bajo coeficiente de variación en la fabricación de los emisores, siendo de 0,17, esto se debe a las causas constructivas.

Palabras Clave: Coeficiente de uniformidad, Presión, Distribución, Emisor.

ABSTRACT

This study was developed during the first semester of 2020, at the El Plantel farm, owned by the National Agrarian University, Masaya, Nicaragua, in the area where loquat cultivation is established, with the objective of analyzing the hydraulic parameters of a drip irrigation unit in the experimental farm El Plantel. To calculate it, 16 emission points were chosen evenly distributed within the irrigation unit, for this the closest and furthest sides of the tertiary pipe intake and the two intermediate ones (those located at 1/3 and 2/3). A 1000 ml test tube was used to measure volume, in a time of three minutes. The pressure was measured at the 16 points with a manometer in a glycerine bath with a scale between 0 and 60 PSI. Pressure uniformity was calculated, obtaining values between 93% and 95% categorized as excellent in performance; uniformity coefficient with a maximum value of 83% and a minimum 65% categorized between good and poor; the emitter equation resulting in $q = 1.34h^{0.70}$, and methodologies were proposed to differentiate the effect of the constructive causes of the hydraulic ones. There is a low uniformity due to the low coefficient of variation in the manufacture of the emitters, being 0.17, that is, to the constructive causes.

Key Words: Coefficient of uniformity, Pressure, Distribution, Emitter.

I. INTRODUCCIÓN

Un sistema de riego por goteo consiste en conducir el agua a través de una red de tuberías, aplicándose a los cultivos a través de emisores que suministran bajos volúmenes de agua de manera paulatina. El agua entra en forma de gota por medio de goteros.

Es fundamental evaluar el funcionamiento de los sistemas de riego por goteo, especialmente luego de los ciclos de producción de los cultivos. Para esto existen diversas metodologías como las propuestas por Bedoya y Ángeles (2016), con expresiones numéricas que sirven como índice para asegurar una uniformidad y con este propósito se utilizan expresiones llamadas coeficiente de uniformidad, los cuales son expresados en porcentajes; se estudia la presión, caudal, y desempeño de los elementos del sistema de riego. Estas metodologías fueron incorporadas en este proyecto investigativo.

La distribución deficiente significa que se está aplicando demasiada agua, lo que implica un gasto innecesario, o que el agua aplicada no es suficiente, provocando estrés al cultivo. Existe una diferencia entre eficiencia de riego y uniformidad de la distribución del agua. La eficiencia de riego es referida a la precisión con que las demandas hídricas de los cultivos son suplidas, y da respuesta al régimen de riego que se necesita y la uniformidad es la acción de suministrar equitativamente volúmenes de agua en cada punto de riego.

La finca El Plantel, cuenta con una red de sistemas de riego, entre ellos está el riego localizado por goteo, ubicado en el bloque del cultivo de níspero, este sistema fue instalado en el año 2012-2013. Es abastecido desde un pozo a través de una bomba sumergible que funciona con una capacidad de 44 PSI. Con el apoyo de los trabajadores de la UNA, en la finca El Plantel, se obtiene la información necesaria referente al uso y manejo del sistema de riego. Permite esto conocer directamente la dinámica de uso y manejo que ocurre en la unidad.

Se investigan las condiciones hidráulicas de explotación de la unidad de riego por goteo donde está ubicado el cultivo de níspero. Se han desarrollado estudios similares para evaluar estos parámetros en otros bloques de riego de la finca El Plantel, con otros tipos de sistemas de riego, obteniendo resultados significativos para realizar cambios precisos en el uso y mantenimiento de los sistemas de riego.

Se realiza una valoración de las condiciones hidráulicas de funcionamiento de la unidad de riego por goteo donde está establecido el cultivo de níspero, determinando el valor del coeficiente de uniformidad de distribución por la metodología de Merriam y Keller, conocida como “diagonal de presión” y los valores de la uniformidad de aplicación del agua separando las causas que justifiquen el valor obtenido del coeficiente de aplicación.

Se expone el funcionamiento de este bloque de riego y a la vez recomendar medidas y soluciones ante los problemas que se encuentran afectando el desempeño de los elementos que conforman la unidad de riego, por ende, a los cultivos que puedan ser establecidos en la unidad.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Analizar los parámetros hidráulicos para conocer la uniformidad de riego en una unidad de riego por goteo en la finca experimental El Plantel UNA ,2020.

2.2. Objetivos específicos

- Relacionar los valores del coeficiente de uniformidad en la unidad de riego por goteo con cuatro ecuaciones.
- Diferenciar el efecto de los factores constructivos e hidráulicos en la uniformidad de aplicación del riego.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Sistema de riego por goteo

Referimos que:

Un sistema de riego por goteo es aquel donde se aplica agua filtrada (y fertilizante) dentro o sobre el suelo directamente a cada planta en forma individual. En los árboles sembrados en huertas y otros cultivos ampliamente espaciados, esto se realiza utilizando líneas laterales que corren a lo largo de cada hilera del cultivo. Los “emisores” que son anexados a la línea lateral suministran las necesidades de agua a cada planta. (Casillas y Briones 2015, p. 192)

Con un sistema de riego por goteo, el agua puede ser suministrada al cultivo con base en una baja tensión y una alta frecuencia, con lo cual se crea un medio ambiente óptimo de humedad necesaria en el suelo. Debido a la alta frecuencia de los riegos, se pueden obtener eficiencias muy altas. (p.192)

3.2. Régimen hidráulico

Según Pizarro (1996):

La importancia práctica de conocer el régimen hidráulico reside en que para cada régimen son distintas las fórmulas que relacionan la presión con la velocidad, es decir, las que permiten resolver los problemas más frecuentes de hidrodinámica tales como cálculo de pérdidas de carga, cálculo del caudal en función de la presión disponible, etc. Pero además de estas aplicaciones, el régimen hidráulico tiene unas consecuencias prácticas sobre el funcionamiento de los emisores, que se pueden resumir diciendo que el régimen laminar es inconveniente por las razones siguientes:

1. En régimen laminar la pérdida por fricción a lo largo de una conducción no depende de la rugosidad de la misma y sí de la viscosidad cinemática y por tanto de la temperatura. En consecuencia, para una misma presión, los emisores en que el agua esté a mayor temperatura arrojaran un caudal mayor, lo que puede dar lugar a diferencias importantes entre el primer y último emisor situados en un lateral expuesto al sol. Este fenómeno

puede a veces compensar las pérdidas de carga a lo largo del lateral, pero en general debe considerarse como un factor de pérdida de uniformidad en el riego.

2. En régimen laminar la relación de pérdida de carga y velocidad es lineal, o lo que es lo mismo la relación entre caudal y presión es un emisor lineal. En cambio, en régimen turbulento la relación es del tipo: $q = Kh^x$

Para que emitan el mismo caudal, los emisores en régimen turbulento necesitan menor diámetro de paso que los de régimen laminar, lo que en principio es una ventaja de estos últimos desde el punto de vista de la prevención de obturaciones. Sin embargo, la velocidad del agua en el régimen turbulento es muy superior, con lo que el riesgo de sedimentación disminuye. La acción conjunta de estos dos hechos muestra un balance favorable a los emisores turbulentos también en el tema de obturaciones. (p. 237)

Cuadro 1. Régimen hidráulico de los emisores de riego localizado

Valor del exponente	Tipos de flujo
$x = 0.5$	Completamente turbulento
$0.5 < x < 0.7$	Parcialmente turbulento
$0.7 < x < 0.9$	Inestable o crítico
$x = 1$	Laminar

Fuente: (Keller & Karmeli, 1974)

3.3. Relación caudal – presión

Cualquiera que sea el tipo de emisor, salvo las cintas de exudación, entre el caudal emitido y la presión de servicio existe la siguiente relación, denominada ecuación del emisor (Pizarro, 1996):

$$q = Kh^x$$

Donde:

q: Caudal del emisor, que generalmente se mide en litros/hora (l/h)

K: Coeficiente de descarga

X: Exponente de descarga

h: Presión a la entrada del emisor, (m.c.a)

Los valores de K y x son característicos de cada tipo de emisor. Con frecuencias los fabricantes solo informan de un punto de la ecuación del emisor, pero debe exigírseles que proporcionen la fórmula $q = Kh^x$ con los valores numéricos de K y x, así como el entorno de trabajo o por lo menos la curva q – h. A partir de esa curva o tabla se puede deducir la ecuación del emisor, aplicando la fórmula siguiente a dos pares valores:

$$x = \frac{\ln(q_1 / q_2)}{\ln(h_1 / h_2)} \qquad K = \frac{q_q}{h_1^x}$$

(p. 237 – 238)

3.4. Elementos involucrados en Coeficiente de Uniformidad

Según Pizarro (1996) En el coeficiente de Uniformidad están involucrados los siguientes factores:

Constructivos: Las características del emisor y la variabilidad de fabricación de los mismos. El factor constructivo se explica en el *coeficiente de variación*.

Hidráulicos: La distribución de la presión de función, pérdidas por fricción, ganancias o pérdidas causadas por diferencias topográficas. (p.406).

3.5. Finca experimental El Plantel

En el periodo del año 2012 – 2013 se inició el proyecto de la instalación del sistema de riego por goteo y aspersión en la finca El Plantel. Se dividió la unidad total en bloques, dividiéndola así por diferentes tipos de sistemas riego y variedades de cultivos. Los sistemas de riego que se instalaron consistieron en: riego localizado por goteo, micro- aspersión y aspersión.

Este proyecto según Alvarado y Cruz (2016) tiene la finalidad de establecer un parque frutícola, que permita realizar investigaciones académicas, tanto como a la vegetación existente como a las diversas unidades de riego; y esto a la vez genere una fuente de ingresos económica a través de los frutos obtenidos. De esta manera se impulsa un gran avance tecnológico y científico para la academia.

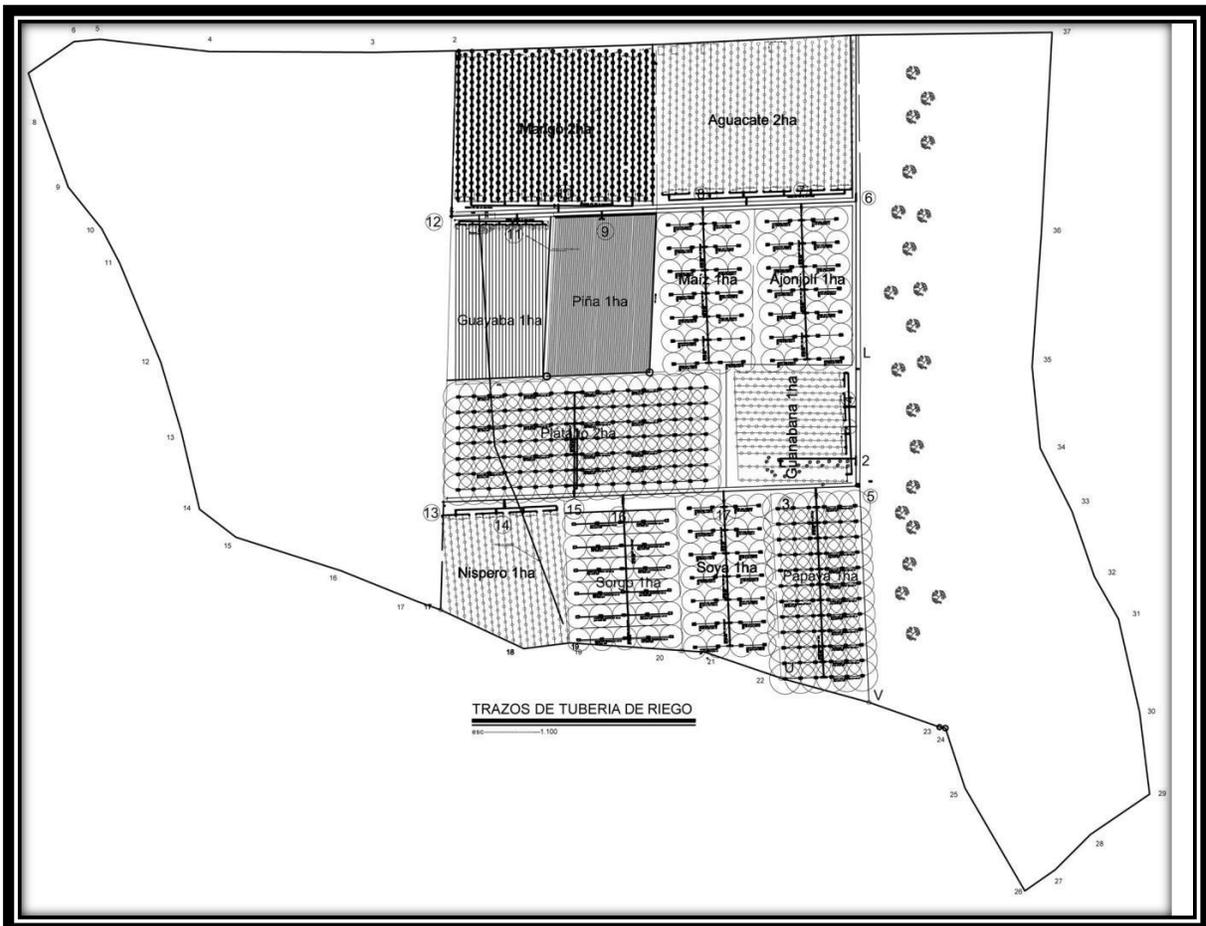


Figura 1. Seccionamiento de las 15 ha del Sistema de riego en la finca El Plantel. (Cruz y Alvarado, 2016)

Según Cruz y Alvarado (2016):

Durante la instalación del sistema se comprobó que el pozo cuenta con capacidad para suministrar de 600 a 1000 galones por minuto. En los anexos 13 y 14 se puede apreciar el pozo y tubería principal de distribución desde la bomba. En el pozo se colocó una Bomba tipo Turbina Sumergible acoplada a motor FRANKLIN eléctrico con las siguientes especificaciones:

- Caudal: 500 – 600 galones por minuto
- Carga Dinámica Total: 525 pies - 610 pies
- Potencia: 100 HP
- Motor Eléctrico Trifásico 440 – 460 voltios, 60 Hz

3.6. Academia

En estos sistemas de riego se han desarrollado variados estudios con énfasis en los sistemas de riego. Se ha tratado de conocer el funcionamiento, mantenimiento y el desempeño que proyectan estos a través de los años de uso que se les ha demandado.

Los principales estudios que se han desarrollado son en las unidades de riego por aspersión y micro-aspersión. Esto ha facilitado la incorporación de medidas para cumplir mejor la operatividad y mantenimientos de los sistemas.

Se busca la sostenibilidad y manejo adecuado de los sistemas de riego para aumentar la productividad de la tierra y de los cultivos. Para ello se han entablado proyectos enfocados en el análisis de la uniformidad de la distribución del agua en los diversos bloques.

Díaz y Herrera (2019) presentaron un proyecto investigativo realizado en el bloque III, donde está ubicado el sistema de riego por aspersión, el cual presentó un coeficiente de uniformidad aceptable del 80%. También el área del plátano Cruz y Alanís (2016) investigaron la distribución del sistema micro-aspersión, obteniendo un coeficiente de uniformidad bueno, con un 78%. Estos estudios aplicaron las metodologías propuestas por Christiansen.

3.7. Coeficiente de variación de fabricación

En el proceso de manufacturación de los emisores por los fabricantes existen pequeñas fallas para crear emisores completamente iguales, lo que resulta imposible que todos los emisores posean las mismas características de descarga. Según Mendoza (2013) esto se debe a que las dimensiones críticas del pasaje del flujo son pequeñas y por lo tanto difíciles de fabricar con absoluta precisión.

Según Mendoza (2013), el coeficiente de fabricación es un término estadístico característico, que se utiliza como una medida de las variaciones anticipadas de caudal en una muestra de goteros.

El valor del coeficiente CV debe ser dispuesto por parte del fabricante del emisor; En caso contrario se puede calcular con una muestra de 25 valores mínimo de caudales a más. La dispersión presentada por el efecto de manufactura en los valores de caudal se midió haciendo uso esencialmente de la desviación típica. Según Pizarro (1996) p.400 La define como la raíz cuadrada de la media aritmética de los cuadrados de las desviaciones respecto de la media:

Desviación típica

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (q_i - q_a)^2}{n}}$$

Debido a que la desviación típica funciona como una medida de dispersión absoluta y el interés radica en poder representar la dispersión relativa, dando paso al procedimiento del proceso del coeficiente de variación, el cual se obtiene del cociente entre la desviación típica y el valor medio evaluado:

$$CV_f = \frac{\sigma}{q_a}$$

3.8. Coeficiente de uniformidad de presiones

Las variaciones de presión existentes en los diferentes puntos de emisión ocupan un rol importante en nuestros caudales. Las variaciones de presión entre los emisores a lo largo de todo el sistema de microirrigación contribuyen al elemento de uniformidad de emisión que más se discute en los artículos profesionales.

El coeficiente de uniformidad de presiones no es necesario para el cálculo de uniformidad de caudales de la instalación. Sin embargo, es conveniente conocerlo para detectar posibles diferencias de presiones que se pueden producir a lo largo de la red de riego y así poder solucionarlas mediante la instalación, por ejemplo, de un regulador de presiones.

3.9. Sistema de riego

El sistema de riego de la finca El Plantel se encuentra dividido en bloques, los cuales cuentan con cabezales de campo para tener un mejor control y manejo sobre las unidades. Los goteros que han sido utilizados para la unidad del riego son de característica autocompensante.

- **Gotero autocompensante:** Dotados de un elemento flexible en su interior, normalmente una membrana de caucho que se deforma bajo la acción de una diferencia de presión del agua antes y después de la membrana, manteniendo el caudal aproximadamente constante ($x=0$). La autocompensación sólo se da entre un rango de presiones que es necesario conocer. Pizarro (1996)

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del estudio

El ensayo se estableció en la finca experimental El Plantel propiedad de la Universidad Nacional Agraria, ubicada en el km 30 carretera Tipitapa - Masaya al Sureste de la Cabecera Municipal de Tipitapa, Departamento de Managua, en las coordenadas 86°05'25" longitud Oeste y 12°07'11" latitud Norte y altitud de 108 msnm, limitando al Norte con la comunidad Zambrano, al Sur con la comunidad Guanacastillo, al Este con la comunidad Zambrano y al Oeste con la comunidad de Cofradías.

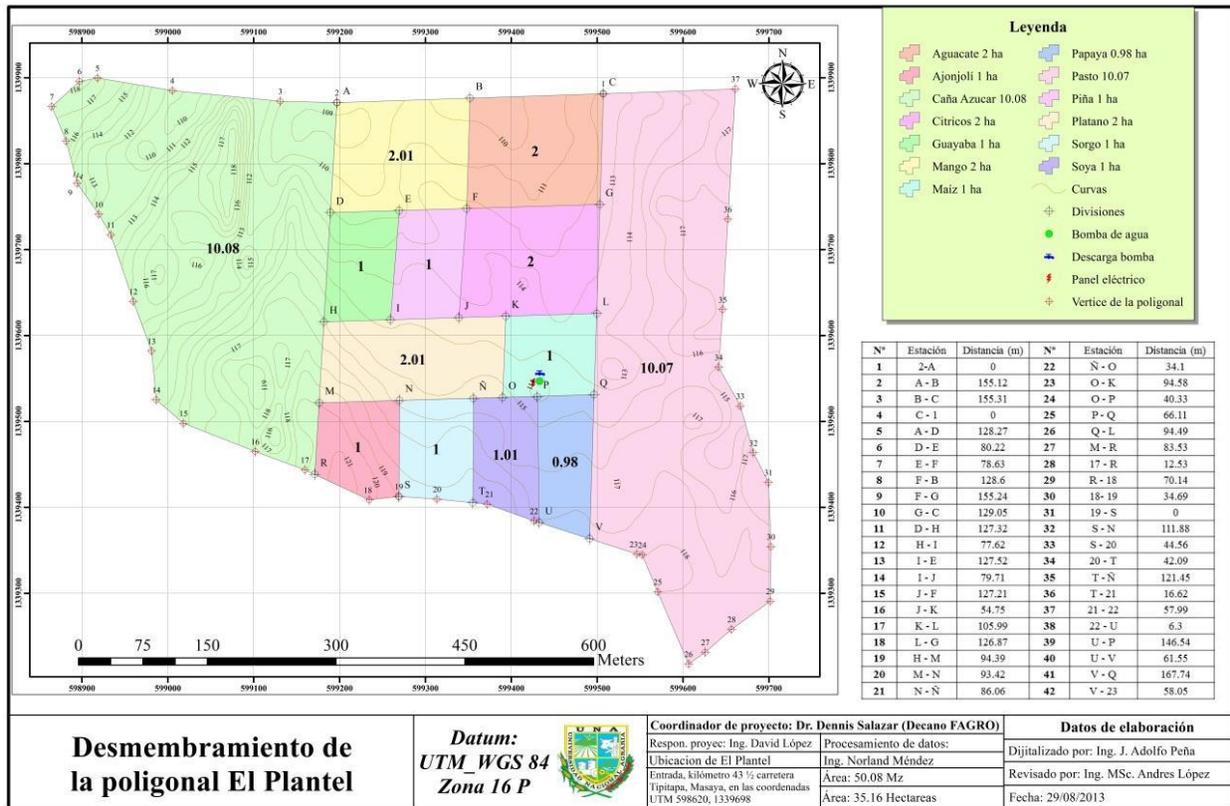


Figura 2. Área de la red de riego en la finca El Plantel. Serapio y Alvarado (2016)

La unidad por goteo que se seleccionó para el desarrollo del estudio es la unidad establecida con el cultivo de níspero.

4.2. Diseño metodológico

4.2.1. Volumen suministrado

En la subunidad, variaba de uno a cuatro la cantidad de emisores por planta. Se midió el volumen tres veces por punto, tomando un emisor diferente para cada medición, si no había más de dos emisores por planta, se repetía dos veces en un emisor. Haciendo uso de una probeta de mil mililitros se midió el volumen en un rango de tiempo de tres minutos.

4.2.2. Presión en los goteros

Con un manómetro en baño de glicerina con escala entre 0 a 60 PSI se midió la presión localizada en cada uno de los emisores.

4.2.3. Levantamiento planimétrico

Para la realización de la medición del área de la subunidad, se realizó un levantamiento planimétrico del área haciendo uso de un teodolito con error angular de cinco minutos. La línea de levantamiento se realizó en sentido antihorario, para iniciar el punto de inicio (1-2) se midió el azimut a partir del norte magnético de una brújula, con ángulos internos derechos.

4.2.4. Altimetría

Haciendo uso del nivel de ingeniero, estadía, una cinta métrica y jalón se hizo el levantamiento altimétrico del terreno.

4.3. Diseño metodológico

4.3.1. Procedimientos

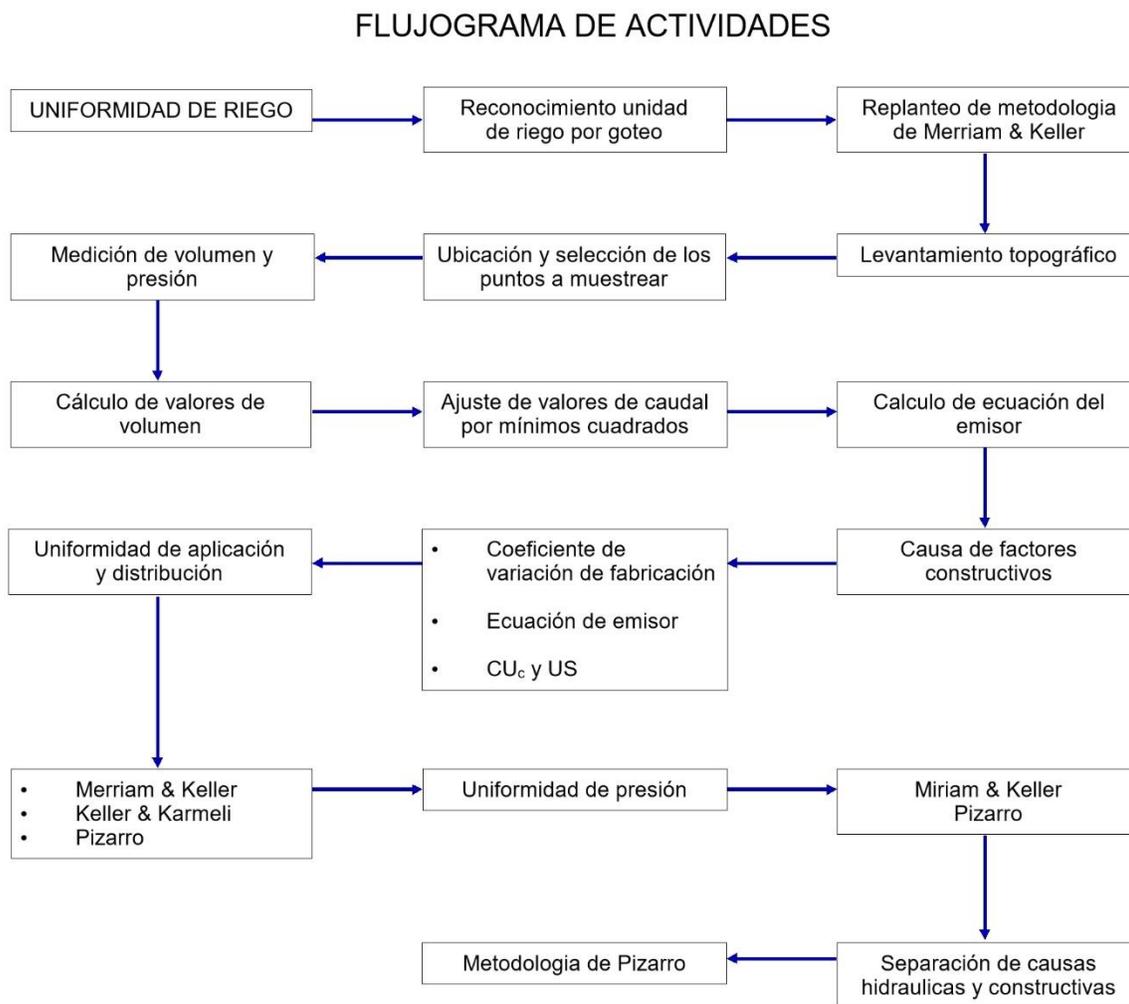


Figura 3. Fases de la investigación

4.4. Unidad de riego

La unidad frutal se encuentra en el Bloque IV, en los cultivos del sector sur. Aunque el área del lote es de 1 hectárea el sistema de riego por goteo solo cubre 0.33 ha del bloque.

4.4.1. Elementos del sistema

Según Cruz y Alvarado, se determinaron valores para los bloques, detallándose de la siguiente forma:

- **Caudal:** El caudal que se estableció para este bloque es de 7.66 gpm.
- **Presión:** La presión con la que se operaría el sistema se determinó en 22 PSI. (2016)

Durante una visita en situ, se examinó que la bomba de agua funcionaba bajo una presión de 44 PSI para distribuir agua a los III bloques. Se ejecuta de esta manera debido a que la presión de la bomba sobrepasa la capacidad que puede resistir un solo bloque, de esta forma se aminora la posibilidad de daños en el sistema que precisa de riego y se suministra agua a los demás cultivos en los otros bloques.

Desde la Bomba de agua de abastecimiento hasta el cabezal de campo de esa unidad existe una distancia de 300 metros. El sistema de riego en el área es localizado de alta frecuencia por goteo. Instalado en el año 2013 (Cruz y Alvarado 2016).

4.4.2. Diagonal de Presión

Para la obtención de la variable de uniformidad de riego se utilizó la metodología de diagonal de presión para sistemas de riego, propuesta por Merriam y Keller, aplicándose a la subunidad.

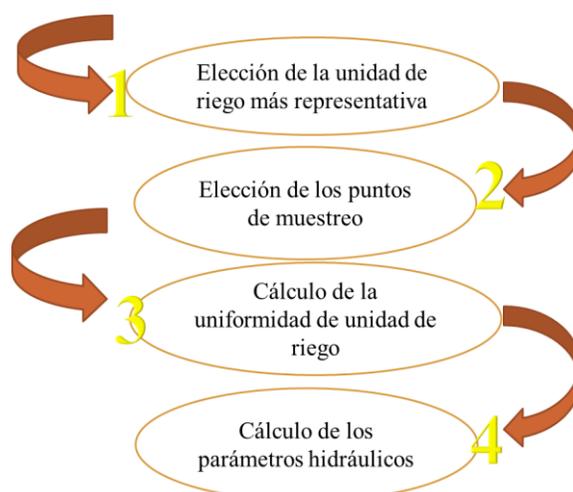


Figura 4. Evaluación de la uniformidad del riego

Para calcular uniformidad de aplicación se eligieron dieciséis emisores distribuidos uniformemente dentro de la subunidad de riego. Se seleccionó 16 puntos de emisión para calcular este coeficiente. Para ello, se eligieron los laterales más cercanos y más lejano de la toma de la tubería terciaria y los dos intermedios (los situados a un tercio y dos tercios). En cada lateral se seleccionaron cuatro emisores siguiendo el mismo criterio, es decir, el más cercano y el más lejano de la toma del lateral y los dos intermedios.

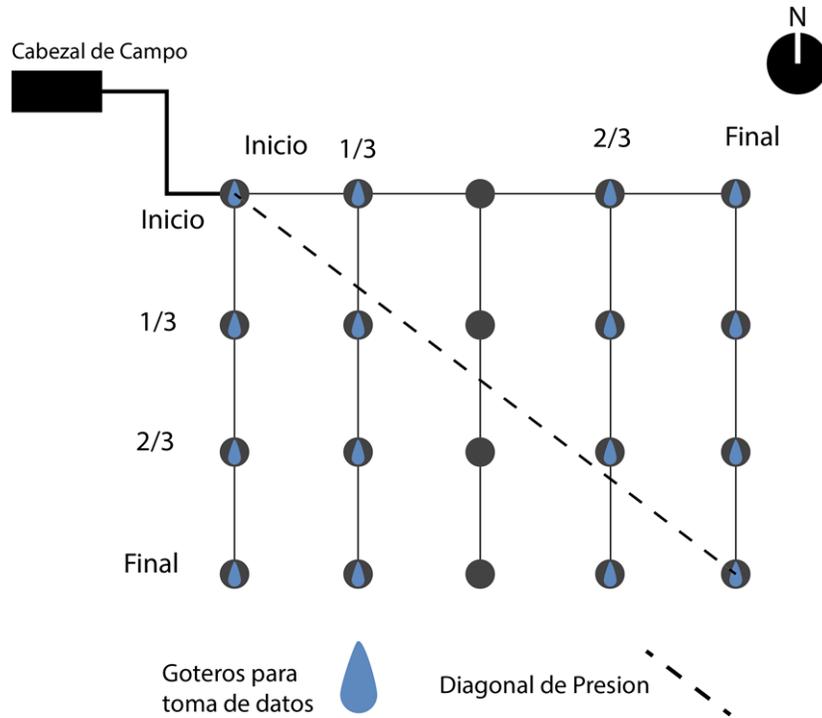


Figura 5. Esquema de campo del sistema de riego por goteo

4.5. Emisor instalado

El gotero instalado en el sistema de riego es un gotero autocompensante, modelo: MBTECH PC/8L. Este gotero presenta una ecuación característica del emisor dada por: $q=7.56h^{0.04}$ según datos proporcionados por el fabricante. Estos detalles se observan en el anexo 1.

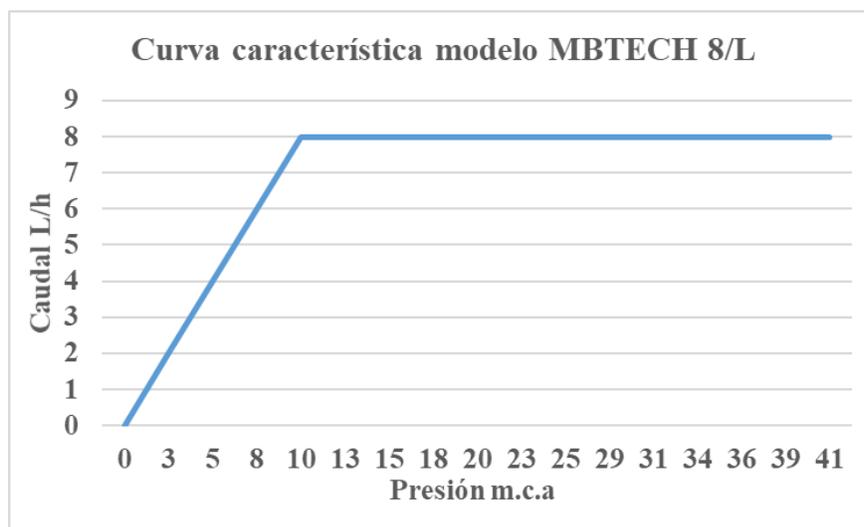


Figura 6. Curva característica del emisor

4.6. Variables evaluadas

4.6.1. Coeficiente de variación de fabricación

Se procedió con los cálculos correspondientes para encontrar el coeficiente de variación de fabricación de los emisores. Se calculó con treinta seis datos de campo.

Como primer paso, se calculó el caudal medio:

$$q_a = \frac{\sum q}{N}$$

Σq = Sumatoria total de caudales

N = Número de emisores

Segundo paso fue el cálculo de la desviación típica a través de la fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (q_1 - q_a)^2}{n}}$$

Calculada la desviación típica se calculó el Coeficiente de Variación de fabricación.

$$CV_f = \frac{\sigma}{q_a}$$

CV_f: Coeficiente de variación de fabricación

σ : Desviación típica

q_a : Caudal medio

En el cuadro 2 se indica la clasificación descrita por Pizarro (1996), para los valores del coeficiente de variación de fabricación. Donde los agrupa en dos categorías, A y B, siendo los emisores de categoría A de una elevada uniformidad, y los B de una baja uniformidad.

Cuadro 2. Clasificación de los emisores según su CV_f

Categorías	Valor de CVf
A	CV < 0,05
B	0,05 ≤ CV < 0,10.

Fuente: (Pizarro, 1996)

4.6.2. Efecto del coeficiente de variación de fabricación en la uniformidad de riego

Bralts

El efecto producido por el coeficiente de variación de fabricación en el sistema, se refleja en su distribución global en la unidad de riego.

Según Rodríguez y Puig (2011), a través del método propuesto por Bralts en 1981, se midió el efecto del coeficiente de variación de fabricación sobre la uniformidad en la unidad de riego, a través de la siguiente fórmula:

$$US = 1 - CV$$

US: Uniformidad estadístico

CV: Coeficiente de variación

Pizarro

A través de la metodología de Pizarro (1996), donde destaca el involucramiento del coeficiente de variación de fabricación CV_f en el coeficiente de uniformidad CU, se midió la uniformidad de la unidad de riego con el efecto constructivo. Haciendo uso de su fórmula propuesta:

$$CU_c = (1 - 1,27 \cdot CV_f)$$

El subíndice “c”: indica “constructivos” haciendo referencia a la afectación de estos factores en la uniformidad del riego.

CV_f : Coeficiente de variación de fabricación.

4.6.3. Coeficiente de Uniformidad de presiones

Método por caudales

Las variaciones de caudal que suceden en el sistema no se adjudican únicamente por el coeficiente de variación de fabricación de cada emisor.

Por medio de la metodología de Pizarro (1996), el cual solamente incluye los factores hidráulicos.

$$CU_h = \frac{q_{ns}}{q_a}$$

q_a : Es el caudal medio de todos los emisores.

q_{ns} : Es el caudal del emisor sometido a menor presión.

Método por presiones

De manera complementaria al cálculo de uniformidad de caudales se realizó la prueba para determinar la uniformidad de presiones, la cual determina la homogeneidad de la unidad en cuanto a las presiones de los emisores. Mediante la metodología de Merriam & Keller (1978), efectuamos un análisis sobre la presión de nuestra unidad, con una metodología

$$UD_p = \left(\frac{p_{25}}{p} \right)^X \cdot 100$$

UD_p : Es la uniformidad de distribución de presiones (%)

P₂₅: Es la presión media del 25% de las localizaciones con una menor presión (m.c.a). Es decir, la media del cuarto más bajo de los dieciséis puntos.

P: Es la presión media de todas las localizaciones muestreadas (m.c.a).

X: Es el coeficiente de descarga de la ecuación característica de la ecuación.

4.6.4. Coeficiente de Uniformidad

En el cuadro 3 se expone una recopilación de las categorías reconocidas internacionalmente desarrolladas para la clasificación de los valores de los coeficientes de uniformidad y uniformidad estadísticas.

Cuadro 3. Indicadores del desempeño de sistema de riego presurizado

Clasificación	ASAE (2003)		Merriam & Keller (1978)	IRYDA
	US	CU	CU	CU
Excelente	100-95	100-94	>90	>94
Bueno	90-85	87-81	80-90	94-86
Regular	80-75	75-68	70-80	80-86
Pobre	70-65	62-56	<70	70-80
Inaceptable	<60	<50		<70

Fuente: (PROSAP, 2016)

Coeficiente de uniformidad (Merriam & Keller)

Para el análisis de la uniformidad de distribución del riego por goteo se tomó como propuesta el procedimiento de Merriam y Keller, conocida comúnmente por la ecuación del cuarto menor.

Esta ecuación se utiliza para evaluar datos de campo, es decir, evalúa a sistemas de riegos que ya se encuentran en funcionamiento.

Esta se describe de la siguiente manera:

$$CU = \frac{q_{25}}{q_a} * 100$$

q_a : Muestra la media de todos los caudales expresados por todos los emisores.

q_{25} : Representa la media del 25 por ciento mínimos de los caudales medidos en los emisores.

Coefficiente de uniformidad (Keller & Karmeli)

Con los datos obtenidos de campo se evaluó el coeficiente de uniformidad utilizando las fórmulas de Keller & Karmeli (1974).

$$Cu = 100 * \left[1 - u + u * \frac{q_{25\%h}}{q_{medh}} \right] * \frac{q_{mind}}{q_{medd}}$$

Cuadro 4. Factor complementario dependiente del número de emisores por plantas

<i>e</i>	<i>u</i>
<1	1
2	0.71
3	0.58
4	0.50
6	0.41
8	0.35

Fuente: Keller & Karmeli (1974)

Usando la fórmula de Keller y Karmeli de 1975, citada por Bedoya, et al. (2016).

$$Cu = 100 * \left[1 - \frac{1.27 * Cvf}{\sqrt{ep}} \right] * \frac{q_{mind}}{q_{medd}}$$

Cu: Coeficiente de Uniformidad

U: es un factor de ponderación que depende de la cantidad de emisores por planta.

q_{25%h}: es el caudal medio del 25% de los emisores de menor caudal (l/h).

q_{medh}: es el caudal medio de los emisores operados a presión de referencia mca.

q_{min}: el caudal mínimo (l/h).

q_{medd}, es el caudal medio de dimensionamiento o diseño (l/h).

CVf: coeficiente de variación de fabricación.

ep: es el número de emisores por planta.

Coefficiente de uniformidad (Barragan, Bralts & Wu)

Para medir el coeficiente de uniformidad se utilizó la fórmula propuesta por Barragán, Bralts & Wu (2006). Esta fórmula es derivada originalmente de la combinación de las fórmulas anteriores propuestas, donde una toma en cuenta valores hidráulicos y la otra toma valores del coeficiente de fabricación. Proporciona un valor menor para el coeficiente de uniformidad aplicándose para el diseño.

$$Cu = 1 - \sqrt{\left(1 - \frac{q_{mind}}{q_{medd}}\right)^2 + \left(\frac{1.27 * Cvf}{\sqrt{ep}}\right)^2}$$

Cu: Coeficiente de uniformidad.

qmind: Es el caudal mínimo (valor hidráulico)

qmedd: Es el caudal medio del emisor (Valor hidráulico)

Cvf: Coeficiente de variación de fabricación del emisor, adimensional (Valor de fabricación)

Ep: Número de emisores agrupados como una unidad como varios emisores por planta

4.6.5. Regresión lineal por mínimos cuadrados para determinar la ecuación de caudal $q=kh^x$ con datos de campo

El análisis de regresión ayuda a determinar el modelo o ecuación matemática que mejor representa la relación que existe entre las variables evaluadas (Pupo et al, 2004).

Para obtener un valor más preciso del valor de los caudales se aplicó un ajuste de datos a través de una regresión lineal de mínimos cuadrados, de Y sobre X. Siendo Y para los datos de caudal y para X los datos de presión.

La recta de regresión de Y sobre X está dada por $Y = a_0 + a_1X$

$$a_0 = \frac{(\sum X)(\sum X)^2 - (\sum X)(\sum XY)}{N\sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$a_1 = \frac{N\sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{N\sum X^2 - (\sum X)^2}$$

x: Factor de x

4.6.6. Coeficiente de correlación

Para conocer la medida de dependencia entre las variables de caudal y presión se calculó el coeficiente de correlación el cual está dado por:

$$r = \frac{N\Sigma XY - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{\sqrt{[N\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2][N\Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2]}}$$

4.6.7. Coeficiente de determinación

Se calculó el coeficiente de determinación para encontrar la magnitud de la variación que se da en la correlación la cual consiste en elevar al cuadro el valor dado en r.

$$R = r^2$$

4.6.8. Significación del coeficiente de correlación

Una vez calculado el coeficiente de correlación, interesados en conocer el grado de significancia que este presenta entre la relación de las variables de caudal y presión, se realizó una prueba estadística, comparando las variables t calculada y $t_{(\alpha, N-2)}$ tabulada, según la distribución del tipo *student*.

t Calculada:

$$t = \frac{r}{\sqrt{\frac{1-r^2}{N-2}}}$$

Teniendo dos hipótesis posibles:

- $t > t_{(\alpha, N-2)}$: Se rechaza la hipótesis nula. La correlación obtenida no procede de una población cuyo valor $\rho_{xy} = 0$. Por tanto, las variables están relacionadas.
- $t > t_{(\alpha, N-2)}$: Se acepta la Hipótesis nula. La correlación obtenida procede de una población cuyo valor $\rho_{xy} = 0$. Por tanto, ambas variables no están relacionadas.

4.6.9. Ecuación del emisor

Conocida también como “ecuación del gotero”. Con la importancia de obtener las descargas de flujo deseado, las características del flujo de la mayoría de los goteros se pueden expresar de la siguiente manera Keller y Karmeli (1974):

$$q = Kd \cdot h^x$$

q = Caudal del gotero en litros/hora.

Kd = Coeficiente de descarga que caracteriza a cada gotero.

h = Presión de operación a la entrada del emisor.

x = Exponente de descarga del gotero, depende del flujo de cada emisor. Expresa la sensibilidad de los goteros a las variaciones de presión.

Exponente de descarga

Se calculó mediante la siguiente fórmula Monge (2016):

$$x = \frac{\ln\left(\frac{q_1}{q_2}\right)}{\ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)}$$

Dónde:

q_1 : Es el caudal mínimo medido de los dieciséis caudales.

q_2 : es el valor máximo,

h_1 y h_2 : es el valor mínimo y máximo de presiones respectivamente.

Coeficiente de descarga

El coeficiente de descarga describe el comportamiento hidráulico que tiene el emisor y la descarga que realiza bajo diferentes condiciones de presión.

$$Kd = \frac{q_1}{h_1^x}$$

Se tomaron valores extremos de los datos tomados

q_1 : Es el caudal mínimo

h_1 : Es el valor mínimo de presión.

x : Exponente de descarga

4.7. Diagnóstico de una baja uniformidad

Una ineficaz uniformidad de un sistema de riego puede ser provocada por diversas causas. Para poder diferenciar estas causas en el proceso evaluativo, se usó la metodología de Bralts & Kesner 1983, citado por Pizarro (1996). Se trabajó este procedimiento con los dieciséis datos de presión y caudal obtenidos de campo.

Lo cual consiste en un método para diferenciar los siguientes coeficientes:

CV_t: Coeficiente de variación total de caudales.

CV_e: Coeficiente de variación de caudales debido a la baja uniformidad de los emisores.

CV_h: Coeficiente de variación de caudales debido a causas hidráulicas.

Para el cálculo de CV_t se calcula mediante:

$$CV_t = \frac{\sigma_q}{q_a}$$

σ_q: refleja a la desviación típica de los dieciséis caudales

q_a: es el caudal medio de los dieciséis puntos.

Cuadro 5. Clasificación para los valores de CV_t

<i>CV_t</i>	<i>Uniformidad</i>
> 0,4	Inacepatble
0,4 - 0,3	Baja
0,3 - 0,2	Acepatable
0,2 - 0,1	Muy buena
0,1 - 0	Excelente

Fuente: (Pizarro, 1996)

Para el cálculo de CV_h se calcula mediante:

$$CV_h = \frac{\sigma_p}{P_a}$$

σ_q: representa la desviación típica de las dieciséis presiones

P_a: la presión media en los dieciséis puntos.

Para el cálculo de CV_e se calcula mediante:

$$CV_e = \sqrt{CV_t^2 - x^2 CV_h^2}$$

CV_e : Coeficiente de variación de caudales debido a la baja uniformidad de los emisores.

CV_t : Coeficiente de variación total de caudales.

CV_h : Coeficiente de variación de caudales debido a causas hidráulicas.

Siendo x el exponente de descarga del emisor, el cual en caso de no ser conocido puede ser sustituido por 0,5, sin embargo, con considerable inexactitud.

Es considerado que CV_e debe rondar en valor menor a 0,2. Si no es así, los emisores son inconvenientes (Alto CV) o están obturados. En caso de que CV_t sea inadecuado y $CV_e < 0,2$ se debe de comprobar cuál de las causas hidráulicas está perjudicando en la baja uniformidad del sistema.

4.8. Análisis de datos

Para el análisis de los datos obtenidos de campo se utilizaron hojas de cálculo de Excel del programa Microsoft 2010. Se usó para ajustar los datos de variables dependiente (caudal) el modelo de regresión lineal por mínimos cuadrados. Con los datos ajustados se calcularon los parámetros hidráulicos de la ecuación del emisor, exponente de descarga y coeficiente de descarga. Para la fórmula propuesta de Merriam y Keller de uniformidad de presiones, se utilizó el exponente de descarga calculado con datos ajustados. Se calcularon por diferentes fórmulas la uniformidad de la unidad y después se encontraron las causas que afectan sobre la uniformidad.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Curvas a nivel

En la figura 7 se puede observar que el comportamiento de las presiones siguió la tendencia de la diagonal de presión. Los puntos más cercanos al cabezal de campo, donde entra el agua presentan las presiones más altas y los puntos más lejanos presentan las presiones más bajas por lo que no hubo interferencia de factores topográficos en todos los valores medidos.

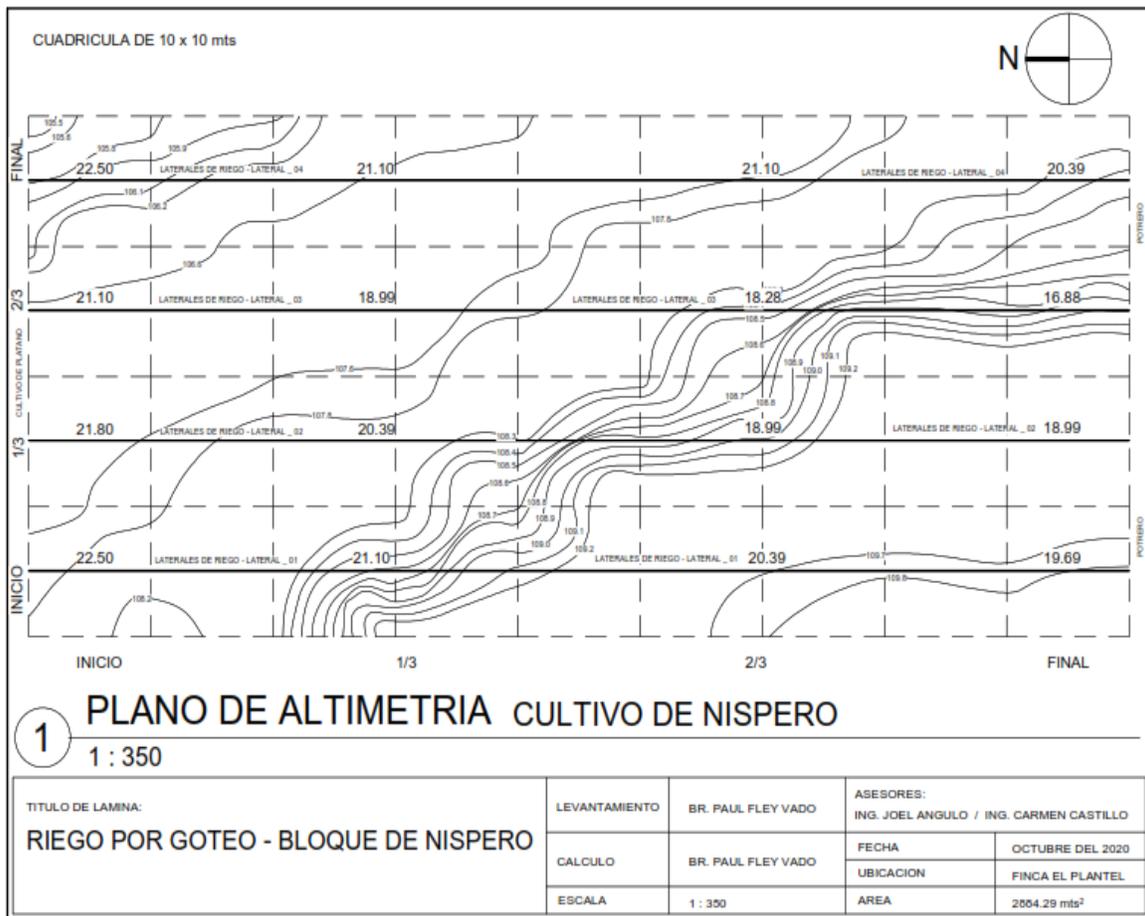


Figura 7. Curvas a nivel de la unidad de riego en el bloque de níspero.

No hubo efecto de las condiciones topográficas sobre los datos obtenidos de caudales, lo que demuestra la naturaleza que son autocompensante. Las diferencias observadas de los caudales dada que las presiones pasan los 15 PSI, a partir de la cual la relación caudal-presión no sigue

una relación lineal muy fuerte, con $r = .40$, por lo que la diferencia entre los caudales se debe a obturaciones debido que los laterales estaban enterrados.

5.2. Regresión lineal

Los resultados obtenidos para los cuatro laterales del coeficiente de correlación lineal fueron: $x_1 = 0.70$; $x_2 = 0.70$; $x_3 = 0.68$ y $x_4 = 0.71$.

Se seleccionó el valor de 0.70 para el cálculo de los procedimientos siendo el más representativo en la unidad y dado que los otros valores son próximos a este. Siendo un valor inestable o crítico, según Merriam y Keller (1974). Existe una diferencia con respecto al exponente de descarga obtenido de catálogo siendo este de 0.04, en comparación con el valor calculado, influenciado por los valores extraídos de campo en cambio el exponente teórico es calculado en bancos de prueba.

5.3. Coeficiente de correlación

El valor obtenido del cálculo para el coeficiente de correlación fue de 0.4, lo cual se considera como moderado. Esto demuestra un bajo grado de asociación que existe entre la variable dependiente (caudal) y la variable independiente (presión). Expresando que, aunque exista el incremento presiones no aumentan proporcionalmente los caudales.

5.4. Coeficiente de determinación

Se ha comprobado a través del coeficiente de determinación con un valor calculado de 0.2 que la proporción de variación de la variable dependiente (caudal) explicada por la variable independiente (presión) es mínima. Resultando que 3 valores son afectados por la presión, el valor de los 13 caudales es influenciado por el coeficiente de variación de fabricación.

5.5. Prueba de significancia

Se encontró un valor para t calculada de 1.63. Se buscó en la tabla de t de student para $\alpha = 0.05$ y $16-2 = 14$ grados de libertad.

El valor marcado: $t_{(0.05, 14)} = 1.7613$

Comparamos el valor t calculado con el t tabulado: $1.63 < 1.7613$

Aceptamos la hipótesis nula con un riesgo (máximo) a equivocarnos de 0.05. La correlación obtenida procede de una población caracterizada por una correlación de cero. Por lo tanto, ambas variables no están relacionadas. Este resultado de la prueba de significancia, es congruente con el valor de $r = 0.4$, correlación moderada, y el coeficiente de determinación, $R = 0.2$, evidenciando baja influencia entre la presión y el caudal cuando estos superan los valores nominales máximos 8L/h y 15 PSI.

5.6. Coeficiente de descarga

El valor de k_d fue de 1.34. Este dato proviene de los emisores evaluados en campo, es decir no es tomado de los datos proporcionados por el fabricante.

Según Arias (2015) Realizó un estudio con emisores de 1.5 L/h y 4 L/h. Donde obtuvo valores para $k_d = 0.5$ y $k_d = 4$ respectivamente, con presiones entre 7.14 y 16.32 mca. Al comparar con nuestro coeficiente de descarga se notó un menor valor para nuestro k_d , esto es por la variación misma del exponente de descarga. En el estudio de Arias (2015) el valor del exponente de descarga era igual a 0.4 el máximo.

5.7. Ecuación del emisor

El valor encontrado del coeficiente del emisor es de: $q = 1.34 h^{0.70}$. Se obtuvo una ecuación del emisor la cual quedando en función de “h” al sustituir por cualquier presión de las tomadas en campo, expresó valores similares a los caudales de la unidad de riego, se encontró que un valor alto en el exponente de descarga.

La ecuación del emisor teórica se expresa en $q = 7.56 h^{0.04}$, denota en comparación con la calculada con valores de campo diferencias, esencialmente para el valor de K_d quien se ve afectado directamente por el exponente de descarga, siendo de 0.7.

5.8. Datos ajustados por regresión lineal

Los valores presentan una línea ascendente, desde un valor mínimo de 9.73 L/h hasta un máximo de 11.87L/h. Los datos demuestran una mejor relación entre las variables de caudales y presiones. Estos resultados son seguidos de una progresiva disminución en la diferencia entre

los valores reales máximos de caudal con el valor ajustado, y un aumento progresivo para los valores mínimos de campo con el valor ajustado.

Ver anexo 8.

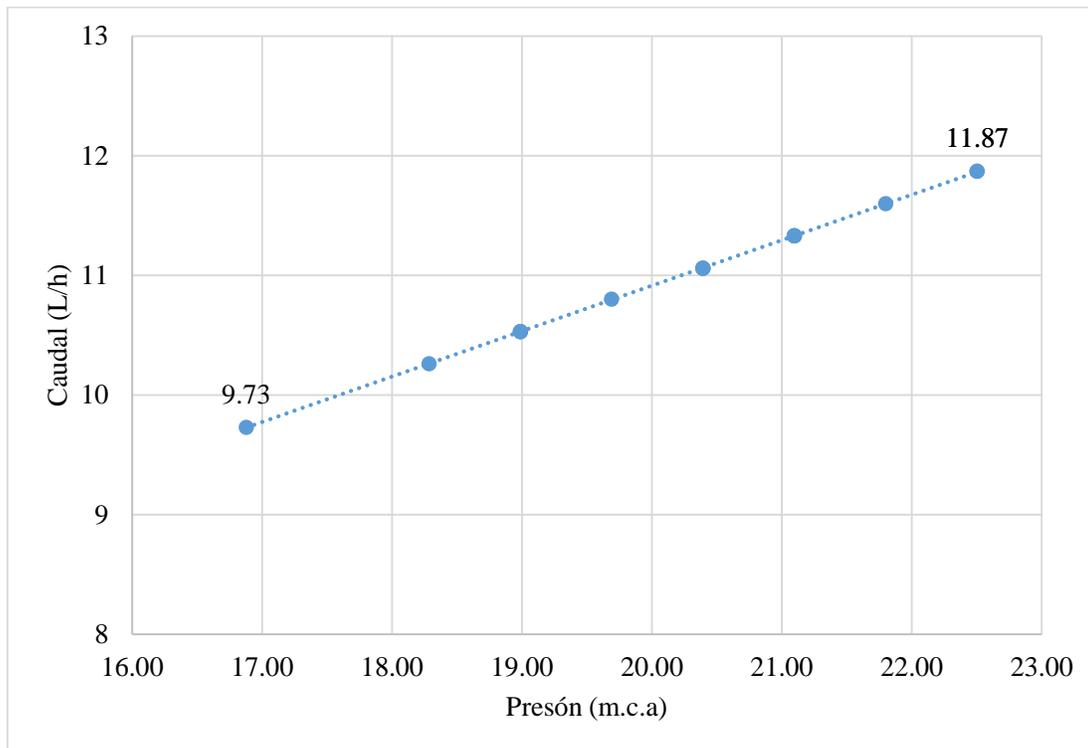


Figura 8. Datos ajustados por regresión lineal

5.9. Coeficiente de variación de fabricación

Indica una valoración de la variación existente entre dos emisores del mismo tipo, debido al proceso de fabricación. La tabla del coeficiente de variación de fabricación puede ser observada en el anexo 1.

Cuadro 6. Valores de caudal de diferentes puntos de la unidad de riego para el cálculo de la desviación típica

Gotero n°	q (l/h)	Gotero n°	q (l/h)
1	11.14	19	11
2	9.8	20	16
3	10.6	21	14.4
4	11.4	22	8.2
5	11.2	23	8.2
6	10.6	24	8.6
7	11.2	25	10.6
8	11.4	26	10.8
9	11.4	27	11.2
10	11.6	28	10.4
11	11.62	29	10.6
12	10.4	30	5.6
13	14.6	31	11
14	14.6	32	8.8
15	11.8	33	8.4
16	10.4	34	10.6
17	10.4	35	10.4
18	11.6	36	10.8

Fuente: Propia (2020)

Se encontró que: $CV_f = 0,175$ (Categoría B). Según Pizarro para valores como este entra a la categoría B. Lo que nos indica que son emisores que desempeñan una baja uniformidad, en el momento que se realizó la investigación.

Los emisores han sido utilizados por un lapso de cinco años, desde el periodo de instalación, resultando que la membrana de silicona que presentan los goteros autocompensantes, ha sido deteriorada influyendo en el valor del coeficiente de variación de fabricación.

5.10. Efecto del Coeficiente de variación de fabricación en la uniformidad

5.10.1. Uniformidad Estadística

La uniformidad estadística para describir la distribución global en la unidad de riego, involucrando el coeficiente de variación de fabricación, según Bralts citado por Rodriguez et al (2011), encontró el siguiente resultado: $US = 82.5\%$

Este valor se caracteriza como “bueno” según la tabla de PROSAP donde aparecen los valores por ASAE 2003 para US (uniformidad estadística). De acuerdo a Hart & Reynolds, 1965; Nakayama et al., 1979, según Barragán et al (2006) cuando el coeficiente de variación es menos del 30% o el coeficiente de uniformidad está sobre el 70%, el patrón de flujo del emisor puede ser considerado como una distribución normal.

5.10.2. Coeficiente de uniformidad bajo efecto del coeficiente de variación de fabricación

Las relaciones entre en el coeficiente de variación de fabricación y el coeficiente de uniformidad, expresaron una fórmula para medir el coeficiente de uniformidad constructivo, indicando como estos factores afectan en la uniformidad de riego. El cálculo efectuado encontró el siguiente resultado: $CU_c = 77\%$.

Por lo que se determina que: a mayor sea el valor de CV_f menor es la uniformidad en la unidad de riego.

5.11. Uniformidad de Presiones

5.11.1. Coeficiente de uniformidad de presiones

El promedio que se encontró por medio de la metodología según (Pizarro, 1996) resultó de acuerdo a los rangos de evaluación considerado como Excelente, $CU_h = 95\%$. Por consiguiente, se acepta que el desempeño de la presión en la unidad de riego es capaz de dar una buena distribución de agua en la unidad de riego.

5.11.2. Uniformidad de distribución de presiones

El resultado que se obtuvo del procedimiento propuesto por Merriam y Keller de la unidad de riego dan un promedio que de acuerdo a los rangos de evaluación es interpretado como Excelente, $UD_p = 93.05\%$. La Universidad Nacional de Ingeniería, según Cháves y Mora (2013) propone también la utilización de esta metodología para la medición del coeficiente de uniformidad de presiones en sus investigaciones.

Para los valores del coeficiente de uniformidad de presión con el uso de la fórmula del cuarto menor de Merriam y Keller se obtuvo un nivel “excelente” con un 93% de uniformidad; en cambio, haciendo uso de una nueva metodología propuesta por Pizarro, en donde se toman los valores de las presiones mediante de los caudales, se obtuvo un valor del 95% de uniformidad de presión en el sistema. Lo cual expone un valor mucho más alto y dentro de un nivel “excelente”. Demostrando de esta manera que no existen complicaciones con la que la presión es ejecutada.

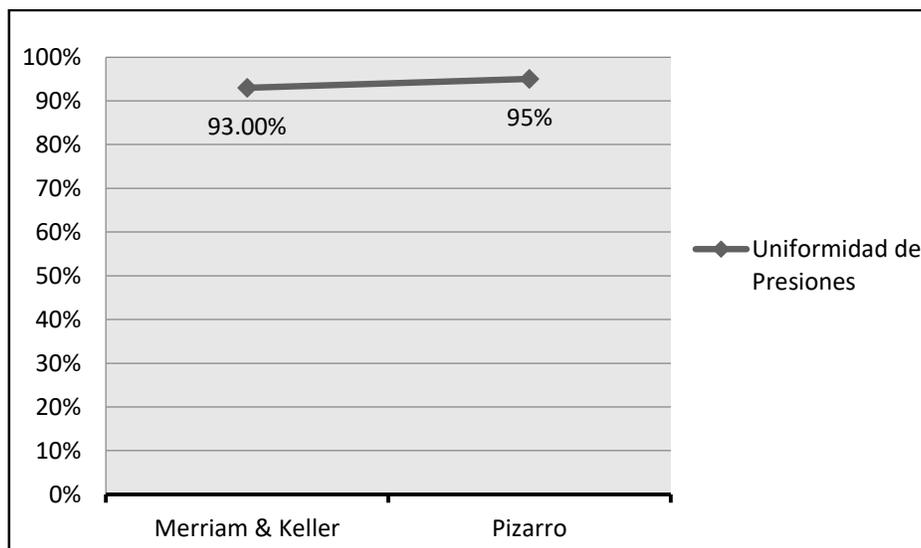


Figura 9. Uniformidad de presiones

Es recomendable tomar los valores propuestos de la ecuación de Merriam & Keller, esto debido a que el criterio de Pizarro es propuesto a partir de valores de caudales en cambio la ecuación del cuarto menor toma en cuenta valores directamente de presiones.

5.12. Coeficientes de uniformidad

5.12.1. Merriam & Keller

La metodología utilizada para la evaluación del coeficiente de uniformidad reconocida comúnmente por ser la ecuación del “cuarto menor” donde se toman en cuenta los cuatro datos con el caudal más bajo de la unidad de riego, propuesta por Merriam y Keller, describe que sobreestima el coeficiente de uniformidad, dado que solamente toma valores de caudal y no los efectos que ocasionan la variación de fabricación de los emisores, la obturación de emisores, el diferente drenaje de los emisores y cantidad de los emisores. El comportamiento para esta evaluación: $CU = 93.05\%$

Expresa un valor alto, aunque no toma en cuenta los factores hidráulicos, lo que resulta (según Merriam y Keller; y ASAE 2003) como “bueno”. En la provincia de Mendoza, según Fontela et al. (2002) se aplicó la misma metodología, aplicando el procedimiento en 64 sub unidades de riego donde del análisis de los resultados se concluyó que el 44% de las subunidades estudiadas presentaban un CU ubicadas por debajo del rango recomendado.

5.12.2. Keller & Karmeli

De la ecuación uno:
$$Cu = 100 * \left[1 - u + u * \frac{q_{25\%h}}{q_{medh}} \right] * \frac{q_{mind}}{q_{medd}}$$

Se pudo observar el gran avance en la importancia de realizar una evaluación relacionando la implicancia de los valores hidráulicos. Destaca la inclusión del valor de ponderación por la cantidad de emisores en los puntos de riego, el valor que se obtuvo es $CU = 68.30\%$. Según Bedoya y Cardoso (2016) se desarrollaron dos evaluaciones sobre una unidad de riego, a través de esta misma metodología, arrojando resultados clasificados como Regular, según los indicadores del desempeño de Merriam y Keller.

De la ecuación dos:
$$Cu = 100 * \left[1 - \frac{1.27 * Cv_f}{\sqrt{ep}} \right] * \frac{q_{mind}}{q_{medd}}$$

Como es posible observar, se pudo deducir un resultado de coeficiente de uniformidad en la escala de valoración de Merriam y Keller; y ASAE 2003 como un valor “Pobre”, $CU = 65.66\%$.

Se pudo reconocer la alta implicancia que afecta a la distribución del agua en la unidad por parte de los valores constructivos e hidráulicos. Según Bedoya y Cardoso (2016) efectuaron dos evaluaciones a través de la misma metodología en una unidad de riego, obteniendo valores categóricos de Regular para la primera evaluación y Bueno para la segunda, según el cuadro 3, indicativa de Merriam y Keller.

5.12.3. Barragán

En tanto, Barragán, apropiando las ideas de Keller y Karmeli, describe que el coeficiente de uniformidad es afectado por ambas variaciones hidráulicas y la variación de manufactura basada en un estimado estadístico, adimensional. Se encontró un valor de: $CU = 72\%$

Demostrando un valor considerablemente más alto a las estimaciones obtenidas de las metodologías previas, el cual representó un valor del 72%, dentro de un desempeño caracterizado como “regular” este ligero aumento a diferencia de los otros se puede aducir a una mejor unificación de los valores evaluados por sus características.

Según, Bedoya y Cardoso (2016) desarrollando la misma metodología, obtienen resultados categorizados como Regular y Bueno para la primera y segunda evaluación respectivamente. Donde se destacó el efecto de los valores separados en la ecuación entre los hidráulicos y constructivos.

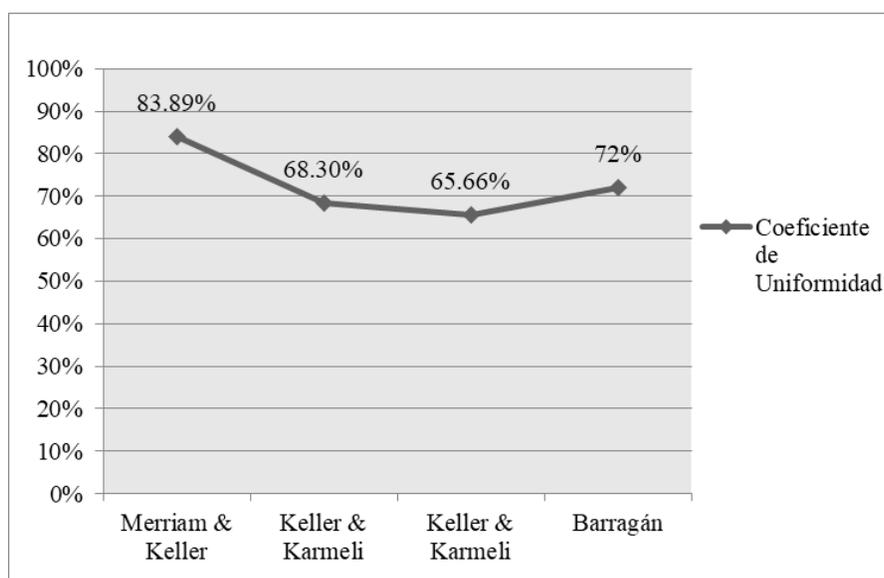


Figura 10. Coeficiente de uniformidad de emisión de agua

Existe casi un veinte por ciento de diferencia entre el resultado mayor y el mínimo. A pesar de los cambios hechos por Barragán, genera más confianza las metodologías propuestas por Keller & Karmeli, esto debido a que existe una mejor separación entre las causas hidráulicas y constructivas al realizar la evaluación.

5.13. Diagnóstico de una baja uniformidad

Para obtener un diagnóstico valorativo de las diferencias entre los efectos constructivos de los hidráulicos en la uniformidad de la emisión de agua la unidad de riego, se aplicó la evaluación de los tres coeficientes de la metodología propuesta por Bralts y Kesner en 1983, según (Pizarro, 1996).

Cuadro 9. Datos de caudal y presión

Caudal (l/h)	Presión (m.c.a)	Caudal (l/h)	Presión (m.c.a)
10.51	22.50	10.86	21.10
10.66	21.10	8.86	18.99
11.33	20.39	9.4	18.28
11.2	19.69	10.6	16.88
13.66	21.80	12.73	22.50
10.8	20.39	10.66	21.10
13.8	18.99	11.5	21.10
8.33	18.99	12	20.39

Fuente: Propia (2020)

Se inició evaluando el coeficiente de variación total de caudales (CV_t).

En la columna de caudales se calculó σ_q y se calculó q_a .

$$CV_t = \frac{\sigma_q}{q_a} = \frac{1.4623}{11.05625} = 0.13$$

En la columna de presiones se calculó σ_p y P_a

$$CV_h = \frac{\sigma_p}{p_a} = \frac{1.4963}{20.2619} = 0.073$$

El exponente de descarga de los goteros es de 0.70

$$CV_e = \sqrt{CV_t^2 - x^2 CV_h^2} = \sqrt{(0.13)^2 - (0.70)^2(0.07)^2} = 0.11$$

Se comprueba de esta manera que el CV_t presenta un valor calificativo de muy bueno, según la escala de valoración (ver cuadro 5) y CV_h estando por debajo de 0.2 se considera aceptable. Se adjudica la baja uniformidad al bajo coeficiente de variación de fabricación de los emisores.

Las causas de los valores de los caudales por encima del valor nominal que es 8L/h son afectados en un 20% por el valor de la presión mayor al valor de la presión nominal que es 15 psi, el porcentaje restante que afecta la variación es influenciado debido al efecto del bajo nivel del coeficiente de variación de fabricación.

VI. CONCLUSIONES

La diferencia existente entre la uniformidad de las presiones no supera el veinte por ciento, lo cual se acepta según los estándares internacionales. La mayor uniformidad de presiones es de 95.83% según Pizarro y 93% según Merriam y Keller, esto manifiesta una aceptable presión para el funcionamiento de la unidad de riego. Las cuatro metodologías implementadas para estudiar el coeficiente de uniformidad CU de la unidad de riego varían entre sí con casi un veinte por ciento, con la mayor uniformidad siendo un 83.89% según Merriam & Keller y la menor un 65.66% según Keller & Karmeli. Existiendo una distribución de agua poco aceptable. Afectando el alto valor del coeficiente de variación de fabricación, siendo de 0.17 a pesar de ser autocompensantes los emisores.

Las causas para el valor nominal 8L/h del caudal que se encuentran mayor a este, son en un 20% según el coeficiente de determinación calculado relacionado la presión superior al valor de la presión nominal 15 PSI. Las otras causas se atribuyen al valor del coeficiente de variación de fabricación de los emisores.

VII. RECOMENDACIONES

Se orienta el cambio de los laterales de riego y sus goteros. Al mismo tiempo realizar estos cambios cuando estos se encuentren defectuosos para evitar la acumulación de elementos averiados que impidan una uniformidad adecuada de la distribución del agua.

Instalar un manómetro y caudalímetro en el cabezal de campo de la unidad de riego. También se debe de calibrar la válvula de regulación de presión y caudal antes de cada jornada. Se insta la utilización de emisores de un mismo tipo.

Desarrollar regularmente inspecciones sobre el estado físico y mecánico de los elementos que conforman la unidad de riego previniendo así altos costos de mantenimiento. Evitar el paso de maquinaria agrícola, como tractores, que provoquen que las mangueras sean enterradas.

Se recomienda realizar este tipo de estudios para determinar las causas que estén provocando posibles fallas en la distribución del agua en las diferentes unidades de riego.

VIII. LITERATURA CITADA

- Arias, J. (2015) Determinación del coeficiente Ke para emisores de riego. (Tesis de Grado). Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Colombia.
- Barragán, J.; Bralts, V.; & Wu, I.P. (2006). Assessment of Emission Uniformity for Micro-Irrigation Design. *Biosystems Engineering*. 93 (1), 89-97.
doi:10.1016/j.biosystemseng.2005.09.010
- Bedoya Cardoso, M., y Ángeles Montiel, V. (2016). Estrategias para estimar el coeficiente de uniformidad en laterales de riego. *Ingeniería Y Región*, 16(2), 65-71.
<https://doi.org/10.25054/22161325.1300>
- Díaz, V. & Herrera, M. (2019) Análisis de uniformidad de intensidad de aplicación del agua, del sistema de riego por aspersión, en la finca Experimental el Plantel, de la Universidad Nacional Agraria (UNA), Managua, 2016 -2017. (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.
- Chávez, N, & Mora, J. (2013). Evaluación del sistema de riego por goteo en el cultivo de Naranja Dulce (*Citrus sinensis* L.), Limón (*Citrus limonum* L.), Naranja Agria (*Citrus aurantium* L.), y Aguacate (*Persea americana* Miller), en la Finca Bello Amanecer, ubicada en la comunidad Las Mercedes, Municipio de Cárdenas, Departamento de Rivas (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Managua Nicaragua.
- Cruz, K. & Alvarado, B. (2016). Diseño e instalación de sistemas de riego localizado y aspersión en 15 hectáreas en la finca de la UNA El Plantel, Masaya, 2016 (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.
- Fontela, C., J. Morábito, J. Maffei, S. Salatino, C. Mirábile y L. Mastrantonio. (2002) Desempeño del riego por goteo en Mendoza. Análisis de los coeficientes de uniformidad y de la salinidad del suelo. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. Recuperado de: <https://www.ina.gov.ar/pdf/CRA-IIIFERTI/CRA-RYD-7-Fontela.pdf>

- Fuentes, J.L. (2003) *Técnicas de riego*. / 4ta ed. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- García Casillas, I., & Briones Sánchez, G. (2015) *Sistemas de Riego por Aspersión y Goteo* / 3 ed. México, México: Trillas.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). (2013). *Manual de riego por goteo*. Recuperado de: https://inta.gov.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf
- Junta de Andalucía. (2014). *Procedimiento para la realización de evaluaciones de riego localizado*. Recuperado de: http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/regantes/mejoragestion_principal/archivos_principal/Descargas/protocololocalizado.pdf
- Keller, J., y Karmeli, D. (1974) Trickle Irrigation Design Parameters. *Trasactions of the ASAE*, 17 (4), 678-684
- Mendoza, A. E. (2013). *Riego por Goteo*. San Salvador, El Salvador.
- Merriam, J.L. & Keller, J. (1978). *Farm Irrigation Systema Evaluation: A Guide for Management*. / 4ta ed. Logan, Utah: Stah State University.
- Monge, M. A. (2016). *Exponente de descarga de un gotero: cómo calcular su valor: iagua*. Recuperado de: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/exponente-descarga-gotero-como-calcular-valor>
- Palomino Velasquez, K. (2009) *Riego por goteo*. Madrid, España: Starbook.
- Pizarro, F. (1996). *Riego Localizados de Alta Frecuencia*. Bilbao, España: Grafo, S.A.
- PROSAP (2016) Protocolo para evaluación de equipos de riego por goteo. Recuperado de: <http://www.prosap.gov.ar/Docs/Protocolo%20General%20para%20Evaluacion%20de%20Riego%20por%20Goteo.pdf>
- Pupo, J.; Gonzalesz, E.; Neninger, D. y Gómez R. (2004). La Habana, Cuba: Felix Varela.
- Rain Bird Corporation (2010) *Ficha Técnica. Uniformidad de la distribución en riego por aspersión*. Recuperado de:

https://www.rainbird.com/sites/default/files/media/documents/2018-01/L387_DistributionUniformity_es.pdf

Rodriguez, M.R. Puig, O. (2011, 10 de Septiembre) Comportamiento hidráulico de los sistemas de riego por goteo superficial y sub superficial. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93222252007>

IX. ANEXOS

1. Catálogo del fabricante del gotero MBTECH 8/L

MBTECH

Datos técnicos

Categoría	MBTECH				
	PC				
Modelo	1	2	3	4	12L
Caudal nominal (l/h)	2.3	3.2	4.1	5.6	12.0
Intervalo de Presión (subcompensación) (bar)	1-3.5	1.2-3.5		1.2-4	
Caudal de arranque (l/h)	1.5-2.0 (dependiendo de la presión)				

Modelos	Ecuación característica MBTECH	
	q	K
MBTECH PC2L	$q = 2.33 \cdot \sqrt{P}$	
MBTECH PC3L	$q = 2.99 \cdot \sqrt{P}$	
MBTECH PC4L	$q = 3.99 \cdot \sqrt{P}$	
MBTECH PC8L	$q = 7.33 \cdot \sqrt{P}$	
MBTECH PC12L	$q = 11.05 \cdot \sqrt{P}$	

CURVA CARACTERÍSTICA MODELOS MBTECH PC

MBTECH MODELO	Presión Operativa (bar)	Presión Máx. (bar)	Caudal de arranque (l/h) (T=30°C - Presión Operativa)											
			Diámetro 10 mm					Diámetro 20 mm						
			0.30	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	0.30	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
MBTECH PC 2L	1.5	1.0	69	102	136	170	201	225	102	152	210	256	305	342
	2.0	1.0	88	130	176	217	322	258	145	213	384	345	402	454
	2.5	1.0	101	150	203	250	293	332	148	222	305	377	442	505
	3.0	1.0	110	166	224	276	295	397	187	271	362	441	512	589
	3.5	1.0	120	179	242	299	350	395	175	258	365	452	530	600
MBTECH PC 3L	1.5	1.0	54	80	115	135	160	189	90	132	176	215	250	285
	2.0	1.0	69	102	140	175	205	230	116	170	225	280	315	360
	2.5	1.0	80	119	160	196	236	262	133	195	260	315	365	420
	3.0	1.0	88	130	180	220	255	294	148	215	277	350	410	460
	3.5	1.0	95	142	192	237	275	313	160	233	310	378	440	500
MBTECH PC 4L	1.5	1.2	40	60	81	100	115	140	65	95	125	153	178	201
	2.0	1.2	55	84	113	140	155	185	94	135	177	219	259	288
	2.5	1.2	65	99	135	165	190	225	107	158	210	256	293	339
	3.0	1.2	74	100	151	185	215	250	122	180	236	289	335	385
	3.5	1.2	81	121	164	202	235	265	135	193	257	312	364	412
MBTECH PC 8L	1.5	1.2	24	38	50	61	72	83	41	65	89	96	113	126
	2.0	1.2	36	53	70	88	102	116	59	85	113	138	160	180
	2.5	1.2	41	61	83	102	119	137	70	100	133	164	189	214
	3.0	1.2	45	69	93	114	134	152	77	114	149	185	212	243
	3.5	1.2	50	74	102	124	146	166	83	122	165	198	232	265
MBTECH PC 12L	1.5	1.2	20	30	41	50	61	69	29	44	60	73	85	100
	2.0	1.2	30	43	59	73	84	100	41	60	83	103	123	140
	2.5	1.2	34	51	69	85	101	115	47	73	100	124	148	164
	3.0	1.2	38	57	77	97	114	130	54	80	112	138	165	185
	3.5	1.2	42	62	85	104	123	140	58	85	121	150	177	202

$h = \frac{P}{\rho g}$

$h = \frac{1.5 \text{ bar}}{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2} = 0.0153 \text{ m}$

$h = \frac{2.0 \text{ bar}}{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2} = 0.0204 \text{ m}$

$h = \frac{2.5 \text{ bar}}{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2} = 0.0255 \text{ m}$

$h = \frac{3.0 \text{ bar}}{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2} = 0.0306 \text{ m}$

$1.5 \text{ bar} = 0.0153 \text{ m}$

08300000-08

2. Datos hidráulicos de campo

TOMA DE DATOS COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD				
Puntos	Inicio	1/3	2/3	final
Laterales		Inicio		
V1	557 ml	570 ml	560 ml	580 ml
V2	490 ml	560 ml	570 ml	581 ml
V3	530 ml	530 ml	570 ml	520 ml
Tiempo	3 min	3 min	3 min	3 min
V media	525.67	553.33	566.67	560.33
L/hr	10.51	10.66	11.33	11.2
Presión	32 PSI	30 PSI	29 PSI	28PSI
Puntos	Inicio	1/3	2/3	final
Laterales		1/3		
V1	730 ml	520 ml	550 ml	410 ml
V2	730 ml	520 ml	800 ml	410 ml
V3	590 ml	580 ml	720 ml	430 ml
Tiempo	3 min	3 min	3 min	3 min
Vmedia	683.33	540	690	416.67
L/hr	13.66	10.8	13.8	8.33
Presión	31 PSI	29 PSI	27 PSI	27 PSI
Puntos	Inicio	1/3	2/3	final
Laterales		2/3		
V1	530 ml	520 ml	550 ml	530 ml
V2	540 ml	530 ml	440 ml	520 ml
V3	560 ml	280 ml	420 ml	540 ml
Tiempo	3 min	3 min	3 min	3 min
Vmedia	543.33	443.33	470	530
L/hr	10.86	8.86	9.4	10.6
Presión	30 PSI	27 PSI	26 PSI	24 PSI
Puntos	Inicio	1/3	2/3	final
Laterales		Final		
V1	660 ml	500 ml	580 ml	620 ml
V2	620 ml	540 ml	565 ml	670 ml
V3	630 ml	560 ml	580 ml	510 ml
Tiempo	3 min	3 min	3 min	3 min
Vmedia	636.67	533.33	575	600
L/hr	12.73	10.66	11.5	12
Presión	32 PSI	30 PSI	30 PSI	29 PSI

3. Coeficiente de Variación de Fabricación

Nº	Volumen	Caudal lts/hr	Media lts/hr	(qi-qa)	(qi-qa) ²	Desviación Típica σ	Coeficiente de variación
1	557 ml	11.14	10.871111	0.268888889	0.0723012	1.904424348	0.175182125
2	490 ml	9.8		-1.071111111	1.147279		
3	530 ml	10.6		-0.271111111	0.0735012		
4	570 ml	11.4		0.528888889	0.2797235		
5	560 ml	11.2		0.328888889	0.1081679		
6	530 ml	10.6		-0.271111111	0.0735012		
7	560 ml	11.2		0.328888889	0.1081679		
8	570 ml	11.4		0.528888889	0.2797235		
9	570 ml	11.4		0.528888889	0.2797235		
10	580 ml	11.6		0.728888889	0.531279		
11	581 ml	11.62		0.748888889	0.5608346		
12	520 ml	10.4		-0.471111111	0.2219457		
13	730 ml	14.6		3.728888889	13.904612		
14	730 ml	14.6		3.728888889	13.904612		
15	590 ml	11.8		0.928888889	0.8628346		
16	520 ml	10.4		-0.471111111	0.2219457		
17	520 ml	10.4		-0.471111111	0.2219457		
18	580 ml	11.6		0.728888889	0.531279		
19	550 ml	11		0.128888889	0.0166123		
20	800 ml	16		5.128888889	26.305501		
21	720 ml	14.4		3.528888889	12.453057		
22	410 ml	8.2		-2.671111111	7.1348346		
23	410 ml	8.2		-2.671111111	7.1348346		
24	430 ml	8.6		-2.271111111	5.1579457		
25	530 ml	10.6		-0.271111111	0.0735012		
26	540 ml	10.8		-0.071111111	0.0050568		
27	560 ml	11.2		0.328888889	0.1081679		
28	520 ml	10.4		-0.471111111	0.2219457		
29	530 ml	10.6		-0.271111111	0.0735012		
30	280 ml	5.6		-5.271111111	27.784612		
31	550 ml	11		0.128888889	0.0166123		
32	440 ml	8.8		-2.071111111	4.2895012		
33	420 ml	8.4		-2.471111111	6.1063901		
34	530 ml	10.6		-0.271111111	0.0735012		
35	520 ml	10.4		-0.471111111	0.2219457		
36	540 ml	10.8		-0.071111111	0.0050568		
		391.36		-4.52971E-14	130.56596		

4. Presión de los dieciséis puntos

N°	Orden m.c.a	Pa m.c.a	(Pi-Pa)	(Pi-Pa) ²	Desviación Típica σ	N°	Orden m.c.a	Pa m.c.a	P25
1	22.503516	20.261955	2.241561181	5.0245965	1.4963119	1.957097493	0.01493769	-1.927222	18.2841069
2	22.503516		2.241561181	5.0245965		3.678589892	2.2573137	0.8360375	
3	21.800281		1.538326301	2.3664478		0.717546038	-1.4353599	-3.588266	
4	21.097046		0.835091421	0.6973777		-1.402781011	-4.08950097	-6.776221	
5	21.097046		0.835091421	0.6973777		-1.752781011	-4.63950097	-7.526221	
6	21.097046		0.835091421	0.6973777		-2.102781011	-5.18950097	-8.276221	
7	21.097046		0.835091421	0.6973777			21.0970464		
8	20.393812		0.13185654	0.0173861			20.3938115		
9	20.393812		0.13185654	0.0173861			20.3938115		
10	20.393812		0.13185654	0.0173861			20.3938115		
11	19.690577		-0.57137834	0.3264732			19.6905767		
12	18.987342		-1.27461322	1.6246389			18.9873418		
13	18.987342		-1.27461322	1.6246389			18.9873418		
14	18.987342		-1.27461322	1.6246389			18.9873418		
15	18.284107		-1.9778481	3.9118831			18.2841069		
16	16.877637		-3.38431786	11.453607			16.8776371		
	324.19128		-7.1054E-15	35.82319			324.19128		

5. Caudales de los dieciséis puntos

N° Emisor	Caudal	Lt/hr	Q _a lts/hrs	q ₂₅	(qi-qa)	(qi-qa) ²	Desviación Típica σ	Coefficiente de variación total de caudales σ CVt
1	13.8		11.05625	9.275	2.74375	7.5281641	1.462364844	0.132265899
2	13.66				2.60375	6.7795141		
3	12.73				1.67375	2.8014391		
4	12				0.94375	0.8906641		
5	11.5				0.44375	0.1969141		
6	11.33				0.27375	0.0749391		
7	11.2				0.14375	0.0206641		
8	10.86				-0.19625	0.0385141		
9	10.8				-0.25625	0.0656641		
10	10.66				-0.39625	0.1570141		
11	10.66				-0.39625	0.1570141		
12	10.6				-0.45625	0.2081641		
13	10.51				-0.54625	0.2983891		
14	9.4				-1.65625	2.7431641		
15	8.86				-2.19625	4.8235141		
16	8.33				-2.72625	7.4324391		
	176.9				-5.329E-15	34.216175		

6. Datos evaluados por punto

Ubicación de salida de lateral	Ubicación lateral en el colector							
	Inicio		1/3		2/3		Final	
	Caudal	Presión	Caudal	Presión	Caudal	Presión	Caudal	Presión
Inicio	Caudal	10.51		13.66		10.86		12.73
	Presión		22.5		21.8		21.09	22.5
1/3	Caudal	10.66		10.8		8.86		10.66
	Presión		21.09		20.39		18.98	21.09
2/3	Caudal	11.33		13.8		9.4		11.5
	Presión		20.39		18.98		18.28	21.09
Final	Caudal	11.2		8.33		10.6		12
	Presión		19.69		18.98		16.87	20.39

Dónde: Presión: (m.c.a) Caudal: (L/hr)

7. Regresión Lineal

X	Y	X ²	XY	Y ²
22.50	10.51	506.25	236.48	110.46
21.10	10.66	445.21	224.93	113.63
20.39	11.33	415.75	231.01	128.36
19.69	11.2	387.69	220.52	125.44
21.80	13.66	475.24	297.78	186.59
20.39	10.8	415.75	220.21	116.64
18.99	13.8	360.62	262.06	190.44
18.99	8.33	360.62	158.18	69.38
21.10	10.86	445.21	229.14	117.93
18.99	8.86	360.62	168.25	78.49
18.28	9.4	334.15	171.83	88.36
16.88	10.6	284.93	178.92	112.36
22.50	12.73	506.25	286.42	162.05
21.10	10.66	445.21	224.92	113.63
21.10	11.5	445.21	242.65	132.25
20.39	12	415.75	244.68	144
324.19	176.9	6604.46	3597.97	1990.01

8. Valor de caudales ajustados por mínimos cuadrados

X	Y
22.50	11.87
21.10	11.33
20.39	11.06
19.69	10.8
21.80	11.6
20.39	11.06
18.99	10.53
18.99	10.53
21.10	11.33
18.99	10.53
18.28	10.26
16.88	9.73
22.50	11.87
21.10	11.33
21.10	11.33
20.39	11.06

Dónde: X (Presiones m.c.a) Y(Caudales L/h)

9. Cabezal de campo



10. Localización de los puntos con pintura blanca en aerosol



11. Emisores en funcionamiento



12. Vegetación presente en punto de emisión de agua



13. Manómetro de glicerina



14. Tubería principal de distribución de la finca El Plantel



15. Pozo de agua en finca El Plantel



16. Medición de presión en laterales de riego

