

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

Tesis presentada al Honorable Consejo Directivo de la Facultad, como  
requisito previo a la obtención del título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**Tema:**

Estudio de los indicadores de calidad de un sistema de riego por aspersión  
subfoliar en *Banano (musa aaa)* en la zona de Pueblo Viejo

**Autor:**

Juan Ernesto Tandazo Garcés

**Director:**

Ing. Agr. Oscar Caicedo Camposano, M. Sc.

Los Ríos – Ecuador

2015

## INDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	OBJETIVOS GENERALES.....	3
1.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	3
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
II	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
III	MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
3.1	Ubicación y descripción del área experimental.....	18
3.2	Equipo de riego.....	18
3.2.1	Modulo de riego.....	19
3.3	Factores estudiado.....	19
3.4	Métodos.....	19
3.5	Tratamientos.....	20
3.6	Diseño experimental.....	20
3.7	Manejo del ensayo.....	20
3.8	Datos evaluados.....	21
IV	RESULTADOS.....	22
4.1	Establecimiento de los indicadores de calidad de riego.....	22
4.1.1	Coeficiente de uniformidad de Christiansen.....	22
4.1.2	Coeficiente de uniformidad de distribución.....	22
4.1.3	Área regada adecuadamente.....	22
4.1.4	Factor de adecuación de riego.....	22
4.1.5	Eficiencia de aplicación.....	23
V	DISCUSIÓN.....	26
VI	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	27
	RESUMEN.....	30
	SUMMARY.....	32
VII	BIBLIOGRAFIA.....	34
	ANEXOS.....	37

## I. INTRODUCCIÓN

Según la historia el regadío por aspersión tuvo sus inicios a principios del siglo veinte, en sus primicias por los años 30 fue muy costoso; tiempo después el costo de los sistemas de regadío por aspersión se redujo debido a la aparición de los aspersores, el aligeramiento del peso de las tuberías de acero, así como por la incorporación de acoples rápidos para la unión de las tuberías. Estas circunstancias indujeron a que este método se utilice a escala mundial y en una gran variedad de cultivos.

En la década de los 50 se produjo otro gran avance en la tecnología de este método de riego con la aparición de las tuberías de aluminio, el avance en la fabricación de los aspersores, y una mejora en las estaciones de bombeo, lo que originó nuevamente la expansión del riego por aspersión.

Los sistemas de riego por aspersión han evolucionado de una forma acelerada, mejorando la eficiencia de aplicación de agua con una muy desarrollada automatización, la cual reduce considerablemente las necesidades de mano de obra. Cerca del 10% de las áreas con riego en el mundo son por aspersión, siendo este porcentaje más elevado en países desarrollados, con altos costos de mano de obra y bajos costes de energía. Las innovaciones que se introducen mejoran el funcionamiento del riego y favorecen la adaptación de la aspersión a todos los tipos de suelo, de topografía, de cultivos y climas (Tarjuelo, 2005).

En la provincia Los Ríos, Ecuador, el banano es uno de los cultivos de mayor importancia económica, por lo que requiere de grandes inversiones de infraestructura entre ellas la de riego; de las 637.000 ha de suelos agrícolas, 55.040 ha están sembradas con banano, las mismas que en su mayoría poseen riego por aspersión subfoliar y en menor cantidad riego con aspersores de alta carga, los conocidos “gran cañón”. La aspersión subfoliar como técnica de regadío más adecuada al cultivo del banano es reportada por especialistas de otros países de Latinoamérica (Caicedo, 2014).

En el diseño e instalación de sistemas de riego por aspersión existe un factor que influye relevantemente en su costo y operación, este es el uso de métodos empíricos que realiza el personal de algunas casas comerciales al momento de calcular: potencia de la bomba, caudales, diámetros de tuberías, pérdidas de carga y programación de riego; sin que el productor bananero conozca que su sistema de riego podría llegar a ser subutilizado o sobre utilizado.

En el accionar diario la intervención de los ingenieros o especialistas en trabajos de cálculos y diseños de riego se muestran en menos proporción que el que se adjudica a algunas casas comerciales, cuyo proceder es empírico y sin garantías de que el trabajo solicitado esté hecho bajo parámetros científicos y técnicos que aseguren una eficiente uniformidad de distribución del agua y precautelen así un excelente funcionamiento de los sistemas de riego desde un punto de vista económico y de buen uso del agua en labor de riego.

La eficiencia del riego por aspersión no pasa sólo por una buena aplicación del agua, sino también por un correcto diseño, es decir, en la selección adecuada de sus principales componentes que incluyen las tuberías, aspersores y accesorios (Holzapfel *et al.*, 2007). Estos autores plantean que en la elección de los aspersores no basta con considerar la velocidad de aplicación, tomando como base la velocidad de infiltración del suelo y su patrón de distribución, debido a que se omiten ciertos antecedentes como son los costos de operación e implementación, que muchas veces pueden ser una variable decisiva al momento de elegir entre varias alternativas de sistemas de riego.

La evaluación del desempeño hidráulico en sistemas de aspersión a partir de la influencia que puede tener la presión de operación sobre la uniformidad del riego ha sido abordado por varios autores en las más diversas condiciones edafoclimáticas y de manejo de cultivo.

El propósito de este trabajo fue evaluar el comportamiento hidráulico del riego por aspersión subfoliar en plantaciones de banano con el aspersor más empleado en la región por las casas comerciales y para las presiones de operación que comúnmente se emplean en la mayoría de los sistemas, para ello se estudiaron los indicadores de desempeño del riego: coeficiente de uniformidad de Christiansen, uniformidad de distribución, área adecuadamente regada y eficiencia de aplicación.

El estudio de los indicadores que influyen en la calidad de aplicación del riego por aspersión en banano servirán para corregir con criterio técnico errores que se vienen cometiendo desde hace tiempo en la dotación de riego para este cultivo a causa de los métodos empíricos de diseño y operación que recomiendan muchas casas comercializadoras de equipos de riego.

### **1.1 Objetivo General:**

Evaluar el comportamiento hidráulico de un módulo riego del sistema de irrigación por aspersión subfoliar del cultivo de banano en la Hacienda Naranjo Chico, en el cantón Pueblo Viejo, provincia de Los Ríos.

### **1.2 Objetivo Específico:**

- Establecer los indicadores de calidad de riego: Coeficiente de uniformidad de Christiansen, uniformidad de distribución, área adecuadamente regada, eficiencia de aplicación, factor de adecuación de riego para el modelo propuesto.
- Valorar el módulo de riego bajo diferentes presiones de operación.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **El riego**

Israelsen y Hansen citados por Rázuri (2011), lo definen como “la aplicación artificial de agua al terreno con el fin de suministrar a las especies vegetales la humedad necesaria para su desarrollo.

Es una actividad resultante de las acciones del hombre, esta práctica involucra obras complementarias de drenaje, compensando de esta manera el déficit de agua así como la eliminación de sus excesos.

### **Características del riego por aspersión**

El sistema de riego por aspersión es un sistema de riego presurizado que conduce el agua mediante tubería, y la dosis de riego es aplicada al cultivo en forma de lluvia a través de aspersores (Cárdenas, 2010).

### **Componentes del sistema**

Los componentes de un sistema de riego por aspersión son:

Equipo de bombeo.

Equipo de fertilización.

Válvulas de control y medición.

Tubería de conducción principal.

Válvula de control de bloque.

Tubería de conducción secundaria.

Tubería de conducción terciaria.

Accesorios.

Aspersores.

## **Tipos de Aspersores.**

Los aspersores no son más que dispositivos previstos de una tobera que convierte la energía potencial en energía cinética, mientras mayor sea la presión existente en el aspersor mayor será el caudal emitido y el radio de cobertura del aspersor.

Existen además diferentes tamaños de boquillas para un mismo aspersor lo que facilita el manejo del cultivo de acuerdo al estado de desarrollo ya que cada boquilla determina el caudal emitido y su alcance (Cárdenas, 2010).

Los aspersores se los pueden clasificar de acuerdo a la variación de presión en:

Presión Alta	:	70-140 PSI
		15-400 gpm
Presión Media	:	30-70 psi
		02 – 20 gpm
Presión Baja	:	10 – 30 psi
		0.5 – 2 gpm

Actualmente en el mercado existen aspersores especialmente creados para regar pequeñas zonas radicales correspondientes a árboles en sus primeras etapas de desarrollo como Palma africana, mangos, cítricos, entre otros.

Este aspersor realiza un riego localizado mediante tres boquillas de dirección ajustable con ángulo máximo de 30° para regar 3 plantas por aspersor (Valverde, 2007)

Como factores prácticos a tener en cuenta en el funcionamiento de los aspersores pueden estar:

Caudal emitido.- puede estar en función del tamaño de las boquillas y de la presión existente en la misma. Viene dado por la curva característica del emisor.

$$q = K * H^x \quad \text{Ec. 1}$$

Siendo:

q = caudal emitido (l/ h)

H = presión en boquillas (m.c.a)

K y x = constaste del aspersor, donde x = 0.5

Este parámetro no puede ser mayor que la velocidad de infiltración del suelo porque produciría encharcamiento o erosión por escorrentía en suelos con pendientes altas.

### **Formas de distribución de los aspersores.**

Existen tres formas de distribución de los aspersores en el terreno: cuadrada, rectangular (para sistemas de riego móvil) y triangular (para sistemas de riego fijo).

Con el fin de que exista un buen traslape entre aspersores, la distancia escogida para los aspersores estará determinada por el radio de cobertura y la velocidad del viento.

De acuerdo a Heerman y Kohl (1980) los valores de separación entre aspersores y líneas de aspersión son:

En distribución de forma cuadrada y triangular, la separación debe ser 60 % del diámetro mojado.

En distribución de forma rectangular, la separación debe ser 75 % del diámetro mojado entre líneas y 40 % entre aspersor. Estas separaciones deben aumentarse si la velocidad del viento es mayor a 2m/s de acuerdo a la tabla 1.

Cuadro 1. Relación de la reducción de separación entre aspersores con respecto a la velocidad del viento

<b>% de Reducción</b>	<b>Velocidad de viento (m/s)</b>
10-12	4-6
18-20	8-9
25-30	10-11

Fuente: Cárdenas, 2010

## **Elección de los aspersores.**

El aspersor a utilizar en el sistema de riego debe ser elegido considerando los siguientes aspectos según Zúñiga, (2004).

- Características del cultivo, existen cultivos que son muy sensibles al impacto del agua de riego por lo que es aconsejable elegir aspersores de bajo impacto. También se debe considerar los problemas fitosanitarios que puede ocasionar al cultivo.
- Grado de aplicación del aspersor (Pluviometría) que siempre debe ser menor que la velocidad de infiltración.
- Tiempo de riego disponible que va directamente relacionado con el caudal del aspersor a elegir para cubrir la lámina de riego.
- Diámetro de cobertura.
- Efecto del viento que da la pauta para escoger los distanciamientos entre aspersores y laterales.
- Patrón de distribución del aspersor para garantizar una buena uniformidad de riego, lo que indicará la cantidad de aspersores a utilizar por hectárea.
- Presión de trabajo, que incide directamente en la bomba a utilizar y sus respectivos costos de funcionamiento.
- Costos de funcionamiento, vida útil y facilidad en la adquisición de repuestos y boquillas.

## Relación caudal - presión del aspersor

Los aspersores son emisores de orificio, cuya ecuación es:

$$q_a = 3.6aC\sqrt{2gh_a} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde,

$q_a$  = caudal en l/ h

$a$  = sección de paso en  $\text{mm}^2$

$C$  = coeficiente de descarga de orificio (dado por el fabricante)

$g = 9.81 \text{ m/ s}^2$

$h_a$  = presión en m.c.a.

El coeficiente de descarga varía entre 0.95 y 0.99 y dicho valor lo da el fabricante del aspersor (Zuñiga, 2004).

El objetivo del riego es compensar las deficiencias de humedad del suelo. El rendimiento de los cultivos está en función a la cantidad de agua puesta a su disposición, hasta llegar a un máximo a partir del cual decrece por exceso:

- a) Mejorar las condiciones ambientales del suelo y cultivo
- b) Acciones sobre el suelo
- c) Acciones sobre el follaje
- d) Aplicar nutrientes y medios protectores
- e) Sedimentos suspensión, formación de suelo, fertirrigación
- f) Mejorar las condiciones y calidad de vida

## **Fundamentos hidráulicos**

### **Velocidad media del flujo.**

La velocidad media del flujo en una tubería puede calcularse usando la igualdad  $Q = VA$ . Cambiando unidades y resolviéndola para  $V$  se observa que:

$$V = 1.273Q / D^2 \quad \text{Ec.3}$$

Dónde:

$V$  = velocidad media (m/ s)

$Q$  = Caudal (l/ s)

$D$  = Diámetro interior (mm)

El valor de la velocidad media es la primera limitante para elegir el diámetro de la tubería. La velocidad media del flujo debe estar comprendida entre 0.60 y 2.25 m/s. Velocidades de flujo menores a 0.60 m/s equivaldría a tener tuberías de diámetros muy grandes y por consiguiente muy caras, por el contrario velocidades mayores a 2.25 m/s equivaldría a diámetros de tubería muy pequeños y por lo consiguiente pérdidas de cargas altas que afectarían directamente al costo del equipo de bombeo y los peligros por sobrepresiones; sin embargo, cuando existe excesiva presión por gravedad es posible trabajar con mayores velocidades para equilibrar las ganancias de presión con las pérdidas de carga por rozamiento.

### **Pérdidas de carga en tuberías**

Existen diferentes ecuaciones usadas para calcular las pérdidas de carga en tuberías, la más utilizada es la de Hazen–William. La ecuación antes mencionada se pueden expresar de dos modos, una cuando la tubería no tiene salida y otra cuando la tubería tiene salidas múltiples, las mismas que se expresan a continuación (PALMOSAN, 2004).

$$h = 10,674 * \left( \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} * D^{4,871}} \right) * L \quad \text{Ec. 4}$$

Dónde:

h: pérdida de carga o de energía (m)

Q: caudal (m<sup>3</sup>/ s)

C: coeficiente de rugosidad (adimensional)

D: diámetro interno de la tubería (m)

L: longitud de la tubería (m)

Además:

$$hf = 1,131 \times 10^9 \times \left( \frac{Q}{C} \right)^{1,852} L \times D^{-4,872} \times F_{Tab} \quad \text{Ec. 5}$$

hf= pérdidas de cargas por fricción en tuberías con salida múltiples (m/ m)

Q= caudal de la tubería lateral en (m<sup>3</sup>/ h)

C= coeficiente de rugosidad (adimensional)

L= longitud de la tubería lateral en (m)

D= diámetro es exacto de la tubería (mm)

F= factor de Christiansen (adimensional)

Cuadro 2: Rugosidad absoluta de materiales (C)

<b>Material</b>	<b>Adimensional</b>
Plástico PE	150
Plástico PVC	140
Tubos estirados de acero	240
Tubos de latón o cobre	150
Fundición revestida de cemento	240

Fuente: Valverde, 2007

## **Pérdidas de carga en válvulas y accesorios**

Las pérdidas de carga en accesorios y válvulas se producen por el roce del agua circulante dentro de estos dispositivos debido a su geometría, estas pérdidas son llamadas pérdidas localizadas, menores o singulares. El valor de la pérdida de carga localizada está dado por el producto de la energía cinética multiplicado por un coeficiente de pérdida k:

$$h_m = k \frac{V^2}{2g} = \frac{8k}{\pi^2 g D^4} Q^2 \quad \text{Ec. 6}$$

Donde,

$h_m$  = Pérdidas menores

V = Velocidad del flujo aguas abajo

D = Diámetro interior del elemento aguas abajo

Q = Caudal

g = Gravedad

k = Coeficiente adimensional que depende del número de Reynolds y de las características del accesorio.

Existen ábacos que indican la longitud equivalente en cada tipo de accesorio de acuerdo al diámetro de tubería. En lo que respecta a las válvulas el fabricante proporciona las curvas o fórmulas que determinan la pérdida de carga de acuerdo al diámetro (Rivas, 2008).

## **Problemática del riego**

Necesita incorporar nuevas tecnologías para optimizar el uso de los recursos y reducir los costos.

El regante debe estar implicado en cualquier proceso a realizar con el sistema de riego.

Solución (aspersión, goteo o superficie).

Buscar el óptimo económico según suelo, clima, cultivo y suministro de agua (Rázuri, 2011).

### **Nuevas Tecnologías del riego**

La incorporación de nuevas tecnológicas a los sistemas de riego, para mejorar la eficiencia de aplicación de agua y optimizar la utilización de los recursos (Fernández, 2010).

Viene impuesto, entre otros, por:

- Decrecimiento del abastecimiento del agua disponible para riego.
- La necesidad de disminuir los costos de producción.
- La polución y el deterioro del medio por un mal manejo del agua o del uso indiscriminado de la misma, es un costo que hay que empezar a pagar.

### **Evaluación de sistema de riego**

La evaluación realizada a un conjunto de sistemas de riego puede servir además para establecer los criterios de elección del sistema más adecuado a las condiciones de cada zona regable. Debido al elevado número de variables que intervienen (caudal, presión, duración del riego.) y al hecho de que todas están directa o indirectamente relacionadas, el problema de la correcta utilización del agua no tiene siempre una solución evidente ni inmediata (Tarjuelo, 2005).

Caicedo (2014) indica que la operación un sistema es inadecuada cuando se establece como tiempo de riego una hora diaria sin tener en cuenta la evapotranspiración y las condiciones de suelo, esto repercute en un mal uso del recurso agua, ya que, la lámina que se estaba aplicando en la Hacienda San Jose 2 (sitio donde se realizó la investigación) es de 3.81mm/ día, cuando el valor real de la  $ET_C$  según la época del año en que se realiza el riego son generalmente menores a

ese valor, ocasionando que el excedente de agua se pierda posiblemente por escorrentía o por percolación profunda.

A veces, las mejoras a introducir pueden ser sencillas, así el funcionamiento de un riego por aspersión puede mejorarse variando la presión de trabajo, tamaño y número de boquillas, altura de los emisores, duración de la postura de riego o cambiando el material desgastado (Tarjuelo, 2005).

La evaluación de riego determina los parámetros operacionales del sistema de riego en relación a su habilidad en distribuir el agua que se recibe en el área regada; se obtiene también informaciones gerenciales que permitan decidir sobre la necesidad de cambios hidráulicos en el sistema de riego. Finalmente contribuye para la toma de decisiones a las metas de manejo del agua que deberán ser alcanzadas a lo largo del ciclo del cultivo (Rázuri, 2011).

Debe evitarse irrigar los sectores de riego con programaciones tanteadas durante la época seca (mayo – diciembre), ya que los resultados demuestran que la programación de riego obtenida con datos de ETo es muy diferente a la que verdaderamente necesita el cultivo (Caicedo, 2014).

**Indicadores de calidad del riego** (Tarjuelo, 2005).

- a) Coeficiente de Uniformidad de Christiansen
- b) Uniformidad de distribución
- c) Eficiencia de aplicación
- d) Área regada adecuada

Cuadro 3: Valores de la eficiencia EDa para varios CUC y porcentajes de áreas adecuadamente regada Keller y Bliesner (1990) adaptado de Hart y Reynolds (1965).

CUC (%)	% de área adecuadamente regada								
	95	90	85	80	75	70	65	60	50
	Ea (%)								
94	88	90	92	94	95	96	97	98	100
92	83	87	90	92	93	95	96	97	100
90	79	84	87	89	92	93	95	97	100
88	75	81	84	87	90	92	94	96	100
86	71	77	82	85	88	91	93	96	100
84	67	74	79	83	86	89	92	95	100
82	63	71	77	81	85	88	91	94	100
80	59	68	74	79	83	87	90	94	100
78	88	65	71	77	81	86	89	93	100
76	50	61	69	75	80	84	88	92	100
74	46	58	66	73	78	83	87	92	100
72	42	55	64	70	76	82	86	91	100
70	38	52	61	68	75	80	85	90	100
68	34	49	58	66	73	79	85	90	100
66	30	55	56	64	71	78	84	89	100

Fuente: Nin, 2008

La superficie regada por aspersión está aumentando de forma importante en los últimos años. Aunque se trata de un sistema de riego de una alta eficiencia potencial, muestra una gran sensibilidad a variables de diseño, ambientales y de manejo. Los principales problemas del riego por aspersión se derivan de una inadecuada combinación de aspersor, boquillas y marco, del efecto del viento y de presiones de funcionamiento fuera del rango óptimo. Como consecuencia, la uniformidad de aplicación del riego puede disminuir de forma importante y las pérdidas por evaporación y arrastre pueden alcanzar valores demasiado altos, lo

cual aumenta la variabilidad espacial del rendimiento del cultivo y disminuye la eficiencia en el uso del agua (Nin, 2008).

En este tipo de sistema, la estación de bombeo, la tubería principal y los laterales son fijos cuando el sistema es estacionario. Al igual que los semiestacionarios tienen su mayor aplicación en áreas extensas. En general las disposiciones que pueden adoptar las distintas partes que constituyen una instalación de riego por aspersión en determinadas condiciones son varias (Pacheco *et al.*, 2010)

En riego agrícola se conoce como marco de riego a la separación entre ramales y aspersores. Normalmente viene indicado por dos cifras; la mayor indica la separación entre ramales la menor entre aspersores. Los marcos más comunes suelen ser 12 x 12 m, 12 x 15 m, 12 x 18 m y 15 x 15 m. Estas distancias proporcionan una alta eficiencia de aplicación en riego de alta presión. La pluviometría del sistema es la cantidad de agua que entrega el sistema de riego por unidad de tiempo, normalmente se expresa en Lh-1 (Revila, s.f.).

En riego por aspersión está muy extendida la utilización del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CU) (Christiansen, 1942). Éste es equivalente a la UD<sub>50</sub> correspondiente a la media del 50 % del área menos regada (Flórez *et al.*, 2013).

### **Evaluación del sistema de aspersión estacionario**

Son aquellos en que los aspersores permanecen fijos durante el riego.

La evaluación a que nos referiremos únicamente contempla el proceso de aplicación de agua por el sistema, no considerando los aspectos de manejo que regulan la adecuación del riego en cuanto al momento y volumen a aportar.

Se recomienda seguir la metodología de Merriam y Keller (1978).

Para los cultivos de valor medio y alto se recomienda que el 90 % del área quede adecuadamente regada, mientras que para cultivos forrajeros y otros de menor valor, suele recomendarse el 80 % como área adecuadamente irrigada (Motero, 2000).

**Importancia de la evaluación hidráulica en los sistemas de riego por aspersión fijo**  
Es muy importante realizar una evaluación recién finalizada la instalación; se comprobará así que las prestaciones en cuanto a la capacidad de aportar una cantidad de agua con una determinada uniformidad coinciden con lo proyectado. También es conveniente conocer al principio de cada campaña de riegos la cantidad de agua que aplica el sistema por unidad de tiempo y su uniformidad, con lo que se podrá decidir el tiempo de riego. Asimismo, deberá realizarse una evaluación del sistema de riego cuando existan motivos para sospechar la existencia de cambios en la uniformidad o en la lámina de agua aplicada (Tarjuelo, 2005).

El comportamiento de los valores de CUC y CUD fue inversamente proporcional al espaciamiento entre aspersores, tanto para la lámina precipitada como para la infiltrada, es decir, a mayor espaciamiento los valores de los coeficientes son menores. Esto se debe a que con mayor espaciamiento entre aspersores el área irrigada aumenta, pero el radio de alcance del aspersor se mantiene constante dejando partes sin irrigar (Fietz *et al*, 1999).

Las deficiencias en el funcionamiento hidráulico del sistema de riego se manifiestan al comparar los caudales observados con los nominales que aparecen en los catálogos del fabricante para las presiones de trabajo estudiadas. En ninguno de los tratamientos las descargas reales superan el 81,4% del flujo nominal, lo que se respalda en que “un aspersor funciona mejor cuando la presión disponible está dentro de los límites especificados por el fabricante en condiciones hidráulicas aceptables” (Santos Pereira *et al.*, 2010).

Para cultivos de valor medio o alto es recomendable que el área regada adecuadamente sea de un 90 %, mientras que de un 80 % para cultivos forrajeros y de menor valor. Tarjuelo citado por Medrado (2000).

La evaluación del funcionamiento hidráulico y la calidad del riego en sistemas de aspersión a partir de la influencia que puede tener la presión de operación sobre la uniformidad del riego ha sido abordado por varios autores en las más diversas condiciones edafoclimáticas y de manejo de cultivo (Yacoubi *et al.*, 2012; Faria *et al.*, 2012; MohammadPour zarandi *et al.*, 2012; Martins *et al.*, 2013; Tomásik y Jobbágy, 2013; Zhang Lin *et al.*, 2013).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación y descripción del área experimental

El ensayo experimental se realizó en los predios de la Hacienda Naranjo Chico, ubicada en el cantón Pueblo Viejo, provincia de Los Ríos en las coordenadas UTM 663660, 9833233 según el elipsoide PSAD 56.

El clima de la zona es Tropical Húmedo según la clasificación internacional de Köppen, con una temperatura promedio de 26,3 °C, precipitación anual de 2177,8 mm en donde de enero a abril ocurren los valores más altos de precipitaciones en esta zona, con un promedio para este intervalo de tiempo de 456,8 mm, la humedad relativa es de 80,9 %, su heliofanía mensual es de 75,7 horas mensuales y una evaporación mensual de 108,6 mm<sup>1</sup>

#### 3.2 Equipo de riego

El sistema de riego está constituido como se detalla a continuación:

- Pozo de Ø 315 mm encamisado a 250 mm, 105 m de profundidad
- Tubería de succión de Ø 200 mm
- Bomba de presión con potencia de 75 HP
- Motor a combustión con potencia de 75 HP
- Tubería de impulsión de Ø 315 mm
- Tubería principal de Ø 315mm, Ø 250 mm y Ø 200 mm, Ø 160 mm
- Tubería secundaria de, Ø 110 mm, Ø 90 mm, Ø 63 mm, Ø 50 mm
- Tubería porta-aspersores de Ø25 mm
- Un total de 648 aspersores en un turno de riego
- Aspersor SENNINGER 3012 boquilla # 9 (9/64”) Gris

Cuadro 4. Características del aspersor que se utilizó en este trabajo.

---

<sup>1</sup>Datos tomados del histórico de la Estación Meteorológica INAMHI – UTB 2013

<b>Características del aspersor</b>	
Marca:	Seninger
Modelo:	3012 1 1/3 "M
Boquilla:	# 9 (9/64") Gris
Caudal del aspersor:	2,81 a 3,98 GPM
Diámetro 0.50 m:	21,67 a 26,25 m
Presión:	25 a 50 PSI

### 3.2.1 Modulo de riego

- Tubería secundaria de Ø 110 mm y 90 mm
- Tubería porta aspersores 48 m/ 32 mm y 30 m/ 25 mm
- Válvula 3"
- 126 aspersores en el módulo de estudiar
- Espacio entre aspersores \* Espacio laterales = 12m \* 12m
- Área del módulo = 1.83 ha

### 3.3 Factores estudiados

Variable dependiente : Uniformidad de distribución, coeficiente de uniformidad, factor de adecuación del riego, eficiencia de aplicación, área adecuadamente regada.

Variable independiente : Presiones de trabajo, Espacio entre aspersores.

### 3.4 Métodos

Se utilizó el método deductivo – inductivo, inductivo - deductivo y el método experimental.

### 3.5 Tratamientos

En la presente investigación, los tratamientos fueron tres presiones, siendo estos: 20, 25 y 30 PSI, con cinco repeticiones cada una, en donde las repeticiones fueron los módulos a estudiarse. Las presiones se tomaron en las labores de riego.

### 3.6 Diseño experimental

Los caudales colectados en cada uno de los tratamientos se los ingresó en la plantilla de excel propuesta por Medrado (2009), la misma que determinó el funcionamiento del módulo y modelará los valores de los indicadores de calidad de riego con el fin de mejorar el funcionamiento.

Para el análisis de los resultados se utilizó estadística descriptiva ya que no se evaluaron parámetros biométricos. Los promedios que se obtuvieron entre las repeticiones del riego en las plantalillas de Medrado, se compararon con los que se obtuvieron a partir de las ecuaciones convencionales.

### 3.7 Manejo del ensayo

- La lámina que se aplicó aplicando diariamente en el lugar experimental se determinó con la siguiente ecuación:

$$L_a = \frac{60 * Q * t}{EA * EL} \quad Ec.7$$

Dónde:

**La:** Lamina aplicada

**Q:** Caudal (l/ s)

**T:** Tiempo de riego en minutos

**EA:** Espaciamiento entre aspersores

**EL:** Espaciamiento entre laterales

- Se evaluó el desempeño hidráulico del sistema de riego con presiones de 20, 25 y 30 psi respectivamente; dentro del ramal de aspersores se utilizó el método de los caudales propuesto por Merriam y Keller (1978).
- La descarga de los aspersores evaluados se midió cada 30 segundos, en dos ocasiones, para cada tratamiento y réplica. Esos valores se emplearon en la determinación del caudal promedio. Se midió la presión del grupo de bombeo y de los aspersores de los módulos implicados en el ensayo en cada tratamiento con manómetros.
- Los caudales que se colectaron en cada uno de los tratamientos se los ingresó en la plantilla de excel propuesta por (Medrado 2009) la misma que determinó el funcionamiento del sistema y modela los valores de los indicadores de calidad de riego con el fin de mejorar el funcionamiento.

### **3.8 Datos evaluados**

- Diferencia de presión entre el primer y el último aspersor del módulo.
- Caudales descargados por los aspersores del módulo que se evaluó.
- Coeficiente de uniformidad de Christiansen.
- Coeficiente de uniformidad de distribución.
- Área adecuadamente regada.
- Factor de adecuación de riego.
- Eficiencia de aplicación con el perfil de agua ajustado.

## **IV. RESULTADOS**

### **4.1. Establecimiento de los indicadores de calidad de riego.**

#### **4.1.1. Coeficiente de Uniformidad de Christiansen**

El coeficiente de uniformidad de Christiansen CUC, en base a la descarga muestran que el valor alcanzado fue de 97,43 % cuando el módulo operó a 20 PSI de presión en la entrada de la válvula, asimismo cuando el módulo operó a 25 PSI el resultado de CUC fue de 96,72 %, finalmente cuando la presión de operación fue de 30 PSI el valor de CUC alcanzado fue de 97,73 %, promedios obtenidos de la plantilla de Medrado, 2009 (Cuadro 5).

Las mismas descargas utilizadas en la formula convencional para el cálculo de CUC, dan como resultado 97,34 %, 96,37 %, 97,65 % todos estos con presión de operación de 20 PSI, 25 PSI, 30 PSI (Cuadro 7).

#### **4.1.2. Coeficiente de Uniformidad de Distribución**

Los promedios obtenidos de coeficiente de uniformidad de distribución CUD en la plantilla de Medrado, 2009 fueron de 95, 54 %, 94,68 % y 96, 02 % bajo presión de operación de 20 PSI, 25 PSI, 30 PSI correspondientemente muestran que los resultados alcanzados de CUD en las presiones de operación de 20 PSI, 25 PSI, y 30 PSI dieron como resultado coeficientes de 95,59 %, 93, 86 % y 95, 78 % (Cuadro 6 y 7).

#### **4.1.3. Área Regada Adecuadamente**

El área adecuadamente regada ARA que modeló plantilla de Medrado, 2009 con los resultados de los caudales colectados indican un ARA de 50 % a 20 PSI de presión de operación, mientras que a 25 PSI de presión el ARA fue de 60 %, así mismo cuando se opera a 30 PSI el ARA fue de 60 % (Cuadro 6).

#### **4.1.4. Factor de Adecuación de Riego**

De los resultados obtenidos para Factor de adecuación del riego la plantilla del doctor Medrado indica que para regar adecuadamente una área de 90 %, se requieren multiplicar los caudales por un factor de 1,05 esto quiere decir que se requiere un 5 % adicional de descarga en cada aspersor (Cuadro 6).

#### **4.1.5. Eficiencia de Aplicación**

La eficiencia de aplicación EA de acuerdo con la plantilla utilizada en el procesamiento de los caudales indican que cuando la presión de trabajo es de 20 PSI insiste una EA de 94,78 %; si la presión de trabajo es de 25 PSI la EA es de 94,63 % de igual modo cuando la presión de operación fue de 30 PSI la EA fue de 95,37 %. Los promedios de caudales colectados durante la evaluación, se presentan en el cuadro 5. Las medias de las descargas indican que las láminas aplicadas con las presiones de 20 psi, 25 psi y 30 psi corresponden a los valores de 2,66 mm, 3,16 mm y 3,35 mm respectivamente. Estas láminas se obtuvieron mediante la ecuación 1 (Cuadro 6).

Cuadro 5: Promedio de caudales colectados

1	400,26	480,16	497,25
2	398,39	479,98	496,88
3	398,07	475,13	495,75
4	392,52	472,36	495,65
5	392,28	470,22	494,84
6	390,54	467,54	492,98
7	389,28	466,17	488,96
8	387,2	464,76	486,48
9	386,68	460,56	485,03
10	386,26	452,97	483,2
11	382,12	450,19	482,58
12	372,04	444,28	473,43
13	370,12	442,04	465,55
14	366,82	441,51	463,59
15	365,74	433,15	460,69
16	365,52	395,47	459,27
$\bar{X}$	<b>383,99</b>	<b>456,03</b>	<b>482,63</b>

Cuadro 6: Promedios obtenidos en la plantilla Excel de Medrado (2009).

#	CUC 20 PSI	CUC 25 PSI	CUC 30 PSI	CUD 20 PSI	CUD 25 PSI	CUD 30 PSI
1	97,45	96,73	97,73	95,55	94,67	96,04
2	97,42	96,71	97,72	95,53	94,69	96,02
3	97,43	96,71	97,74	95,53	94,68	96,01
4	97,45	96,72	97,74	95,55	94,69	96,00
5	97,41	96,71	97,71	95,54	94,66	96,02
	<b>97,43</b>	<b>96,72</b>	<b>97,73</b>	<b>95,54</b>	<b>94,68</b>	<b>96,02</b>

#	ARA 20 PSI	ARA 25 PSI	ARA 30 PSI	Fi 20 PSI	Fi 25 PSI	Fi 30 PSI	EA 20 PSI	EA 25 PSI	EA 30 PSI
1	0,5283	0,6028	0,6095	1,055	1,053	1,048	94,79	94,64	95,34
2	0,5283	0,6028	0,6095	1,055	1,053	1,048	94,76	94,64	95,36
3	0,5283	0,6028	0,6095	1,055	1,053	1,048	94,79	94,62	95,38
4	0,5283	0,6028	0,6095	1,055	1,053	1,048	94,77	94,64	95,38
5	0,5283	0,6028	0,6095	1,055	1,053	1,048	94,79	94,62	95,37
$\bar{X}$	<b>0,5283</b>	<b>0,6028</b>	<b>0,6095</b>	<b>1,055</b>	<b>1,053</b>	<b>1,048</b>	<b>94,78</b>	<b>94,63</b>	<b>95,37</b>

Cuadro 7: Promedios obtenidos en las ecuaciones convencionales.

#	CUC 20 PSI	CUC 25 PSI	CUC 30 PSI	CUD 20 PSI	CUD 25 PSI	CUD 30 PSI
1	97,34	96,37	97,65	95,59	93,86	95,78
2	97,34	96,37	97,65	95,59	93,86	95,78
3	97,34	96,37	97,65	95,59	93,86	95,78
4	97,34	96,37	97,65	95,59	93,86	95,78
5	97,34	96,37	97,65	95,59	93,86	95,78
$\bar{X}$	<b>97,34</b>	<b>96,37</b>	<b>97,65</b>	<b>95,59</b>	<b>93,86</b>	<b>95,78</b>

## V. DISCUSIÓN

Según Keller y Bliesner los valores de CUC, EA y ARA tienen estrecha relación, esto quiere decir que ARA no debe estar distante de los valores de CUC y EA; situación que no se presentó en el trabajo realizado ya que los valores de CUC y EA están por encima del 90 % y el de ARA se mantuvo en promedio por debajo de 60 %.

La eficiencia de aplicación EA final según los resultados de la plantilla de Medrado, (2009) fue de 94, 78; 94, 63 y 95, 37 % para tratamientos 1, 2 y 3 respectivamente, puesto que el marco de riego es de 12 x 12 m, esto coincide con lo manifestado con Revila s.f quien manifestó que los marcos de riego de 12 x 12 m, 12 x 15 m, 12 x 18 m y 15 x 15 m proporcionan una alta eficiencia de aplicación.

Las descargas en la evaluación no superaron el valor promedio de 73 % del flujo especificado en el catálogo del fabricante, esta variabilidad se debe a lo manifestado por Santos Pereira quien manifiesta que un aspersor funciona mejor cuando la presión disponible está dentro de los límites especificados por el fabricante en condiciones hidráulicas aceptadas.

Para cultivos de valor medio y altos la recomendación es que el ARA es de 90 % según Mortero (2000), esto no coincide con los resultados obtenidos en ésta investigación en que el ARA se calculó con la plantilla de Medrado, (2009).

## **VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones:**

Establecido los parámetros hidráulicos del módulo de riego pueden establecerse criterios para mejorar su funcionamiento, según sea un funcionamiento defectuoso o mal manejo del módulo.

El módulo tiene problemas en el funcionamiento ya que a juzgar por los resultados de la evaluación, las variaciones de presión y caudales exceden los límites permisibles según la fundamentación de la hidráulica de tubería.

La operación del módulo es errónea puesto que regar turnos de 1 hora diaria provoca un porcentaje de gasto innecesario de agua, ya que siempre se está regando 3,8 mm/día cuando lo necesario sería 3, 20 mm/día.

Tener resultados de CUC y CUD superiores al 85 y 80 %, no significa que la lámina que se aplique esté regando adecuadamente el perfil del suelo.

En la evaluación del módulo se pueden determinar que la presión aspersión de 30 PSI satisface en época seca.

### **Recomendaciones:**

De lo antes concluido, se recomienda:

Revisar las boquillas y reemplazar los aspersores ya que los mismos podrían estar desgastados provocando de esta manera una baja uniformidad de riego en el módulo evaluado.

Establecer un nuevo tiempo de riego por turno puesto que según los resultados se estaría aplicando un exceso de agua por cada campaña de riego.

Operar el modulo con una presión en los aspersores de 30 PSI ya que esta estaría satisfaciendo las necesidades hídricas del cultivo en época seca y además brinda condiciones hidráulicas aceptables.

## **VII. RESUMEN**

La presente investigación se estableció el mes de diciembre de 2014 en los predios de la Hacienda Naranjo Chico, cuyo propietario es el Doctor Juan Manuel Costa, ubicada en el cantón Pueblo Viejo, provincia de Los Ríos en las coordenadas UTM 663660, 9833233 según el elipsoide PSAD 56. El ensayo consistió en evaluar un módulo de riego conformado por 126 aspersores, espacio entre aspersores y laterales de 12 x 12 metros.

Se evaluaron las variables: Uniformidad de distribución, coeficiente de uniformidad, factor de adecuación del riego, eficiencia de aplicación, área adecuadamente regada. Todas las variables fueron analizadas con estadística descriptiva y en base a ese análisis concluyó:

El módulo tiene problemas en el funcionamiento ya que a juzgar por los resultados de la evaluación, las variaciones de presión y caudales exceden los límites permisibles según la fundamentación de la hidráulica de tubería.

La operación del módulo es incorrecta puesto que regar turnos de una hora diaria provoca un porcentaje de gasto innecesario de agua, ya que siempre se está regando 3,8 mm/día cuando lo necesario sería 3, 20 mm/día.

Tener resultados de CUC y CUD superiores al 85 y 80 %, no significa que la lámina que se aplique esté regando adecuadamente el perfil del suelo.

En la evaluación del módulo se pueden determinar que la presión aspersión de 30 PSI satisface en época seca.

En base a los resultados se recomendó:

Revisar las boquillas y reemplazar de los aspersores ya que los mismos podrían estar desgastados provocando de esta manera una baja uniformidad de riego en el módulo evaluado.

Establecer un nuevo tiempo de riego por turno puesto que según los resultados se estaría aplicando un exceso de agua por cada campaña de riego.

Operar el modulo con una presión en los aspersores de 30 PSI ya que esta estaría satisfaciendo las necesidades hídricas del cultivo en época seca y además brinda condiciones hídricas aceptables.

## VIII. SUMMARY

This research December 2014 was established in the premises of the Ranch Naranjo Chico, owned by Dr. Juan Manuel Costa, located in the town Pueblo Viejo province of Los Ríos in UTM coordinates 663660, 9833233 according to the ellipsoid PSAD 56. The test consisted of evaluating a module 126 formed by sprinkler irrigation, sprinklers and lateral spacing of 12 x 12 meters.

Uniformity of distribution, uniformity coefficient, factor adequacy of irrigation application efficiency, properly irrigated area: the variables were evaluated. All variables were analyzed with descriptive statistics and based on that analysis concluded:

The module has performance problems because judging by the results of the evaluation, variations in pressure and flow rates exceed the permissible limits as the foundation of hydraulic pipe.

Operation of the module is incorrect because water one hour daily shifts causes a percentage of water waste, as it always is spreading 3.8 mm / day when you need serious 3, 20 mm / day.

Having results of CUC and CUD than 85 and 80%, does not mean that the sheet is properly applied by watering the soil profile.

The evaluation module can determine that the spray pressure of 30 PSI satisfies dry time.

Based on the results it is recommended:

Inspect the nozzles and sprinkler replace since they could be worn thereby causing poor uniformity module irrigation evaluated.

Establish a new run time per shift since according to the results would be applying an excess of water per irrigation season.

Operate the module with a pressure of 30 PSI sprinklers as this would meet the water needs of the crop in dry season and also provides acceptable water conditions.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

1. Caicedo, O. (2014). Análisis del comportamiento hidráulico del riego por aspersión subfoliar en banano, en la finca San José 2 provincia de Los Ríos. Tesis de Máster en Riego y Drenaje. Guayaquil: Universidad Agraria del Ecuador.
2. Cárdenas, C. y Macías, R. A. (2010). Diseño e instalación de un sistema de riego por aspersión para 50 ha de cultivo de Palma Aceitera (*Elaeis guineensis*) en la provincia del Guayas. Guayaquil: ESPOL.
3. Faria, L.C., Beskow, S., Colombo, A., Oliveira, H.F.E. De. (2012): "Modelagem dos efeitos do vento na uniformidade da irrigação por aspersão: aspersores de tamanho médio", [en línea] Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, ISSN-1807-1929, DOI-10.1590/S1415-43662012000200002, 16(2): 133-141.
4. Fernández, R., Gómez, N. A. (2010). Manual de Riego para Agricultores: Riego por aspersión. Sevilla: Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.
5. Fietz, C., Folegatti M., Vieira S. y Frizzone, J. (1999). «Efeito da variabilidade do armazenamento de água no solo na qualidade da irrigação por aspersão.». <http://www.agriambi.com.br/revista/v3n2/150.pdf> (último acceso: 25 de agosto de 2014).
6. Flórez, N., Zution, I., Rodrigues, D., Agnellos, A. (2013). «Eficiencia de aplicación de agua en la superficie y en el perfil del suelo en un sistema de riego por aspersión.» Revista Agrocien 47. <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2013/feb-mar/art-1.pdf> (último acceso: 26 de agosto de 2014).

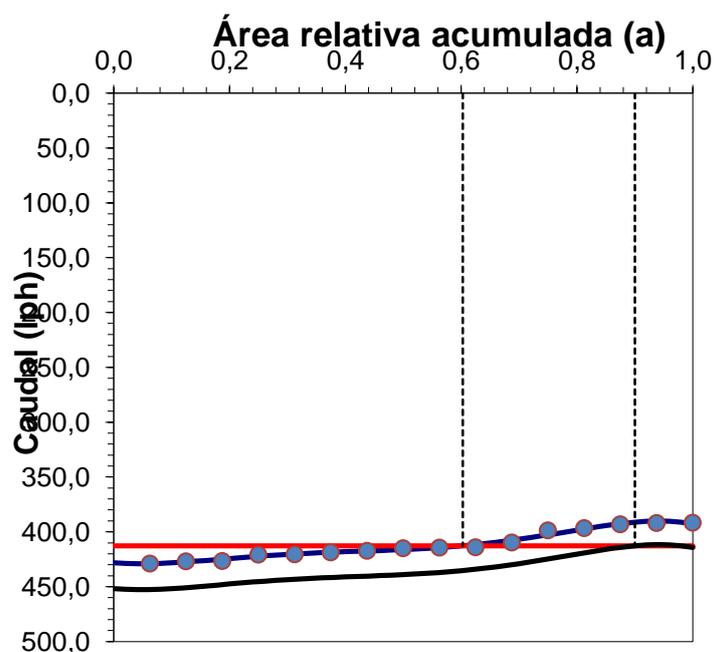
7. Medrado, E., Lima, J., Juscelino de Azevedo. 2009. «Presentación y selección de una función polinómica para evaluación de la irrigación.» *Revista Brasileña de Ingeniería Agrícola y Ambiental*: 13.
8. Mohammadpour Zarandi, M.E., Heydari, N., Rostampour, S. (2012). "An empirical method to measure the relative efficiency of irrigation methods in agricultural industry", [en línea] *Management Science Letters*, ISSN-19239335, 19239343, DOI-10.5267/j.msl.2011.08.011, 2(1): 279-284.
9. Mortero, J, 2000. Análisis de la distribución de agua en sistema de riego por aspersión estacionario. Desarrollo del modelo de simulación de riego por aspersión (SIRIAS), Unión de Castilla – La Mancha, España, pág. 14.
10. Nin, R. 2008. Tecnología del Riego por Aspersión Estacionario, Calibración y Validación de un Modelo de Simulación. Castilla - La Mancha: Tesis Doctoral.
11. Orson, W., Israelsen, V. E. (1985). Principios y aplicaciones del riego. Madrid: reverté s.a.
12. Pacheco, J., Alonso, N., Pujol, P. and Camejo, E. (2006). Riego y Drenaje. La Habana, Cuba.
13. Rázuri, L. (2011). «Manejo y Programación del Riego.» Curso de Manejo y Programación del Riego para Maestría en Riego y Drenaje. Guayaquil: CIDIAT.
14. Revila, F. s.f. «Riego por Aspersión.» Castilla-La Mancha.
15. Santos Pereira, L., De Juan Valero, J.A., Tarjuelo, J.M. (2010). El Riego y sus Tecnologías, Ed. CREA-UCLM, Centro Regional de Estudios del Agua, Universidad de Castilla-La Mancha, 1a Edición en castellano ed., pp. 269, ISBN-13:978-84-692-9979-1, Albacete, España.

16. Tarjuelo, J. M. (1992). El riego por aspersión: Diseño y Funcionamiento. Madrid: Mundi Prensa.
17. Tarjuelo, J. M. (2005). El riego por aspersión y su tecnología. Madrid: Mundi Prensa.
18. Yacoubi, S., Zayani, K., Slatni, A., Playán, E. (2012). "Assessing Sprinkler Irrigation Performance Using Field Evaluations at the Medjerda Lower Valley of Tunisia", *[en línea] Engineering*, ISSN-1947-3931, 1947-394X, DOI-10.4236/eng.2012.410087, 04(10): 682-691.
19. Yoandris García Hidalgo, C. B. (2013). Índice simplificado de gestión de la cuenca del río Naranjo, municipio Majibacoa, provincia Las Tunas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 5.
20. Zuñiga, E. (2004). Diseño y evaluación del riego a presión. Universidad de Costa Rica. San José.

# ANEXOS

**Cuadro 8:** Evaluación de desempeño del sistema de riego a 20 PSI R1

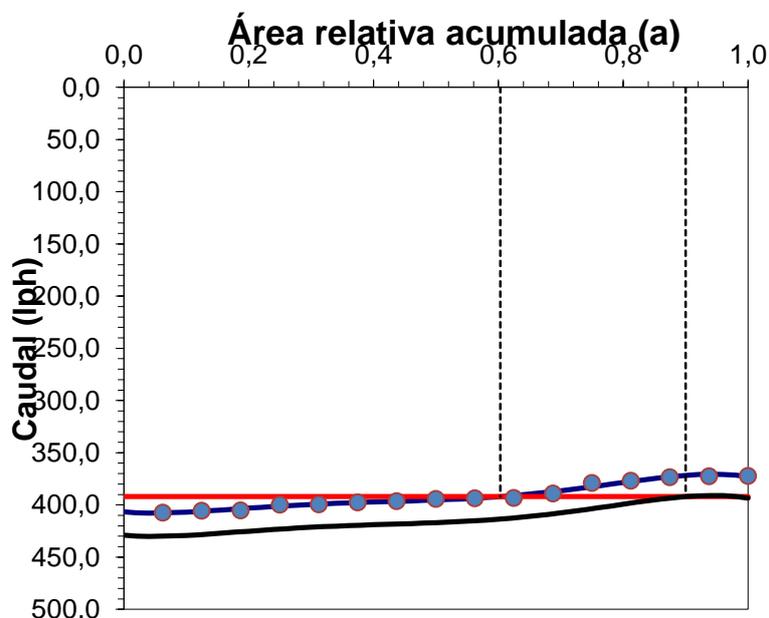
Parámetros del modelo (Constantes del polinomio)					
A	B	C	D	E	F
428,2007693	47,15944679	-631,43792	1931,202972	-2431,23954	1048,820518
Orden	Áreas representativas		Caudales (lph) medidos	RESULTADOS	
	Individual	Acumulada		$a_{LR} =$	<b>0,90</b>
I	$a_i$	A	$X_i$	$V_a = \bar{X} =$	<b>412,657</b>
1	0,0625	0,063	429,00	$aL =$	<b>0,5283</b>
2	0,0625	0,125	427,00	$ \bar{D}  =$	<b>10,5346</b>
3	0,0625	0,188	426,66	CUC=	<b>97,45</b>
4	0,0625	0,250	420,71	$\bar{X}_q =$	<b>394,22</b>
5	0,0625	0,313	420,45	CUD=	<b>95,55</b>
6	0,0625	0,375	418,58	$\bar{X}_R = V_{AR} =$	<b>435,28</b>
7	0,0625	0,438	417,23	$F_i =$	<b>1,055</b>
8	0,0625	0,500	415,00	$V_{ER} =$	<b>22,671</b>
9	0,0625	0,563	414,45	$V_{UR} =$	<b>412,612</b>
10	0,0625	0,625	414,00	Ea=	<b>94,79</b>
11	0,0625	0,688	409,56		
12	0,0625	0,750	398,76		
13	0,0625	0,813	396,70		
14	0,0625	0,875	393,16		
15	0,0625	0,938	392,00		
16	0,0625	1,000	391,77		



Fuente: Elaborado por el autor en la plantilla de Medrado 2009.

**Cuadro 9:** Evaluación de desempeño del sistema de riego 20 PSI R2

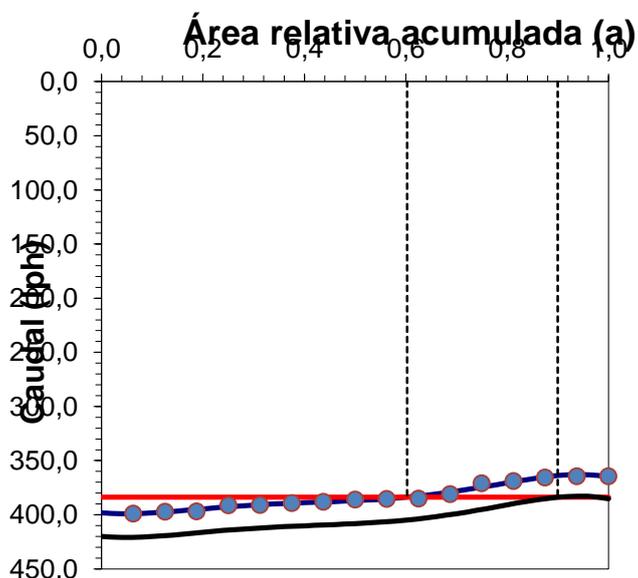
Parámetros del modelo (Constantes del polinomio)					
A	B	C	D	E	F
406,7907	44,8014744	-599,86603	1834,642823	-2309,67756	996,379492
Orden	Áreas representativas		Caudales (lph) medidos	RESULTADOS	
	Individual	Acumulada		$a_{LR} =$	<b>0,90</b>
I	$a_i$	A	$X_i$	$V_a = \bar{X} =$	<b>392,025</b>
				$aL =$	<b>0,5283</b>
				$ \bar{D}  =$	<b>10,0079</b>
				CUC=	<b>97,42</b>
				$\bar{X}_q =$	<b>374,51</b>
				CUD=	<b>95,53</b>
				$\bar{X}_R = V_{AR} =$	<b>413,52</b>
				$F_i =$	<b>1,055</b>
				$V_{ER} =$	<b>21,537</b>
				$V_{UR} =$	<b>391,981</b>
				$Ea =$	<b>94,76</b>
1	0,0625	0,063	407,55		
2	0,0625	0,125	405,65		
3	0,0625	0,188	405,33		
4	0,0625	0,250	399,67		
5	0,0625	0,313	399,43		
6	0,0625	0,375	397,65		
7	0,0625	0,438	396,37		
8	0,0625	0,500	394,25		
9	0,0625	0,563	393,73		
10	0,0625	0,625	393,30		
11	0,0625	0,688	389,08		
12	0,0625	0,750	378,82		
13	0,0625	0,813	376,87		
14	0,0625	0,875	373,50		
15	0,0625	0,938	372,40		
16	0,0625	1,000	372,18		



Fuente: Elaborado por el autor en la plantilla de Medrado 2009.

**Cuadro 10** : Evaluación de desempeño del sistema de riego 20 PSI R3

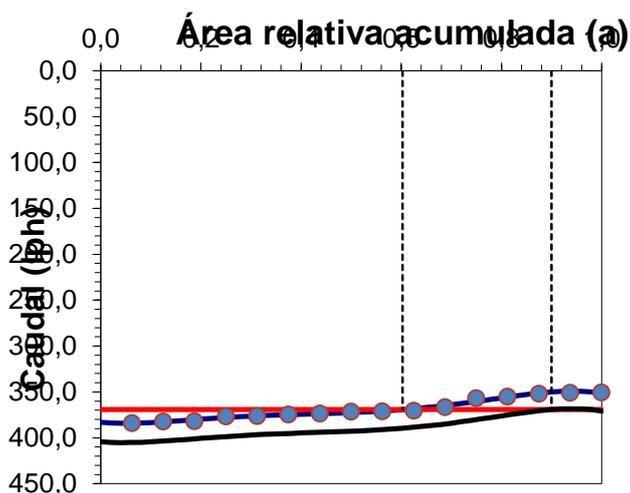
Parámetros del modelo (Constantes del polinomio)					
A	B	C	D	E	F
398,2267	43,8582855	-587,23727	1796,018764	-2261,05277	975,4030817
Orden	Áreas representativas		Caudales (lph) medidos	RESULTADOS	
	Individual	Acumulada		$a_{LR} =$	<b>0,90</b>
I	$a_i$	A	$X_i$	$V_a = \bar{X} =$	<b>383,771</b>
				$aL =$	<b>0,5283</b>
1	0,0625	0,063	398,97	$ \bar{D}  =$	<b>9,7972</b>
2	0,0625	0,125	397,11	CUC=	<b>97,43</b>
3	0,0625	0,188	396,79	$\bar{X}_q =$	<b>366,63</b>
4	0,0625	0,250	391,26	CUD=	<b>95,53</b>
5	0,0625	0,313	391,02	$\bar{X}_R = V_{AR} =$	<b>404,81</b>
6	0,0625	0,375	389,28	$F_i =$	<b>1,055</b>
7	0,0625	0,438	388,02	$V_{ER} =$	<b>21,084</b>
8	0,0625	0,500	385,95	$V_{UR} =$	<b>383,729</b>
9	0,0625	0,563	385,44	$Ea =$	<b>94,79</b>
10	0,0625	0,625	385,02		
11	0,0625	0,688	380,89		
12	0,0625	0,750	370,85		
13	0,0625	0,813	368,93		
14	0,0625	0,875	365,64		
15	0,0625	0,938	364,56		
16	0,0625	1,000	364,35		



Fuente: Elaborado por el autor en la plantilla de Medrado 2009.

**Cuadro 11:** Evaluación de desempeño del sistema de riego 20 PSI R4

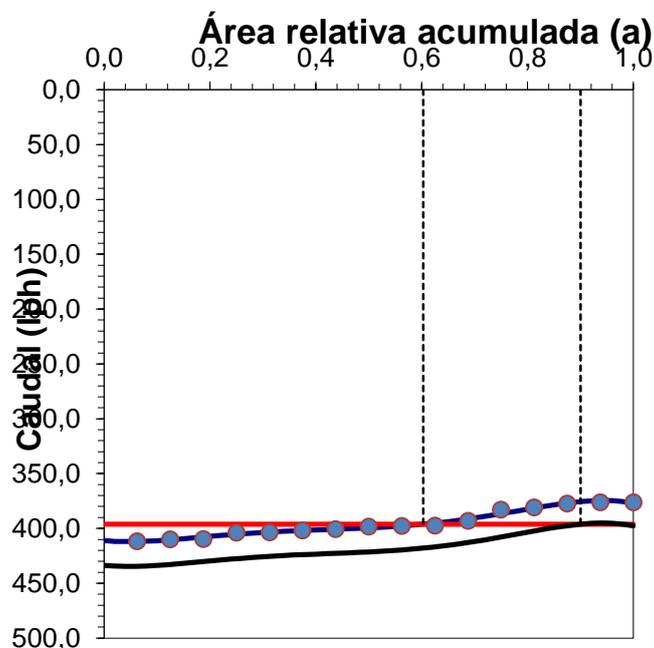
Parámetros del modelo (Constantes del polinomio)					
A	B	C	D	E	F
383,2397	42,2077049	-565,13694	1728,42666	-2175,95939	938,6943635
Orden	Áreas representativas		Caudales (lph) medidos	RESULTADOS	
	Individual	Acumulada		$a_{LR} =$	<b>0,90</b>
I	$a_i$	A	$X_i$	$V_a = \bar{X} =$	<b>369,328</b>
				$aL =$	<b>0,5283</b>
1	0,0625	0,063	383,96	$ \bar{D}  =$	<b>9,4285</b>
2	0,0625	0,125	382,17	CUC=	<b>97,45</b>
3	0,0625	0,188	381,86	$\bar{X}_q =$	<b>352,83</b>
4	0,0625	0,250	376,54	CUD=	<b>95,55</b>
5	0,0625	0,313	376,30	$\bar{X}_R = V_{AR} =$	<b>389,58</b>
6	0,0625	0,375	374,63	$F_i =$	<b>1,055</b>
7	0,0625	0,438	373,42	$V_{ER} =$	<b>20,290</b>
8	0,0625	0,500	371,43	$V_{UR} =$	<b>369,288</b>
9	0,0625	0,563	370,93	$Ea =$	<b>94,77</b>
10	0,0625	0,625	370,53		
11	0,0625	0,688	366,56		
12	0,0625	0,750	356,89		
13	0,0625	0,813	355,05		
14	0,0625	0,875	351,88		
15	0,0625	0,938	350,84		
16	0,0625	1,000	350,63		



Fuente: Elaborado por el autor en la plantilla de Medrado 2009.

**Cuadro 12:** Evaluación de desempeño del sistema de riego 20 PSI R5

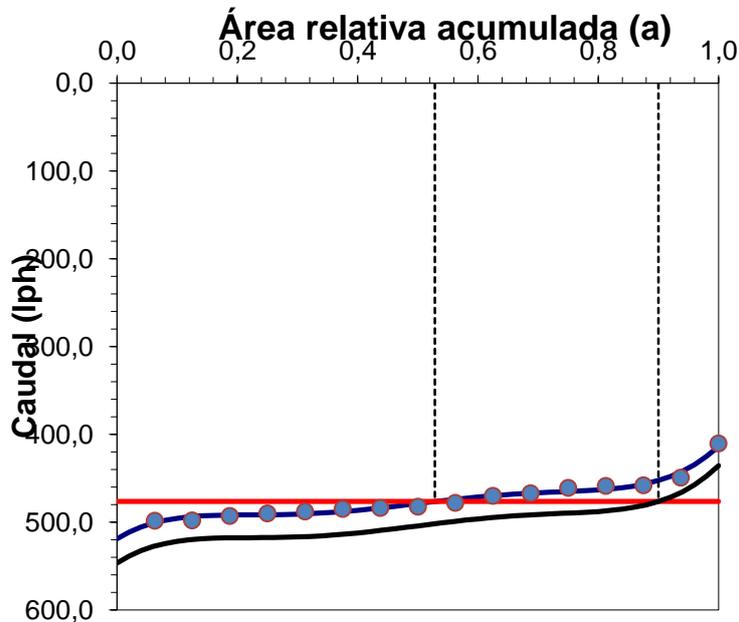
Parámetros del modelo (Constantes del polinomio)					
A	B	C	D	E	F
411,0727	45,2730689	-606,18041	1853,954853	-2333,98996	1006,867697
Orden	Áreas representativas		Caudales (lph) medidos	RESULTADOS	
	Individual	Acumulada		$a_{LR} =$	<b>0,90</b>
I	$a_i$	A	$X_i$	$V_a = \bar{X} =$	<b>396,151</b>
				$aL =$	<b>0,5283</b>
1	0,0625	0,063	411,84	$ \bar{D}  =$	<b>10,1132</b>
2	0,0625	0,125	409,92	CUC=	<b>97,41</b>
3	0,0625	0,188	409,59	$\bar{X}_q =$	<b>378,45</b>
4	0,0625	0,250	403,88	CUD=	<b>95,54</b>
5	0,0625	0,313	403,63	$\bar{X}_R = V_{AR} =$	<b>417,87</b>
6	0,0625	0,375	401,84	$F_i =$	<b>1,055</b>
7	0,0625	0,438	400,54	$V_{ER} =$	<b>21,764</b>
8	0,0625	0,500	398,40	$V_{UR} =$	<b>396,108</b>
9	0,0625	0,563	397,87	$Ea =$	<b>94,79</b>
10	0,0625	0,625	397,44		
11	0,0625	0,688	393,18		
12	0,0625	0,750	382,81		
13	0,0625	0,813	380,83		
14	0,0625	0,875	377,43		
15	0,0625	0,938	376,32		
16	0,0625	1,000	376,10		



**Fuente:** Elaborado por el autor en la plantilla de Medrado 2009.

**Cuadro 13:** Evaluación de desempeño del sistema de riego 25 PSI R1

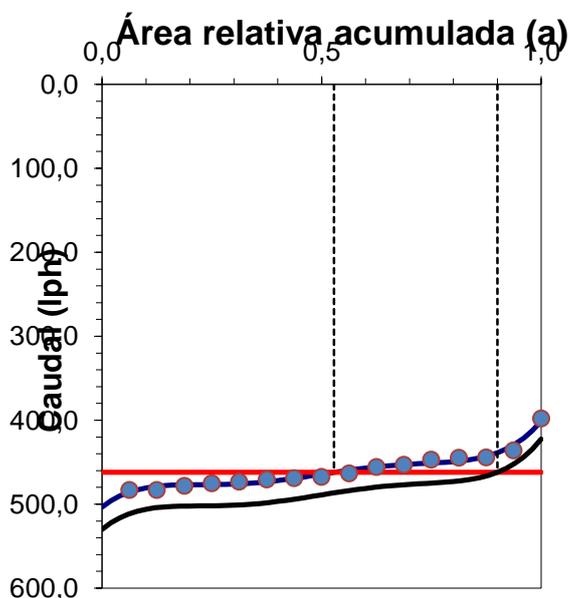
Parámetros del modelo (Constantes del polinomio)					
A	B	C	D	E	F
518,85	-421,775898	2445,57368	-6427,839111	7312,811825	-3014,021294
Orden	Áreas representativas		Caudales (lph) medidos	RESULTADOS	
	Individual	Acumulada		$a_{LR} =$	<b>0,90</b>
I	$a_i$	A	$X_i$	$V_a = \bar{X} =$	<b>476,419</b>
				$aL =$	<b>0,6028</b>
1	0,0625	0,063	498,09	$ \bar{D}  =$	<b>15,6924</b>
2	0,0625	0,125	497,90	CUC=	<b>96,73</b>
3	0,0625	0,188	492,87	$\bar{X}_q =$	<b>451,13</b>
4	0,0625	0,250	490,00	CUD=	<b>94,67</b>
5	0,0625	0,313	487,78	$\bar{X}_R = V_{AR} =$	<b>501,65</b>
6	0,0625	0,375	485,00	$F_i =$	<b>1,053</b>
7	0,0625	0,438	483,58	$V_{ER} =$	<b>26,901</b>
8	0,0625	0,500	482,12	$V_{UR} =$	<b>474,748</b>
9	0,0625	0,563	477,76	$Ea =$	<b>94,64</b>
10	0,0625	0,625	469,89		
11	0,0625	0,688	467,00		
12	0,0625	0,750	460,87		
13	0,0625	0,813	458,55		
14	0,0625	0,875	458,00		
15	0,0625	0,938	449,33		
16	0,0625	1,000	410,24		



Fuente: Elaborado por el autor en la plantilla de Medrado 2009.

**Cuadro 14:** Evaluación de desempeño del sistema de riego 25 PSI R2

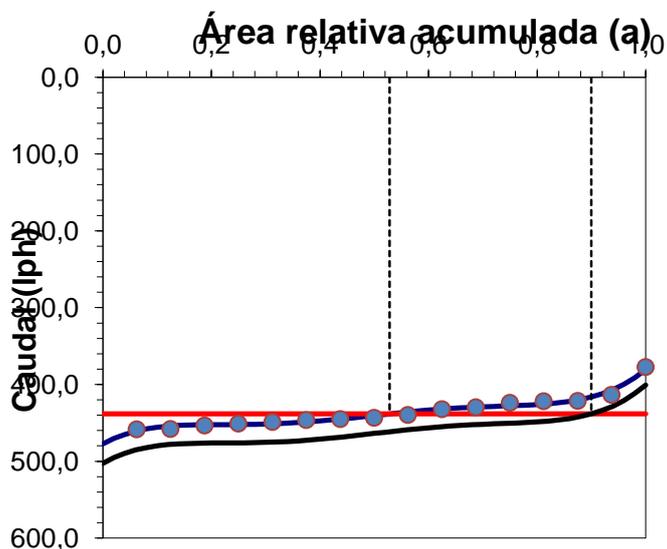
Parámetros del modelo (Constantes del polinomio)					
A	B	C	D	E	F
503,2845	-409,122621	2372,20647	-6235,003938	7093,427471	-2923,600655
Orden	Áreas representativas		Caudales (lph) medidos	RESULTADOS	
	Individual	Acumulada		$a_{LR} =$	<b>0,90</b>
I	$a_i$	A	$X_i$	$V_a = \bar{X} =$	<b>462,126</b>
				$aL =$	<b>0,6028</b>
1	0,0625	0,063	483,15	$ \bar{D}  =$	<b>15,2217</b>
2	0,0625	0,125	482,96	CUC=	<b>96,71</b>
3	0,0625	0,188	478,08	$\bar{X}_q =$	<b>437,59</b>
4	0,0625	0,250	475,30	CUD=	<b>94,69</b>
5	0,0625	0,313	473,15	$\bar{X}_R = V_{AR} =$	<b>486,60</b>
6	0,0625	0,375	470,45	$F_i =$	<b>1,053</b>
7	0,0625	0,438	469,07	$V_{ER} =$	<b>26,094</b>
8	0,0625	0,500	467,66	$V_{UR} =$	<b>460,506</b>
9	0,0625	0,563	463,43	$Ea =$	<b>94,64</b>
10	0,0625	0,625	455,79		
11	0,0625	0,688	452,99		
12	0,0625	0,750	447,04		
13	0,0625	0,813	444,79		
14	0,0625	0,875	444,26		
15	0,0625	0,938	435,85		
16	0,0625	1,000	397,93		



Fuente: Elaborado por el autor en la plantilla de Medrado 2009.

**Cuadro 15:** Evaluación de desempeño del sistema de riego 25 PSI R3

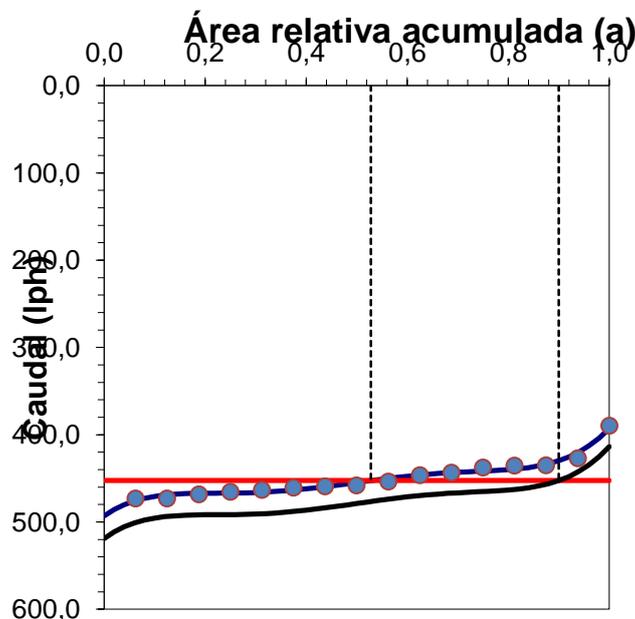
Parámetros del modelo (Constantes del polinomio)					
A	B	C	D	E	F
477,342	-388,033826	2249,92779	-5913,611982	6727,786879	-2772,89959
Orden	Áreas representativas		Caudales (lph) medidos	RESULTADOS	
	Individual	Acumulada		$a_{LR} =$	<b>0,90</b>
I	$a_i$	A	$X_i$	$V_a = \bar{X} =$	<b>438,305</b>
				$aL =$	<b>0,6028</b>
1	0,0625	0,063	458,24	$ \bar{D}  =$	<b>14,4370</b>
2	0,0625	0,125	458,07	CUC=	<b>96,71</b>
3	0,0625	0,188	453,44	$\bar{X}_q =$	<b>415,04</b>
4	0,0625	0,250	450,80	CUD=	<b>94,68</b>
5	0,0625	0,313	448,76	$\bar{X}_R = V_{AR} =$	<b>461,52</b>
6	0,0625	0,375	446,20	$F_i =$	<b>1,053</b>
7	0,0625	0,438	444,89	$V_{ER} =$	<b>24,749</b>
8	0,0625	0,500	443,55	$V_{UR} =$	<b>436,768</b>
9	0,0625	0,563	439,54	$Ea =$	<b>94,62</b>
10	0,0625	0,625	432,30		
11	0,0625	0,688	429,64		
12	0,0625	0,750	424,00		
13	0,0625	0,813	421,87		
14	0,0625	0,875	421,36		
15	0,0625	0,938	413,38		
16	0,0625	1,000	377,42		



Fuente: Elaborado por el autor en la plantilla de Medrado 2009.

**Cuadro 16:** Evaluación de desempeño del sistema de riego 25 PSI R4

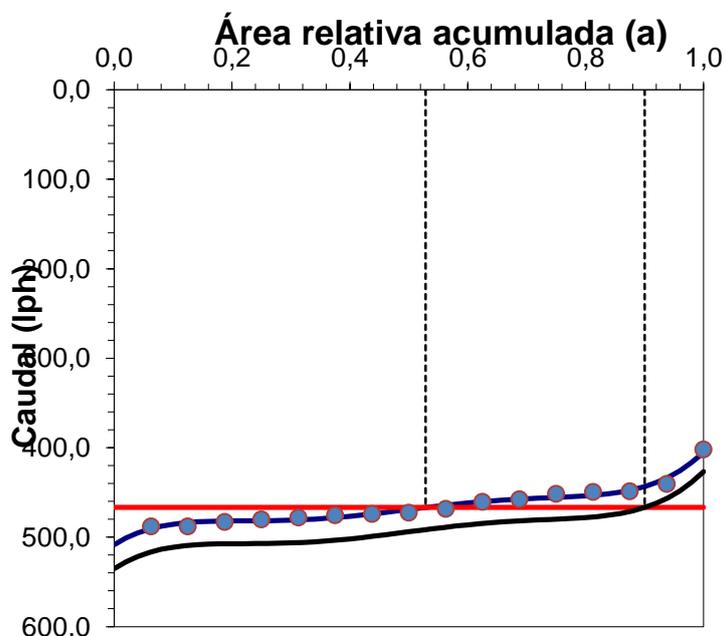
Parámetros del modelo (Constantes del polinomio)					
A	B	C	D	E	F
492,9075	-400,687103	2323,295	-6106,447156	6947,171234	-2863,320229
Orden	Áreas representativas		Caudales (lph) medidos	RESULTADOS	
	Individual	Acumulada		$a_{LR} =$	<b>0,90</b>
I	$a_i$	A	$X_i$	$V_a = \bar{X} =$	<b>452,598</b>
				$aL =$	<b>0,6028</b>
1	0,0625	0,063	473,19	$ \bar{D}  =$	<b>14,9078</b>
2	0,0625	0,125	473,01	CUC=	<b>96,72</b>
3	0,0625	0,188	468,23	$\bar{X}_q =$	<b>428,57</b>
4	0,0625	0,250	465,50	CUD=	<b>94,69</b>
5	0,0625	0,313	463,39	$\bar{X}_R = V_{AR} =$	<b>476,57</b>
6	0,0625	0,375	460,75	$F_i =$	<b>1,053</b>
7	0,0625	0,438	459,40	$V_{ER} =$	<b>25,556</b>
8	0,0625	0,500	458,01	$V_{UR} =$	<b>451,011</b>
9	0,0625	0,563	453,87	$Ea =$	<b>94,64</b>
10	0,0625	0,625	446,40		
11	0,0625	0,688	443,65		
12	0,0625	0,750	437,83		
13	0,0625	0,813	435,62		
14	0,0625	0,875	435,10		
15	0,0625	0,938	426,86		
16	0,0625	1,000	389,73		



**Fuente:** Elaborado por el autor en la plantilla de Medrado 2009.

**Cuadro 17:** Evaluación de desempeño del sistema de riego 25 PSI R5

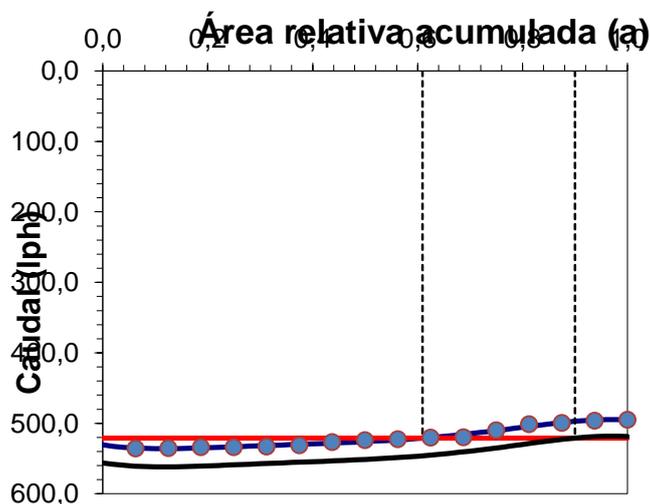
Parámetros del modelo (Constantes del polinomio)					
A	B	C	D	E	F
508,473	-413,34038	2396,66221	-6299,282329	7166,555589	-2953,740868
Orden	Áreas representativas		Caudales (lph) medidos	RESULTADOS	
	Individual	Acumulada		$a_{LR} =$	<b>0,90</b>
I	$a_i$	A	$X_i$	$V_a = \bar{X} =$	<b>466,891</b>
				$aL =$	<b>0,6028</b>
1	0,0625	0,063	488,13	$ \bar{D}  =$	<b>15,3786</b>
2	0,0625	0,125	487,94	CUC= <b>96,71</b>	
3	0,0625	0,188	483,01	$\bar{X}_q =$	<b>442,10</b>
4	0,0625	0,250	480,20	CUD= <b>94,66</b>	
5	0,0625	0,313	478,02	$\bar{X}_R = V_{AR} =$	<b>491,62</b>
6	0,0625	0,375	475,30	$F_i =$	<b>1,053</b>
7	0,0625	0,438	473,91	$V_{ER} =$	<b>26,363</b>
8	0,0625	0,500	472,48	$V_{UR} =$	<b>465,253</b>
9	0,0625	0,563	468,20	$Ea =$	<b>94,62</b>
10	0,0625	0,625	460,49		
11	0,0625	0,688	457,66		
12	0,0625	0,750	451,65		
13	0,0625	0,813	449,38		
14	0,0625	0,875	448,84		
15	0,0625	0,938	440,34		
16	0,0625	1,000	402,04		



Fuente: Elaborado por el autor en la plantilla de Medrado 2009.

**Cuadro 18:** Evaluación de desempeño del sistema de riego 30 PSI R1

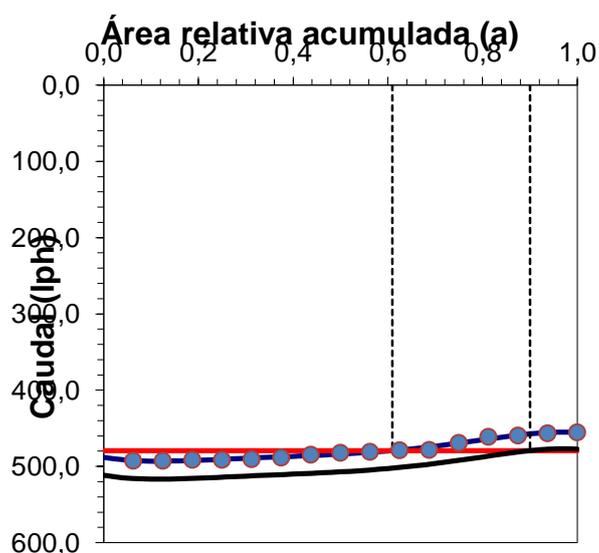
Parámetros del modelo (Constantes del polinomio)					
A	B	C	D	E	F
530,6855	109,574043	-741,11515	1864,360695	-2163,59811	895,1176058
Orden	Áreas representativas		Caudales (lph) medidos	RESULTADOS	
	Individual	Acumulada		$a_{LR} =$	<b>0,90</b>
I	$a_i$	A	$X_i$	$V_a = \bar{X} =$	<b>520,991</b>
				$aL =$	<b>0,6095</b>
1	0,0625	0,063	535,60	$ \bar{D}  =$	<b>11,7996</b>
2	0,0625	0,125	535,20	CUC=	<b>97,73</b>
3	0,0625	0,188	533,98	$\bar{X}_q =$	<b>500,16</b>
4	0,0625	0,250	533,88	CUD=	<b>96,04</b>
5	0,0625	0,313	533,00	$\bar{X}_R = V_{AR} =$	<b>545,99</b>
6	0,0625	0,375	531,00	$F_i =$	<b>1,048</b>
7	0,0625	0,438	526,67	$V_{ER} =$	<b>25,201</b>
8	0,0625	0,500	524,00	$V_{UR} =$	<b>520,786</b>
9	0,0625	0,563	522,44	$Ea =$	<b>95,34</b>
10	0,0625	0,625	520,46		
11	0,0625	0,688	519,80		
12	0,0625	0,750	509,94		
13	0,0625	0,813	501,45		
14	0,0625	0,875	499,34		
15	0,0625	0,938	496,22		
16	0,0625	1,000	494,69		



Fuente: Elaborado por el autor en la plantilla de Medrado 2009.

**Cuadro 19:** Evaluación de desempeño del sistema de riego 30 PSI R2

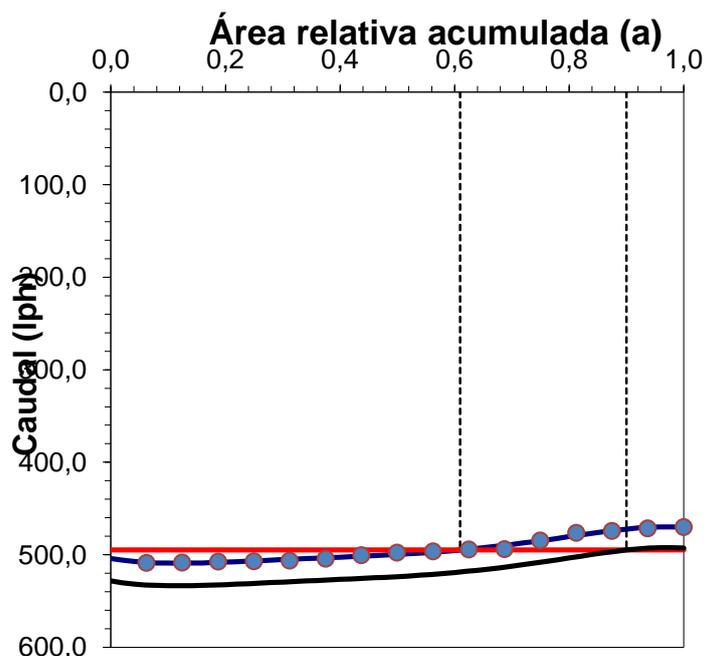
Parámetros del modelo (Constantes del polinomio)					
A	B	C	D	E	F
488,2306	100,80812	-681,82594	1715,211839	-1990,51026	823,5081972
Orden	Áreas representativas		Caudales (lph) medidos	RESULTADOS	
	Individual	Acumulada		$a_{LR} =$	<b>0,90</b>
I	$a_i$	A	$X_i$	$V_a = \bar{X} =$	<b>479,312</b>
				$aL =$	<b>0,6095</b>
1	0,0625	0,063	492,75	$ \bar{D}  =$	<b>10,8556</b>
2	0,0625	0,125	492,38	CUC= $\bar{X}_q =$	<b>97,72</b>
3	0,0625	0,188	491,26	CUD= $\bar{X}_R = V_{AR} =$	<b>96,02</b>
4	0,0625	0,250	491,17	$F_i =$	<b>502,31</b>
5	0,0625	0,313	490,36	$V_{ER} =$	<b>1,048</b>
6	0,0625	0,375	488,52	$V_{UR} =$	<b>23,185</b>
7	0,0625	0,438	484,54	$Ea =$	<b>479,123</b>
8	0,0625	0,500	482,08		<b>95,36</b>
9	0,0625	0,563	480,64		
10	0,0625	0,625	478,82		
11	0,0625	0,688	478,22		
12	0,0625	0,750	469,14		
13	0,0625	0,813	461,33		
14	0,0625	0,875	459,39		
15	0,0625	0,938	456,52		
16	0,0625	1,000	455,11		



Fuente: Elaborado por el autor en la plantilla de Medrado 2009.

**Cuadro 20:** Evaluación de desempeño del sistema de riego 30 PSI R3

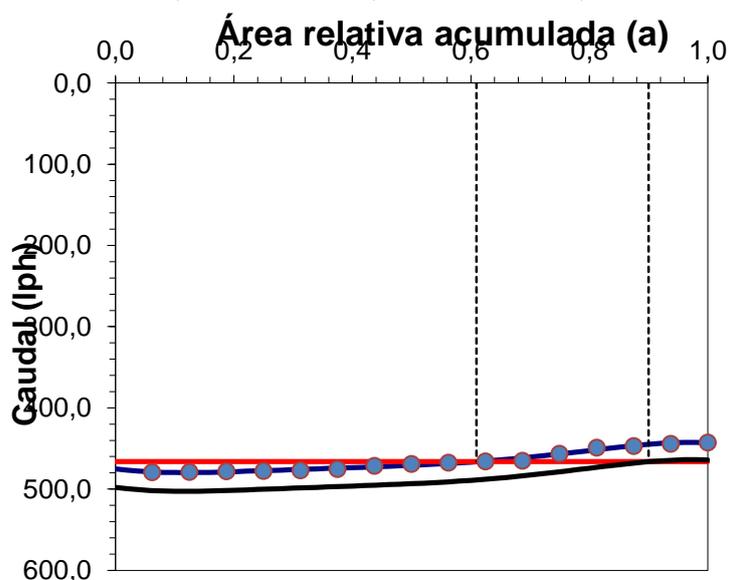
Parámetros del modelo (Constantes del polinomio)					
A	B	C	D	E	F
504,1512	104,095341	-704,0594	1771,14266	-2055,41821	850,3617254
Orden	Áreas representativas		Caudales (lph) medidos	RESULTADOS	
	Individual	Acumulada		$a_{LR} =$	<b>0,90</b>
I	$a_i$	A	$X_i$	$V_a = \bar{X} =$	<b>494,941</b>
1	0,0625	0,063	508,82	$aL =$	<b>0,6095</b>
2	0,0625	0,125	508,44	$ \bar{D}  =$	<b>11,2096</b>
3	0,0625	0,188	507,28	CUC=	<b>97,74</b>
4	0,0625	0,250	507,19	$\bar{X}_q =$	<b>475,15</b>
5	0,0625	0,313	506,35	CUD=	<b>96,01</b>
6	0,0625	0,375	504,45	$\bar{X}_R = V_{AR} =$	<b>518,69</b>
7	0,0625	0,438	500,34	$F_i =$	<b>1,048</b>
8	0,0625	0,500	497,80	$V_{ER} =$	<b>23,941</b>
9	0,0625	0,563	496,32	$V_{UR} =$	<b>494,747</b>
10	0,0625	0,625	494,44	$Ea =$	<b>95,38</b>
11	0,0625	0,688	493,81		
12	0,0625	0,750	484,44		
13	0,0625	0,813	476,38		
14	0,0625	0,875	474,37		
15	0,0625	0,938	471,41		
16	0,0625	1,000	469,96		



Fuente: Elaborado por el autor en la plantilla de Medrado 2009.

**Cuadro 21:** Evaluación de desempeño del sistema de riego 30 PSI R4

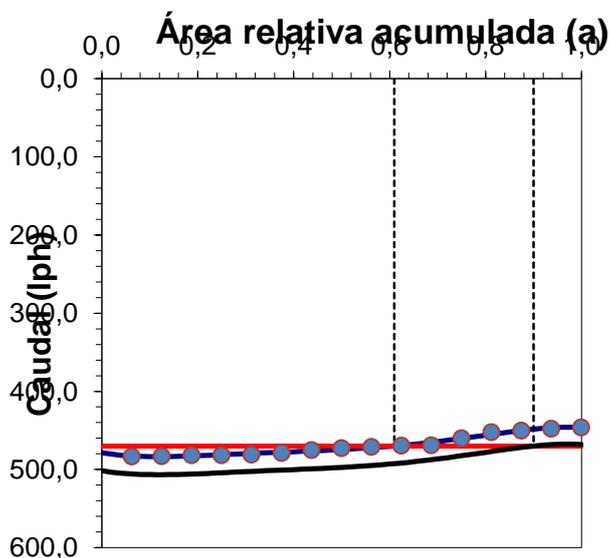
Parámetros del modelo (Constantes del polinomio)					
A	B	C	D	E	F
474,9635	98,0687688	-663,29806	1668,602822	-1936,42031	801,1302572
Orden	Áreas representativas		Caudales (lph) medidos	RESULTADOS	
	Individual	Acumulada		$a_{LR} =$	<b>0,90</b>
I	$a_i$	A	$X_i$	$V_a = \bar{X} =$	<b>466,287</b>
1	0,0625	0,063	479,36	$aL =$	<b>0,6095</b>
2	0,0625	0,125	479,00	$ \bar{D}  =$	<b>10,5607</b>
3	0,0625	0,188	477,91	CUC=	<b>97,74</b>
4	0,0625	0,250	477,82	$\bar{X}_q =$	<b>447,64</b>
5	0,0625	0,313	477,04	CUD=	<b>96,00</b>
6	0,0625	0,375	475,25	$\bar{X}_R = V_{AR} =$	<b>488,66</b>
7	0,0625	0,438	471,37	$F_i =$	<b>1,048</b>
8	0,0625	0,500	468,98	$V_{ER} =$	<b>22,555</b>
9	0,0625	0,563	467,58	$V_{UR} =$	<b>466,104</b>
10	0,0625	0,625	465,81	$Ea =$	<b>95,38</b>
11	0,0625	0,688	465,22		
12	0,0625	0,750	456,40		
13	0,0625	0,813	448,80		
14	0,0625	0,875	446,91		
15	0,0625	0,938	444,12		
16	0,0625	1,000	442,75		



Fuente: Elaborado por el autor en la plantilla de Medrado 2009.

**Cuadro 22:** Evaluación de desempeño del sistema de riego 30 PSI R5

Parámetros del modelo (Constantes del polinomio)					
A	B	C	D	E	F
478,6783	98,8357871	-668,48587	1681,653347	-1951,5655	807,3960804
Orden	Áreas representativas		Caudales (lph) medidos	RESULTADOS	
	Individual	Acumulada		$a_{LR} =$	<b>0,90</b>
I	$a_i$	A	$X_i$	$V_a = \bar{X} =$	<b>469,934</b>
				$aL =$	<b>0,6095</b>
1	0,0625	0,063	483,11	$ \bar{D}  =$	<b>10,6433</b>
2	0,0625	0,125	482,75	CUC=	<b>97,71</b>
3	0,0625	0,188	481,65	$\bar{X}_q =$	<b>451,14</b>
4	0,0625	0,250	481,56	CUD=	<b>96,02</b>
5	0,0625	0,313	480,77	$\bar{X}_R = V_{AR} =$	<b>492,48</b>
6	0,0625	0,375	478,96	$F_i =$	<b>1,048</b>
7	0,0625	0,438	475,06	$V_{ER} =$	<b>22,731</b>
8	0,0625	0,500	472,65	$V_{UR} =$	<b>469,749</b>
9	0,0625	0,563	471,24	$Ea =$	<b>95,37</b>
10	0,0625	0,625	469,45		
11	0,0625	0,688	468,86		
12	0,0625	0,750	459,97		
13	0,0625	0,813	452,31		
14	0,0625	0,875	450,40		
15	0,0625	0,938	447,59		
16	0,0625	1,000	446,21		



Fuente: Elaborado por el autor en la plantilla de Medrado 2009.

## Datos Observados 20 PSI R1

**Cuadro 23:** Caudales colectados durante el ensayo

# pluviómetros	Caudales (L/h)
1	398,97
2	397,11
3	396,79
4	391,26
5	391,02
6	389,28
7	388,02
8	385,95
9	385,44
10	385,02
11	380,89
12	370,85
13	368,93
14	365,64
15	364,56
16	364,35

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum |d|}{M * n} \right)$$

$$CUC = 97,34$$

$$UD_{25\%} = \frac{Q_{25\%}}{Q_{\bar{x}}} * 100$$

$$UD = 95,59$$

## Datos Observados 20 PSI R2

**Cuadro 24:** Caudales colectados durante el ensayo

# pluviómetros	Caudales (L/h)
1	407,55
2	405,65
3	405,33
4	399,67
5	399,43
6	397,65
7	396,37
8	394,25
9	393,73
10	393,30
11	389,08
12	378,82
13	376,87
14	373,50
15	372,40
16	372,18

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum |d|}{M * n} \right)$$

$$CUC = 97,34$$

$$UD_{25\%} = \frac{Q_{25\%}}{Q_{\bar{x}}} * 100$$

$$UD = 95,59$$

## Datos Observados 20 PSI R3

**Cuadro 25:** Caudales colectados durante el ensayo

# pluviómetros	Caudales (L/h)
1	398,97
2	397,11
3	396,79
4	391,26
5	391,02
6	389,28
7	388,02
8	385,95
9	385,44
10	385,02
11	380,89
12	370,85
13	368,93
14	365,64
15	364,56
16	364,35

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum |d|}{M * n} \right)$$

$$CUC = 97,34$$

$$UD_{25\%} = \frac{Q_{25\%}}{Q_{\bar{x}}} * 100$$

$$UD = 95,59$$

## Datos Observados 20 PSI R4

**Cuadro 26:** Caudales colectados durante el ensayo

# pluviómetros	Caudales (L/h)
1	383,96
2	382,17
3	381,86
4	376,54
5	376,30
6	374,63
7	373,42
8	371,43
9	370,93
10	370,53
11	366,56
12	356,89
13	355,05
14	351,88
15	350,84
16	350,63

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum |d|}{M * n} \right)$$

$$CUC = 97,34$$

$$UD_{25\%} = \frac{Q_{25\%}}{Q_{\bar{x}}} * 100$$

$$UD = 95,59$$

## Datos Observados 20 PSI R5

**Cuadro 27:** Caudales colectados durante el ensayo

# pluviómetros	Caudales (L/h)
1	411,84
2	409,92
3	409,59
4	403,88
5	403,63
6	401,84
7	400,54
8	398,40
9	397,87
10	397,44
11	393,18
12	382,81
13	380,83
14	377,43
15	376,32
16	376,10

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum |d|}{M * n} \right)$$

$$CUC = 97,34$$

$$UD_{25\%} = \frac{Q_{25\%}}{Q_x} * 100$$

$$UD = 95,59$$

## Datos Observados 25 PSI R1

**Cuadro 28:** Caudales colectados durante el ensayo

# pluviómetros	Caudales (L/h)
1	498,09
2	497,90
3	492,87
4	490,00
5	487,78
6	485,00
7	483,58
8	482,12
9	477,76
10	469,89
11	467,00
12	460,87
13	458,55
14	458,00
15	449,33
16	410,24

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum |d|}{M * n} \right)$$

$$CUC = 96,37$$

$$UD_{25\%} = \frac{Q_{25\%} * 100}{Q_{\bar{x}}}$$

$$UD = 93,86$$

## Datos Observados 25 PSI R2

**Cuadro 29:** Caudales colectados durante el ensayo

# pluviómetros	Caudales (L/h)
1	483,15
2	482,96
3	478,08
4	475,30
5	473,15
6	470,45
7	469,07
8	467,66
9	463,43
10	455,79
11	452,99
12	447,04
13	444,79
14	444,26
15	435,85
16	397,93

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum |d|}{M * n} \right)$$

$$CUC = 96,37$$

$$UD_{25\%} = \frac{Q_{25\%}}{Q_{\bar{x}}} * 100$$

$$UD = 93,86$$

## Datos Observados 25 PSI R3

**Cuadro 30:** Caudales colectados durante el ensayo

# pluviómetros	Caudales (L/h)
1	458,24
2	458,07
3	453,44
4	450,80
5	448,76
6	446,20
7	444,89
8	443,55
9	439,54
10	432,30
11	429,64
12	424,00
13	421,87
14	421,36
15	413,38
16	377,42

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum |d|}{M * n} \right)$$

$$CUC = 96,37$$

$$UD_{25\%} = \frac{Q_{25\%}}{Q_{\bar{x}}} * 100$$

$$UD = 93,86$$

## Datos Observados 25 PSI R4

**Cuadro 31:** Caudales colectados durante el ensayo

# pluviómetros	Caudales (L/h)
1	473,19
2	473,01
3	468,23
4	465,50
5	463,39
6	460,75
7	459,40
8	458,01
9	453,87
10	446,40
11	443,65
12	437,83
13	435,62
14	435,10
15	426,86
16	389,73

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum |d|}{M * n} \right)$$

$$CUC = 96,37$$

$$UD_{25\%} = \frac{q_{25\%}}{q_{\bar{x}}} * 100$$

$$UD = 93,86$$

## Datos Observados 25 PSI R5

**Cuadro 32:** Caudales colectados durante el ensayo

# pluviómetros	Caudales (L/h)
1	488,13
2	487,94
3	483,01
4	480,20
5	478,02
6	475,30
7	473,91
8	472,48
9	468,20
10	460,49
11	457,66
12	451,65
13	449,38
14	448,84
15	440,34
16	402,04

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum |d|}{M * n} \right)$$

$$CUC = 96,37$$

$$UD_{25\%} = \frac{Q_{25\%}}{Q_{\bar{x}}} * 100$$

$$UD = 93,86$$

## Datos Observados 30 PSI R1

**Cuadro 33:** Caudales colectados durante el ensayo

# pluviómetros	Caudales (L/h)
1	535,60
2	535,20
3	533,98
4	533,88
5	533,00
6	531,00
7	526,67
8	524,00
9	522,44
10	520,46
11	519,80
12	509,94
13	501,45
14	499,34
15	496,22
16	494,69

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum |d|}{M * n} \right)$$

CUC = **97,65**

$$UD_{25\%} = \frac{Q_{25\%}}{Q_{\bar{x}}} * 100$$

UD = **95,78**

## Datos Observados 30 PSI R2

**Cuadro 34:** Caudales colectados durante el ensayo

# pluviómetros	Caudales (L/h)
1	479,36
2	479,00
3	477,91
4	477,82
5	477,04
6	475,25
7	471,37
8	468,98
9	467,58
10	465,81
11	465,22
12	456,40
13	448,80
14	446,91
15	444,12
16	442,75

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum |d|}{M * n} \right)$$

$$CUC = 97,65$$

$$UD_{25\%} = \frac{Q_{25\%}}{Q_{\bar{x}}} * 100$$

$$UD = 95,78$$

## Datos Observados 30 PSI R3

**Cuadro 35:** Caudales colectados durante el ensayo

# pluviómetros	Caudales (L/h)
1	508,82
2	508,44
3	507,28
4	507,19
5	506,35
6	504,45
7	500,34
8	497,80
9	496,32
10	494,44
11	493,81
12	484,44
13	476,38
14	474,37
15	471,41
16	469,96

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum |d|}{M * n} \right)$$

CUC = **97,65**

$$UD_{25\%} = \frac{Q_{25\%}}{Q_{\bar{x}}} * 100$$

UD = **95,78**

## Datos Observados 30 PSI R4

**Cuadro 36:** Caudales colectados durante el ensayo

# pluviómetros	Caudales (L/h)
1	479,36
2	479,00
3	477,91
4	477,82
5	477,04
6	475,25
7	471,37
8	468,98
9	467,58
10	465,81
11	465,22
12	456,40
13	448,80
14	446,91
15	444,12
16	442,75

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum |d|}{M * n} \right)$$

CUC = **97,65**

$$UD_{25\%} = \frac{Q_{25\%}}{Q_{\bar{x}}} * 100$$

UD = **95,78**

## Datos Observados 30 PSI R5

**Cuadro 37:** Caudales colectados durante el ensayo

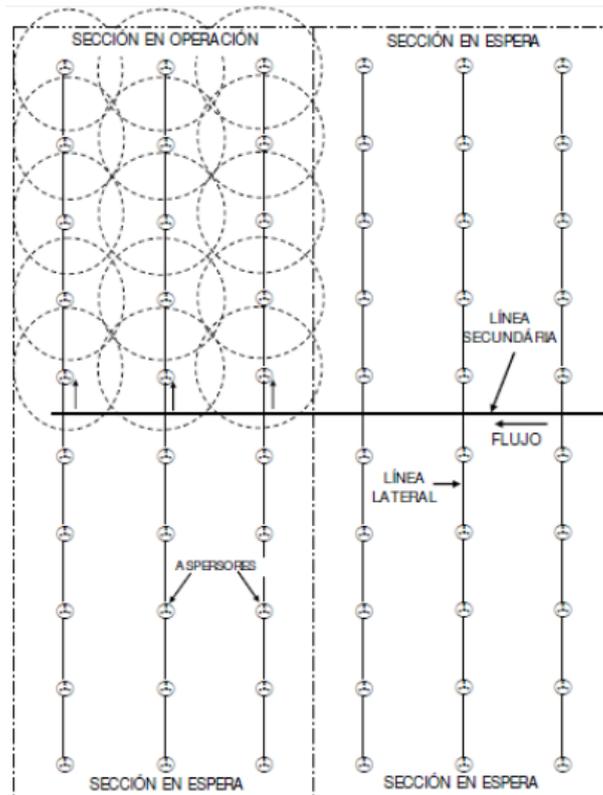
# pluviómetros	Caudales (L/h)
1	483,11
2	482,75
3	481,65
4	481,56
5	480,77
6	478,96
7	475,06
8	472,65
9	471,24
10	469,45
11	468,86
12	459,97
13	452,31
14	450,40
15	447,59
16	446,21

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum |d|}{M * n} \right)$$

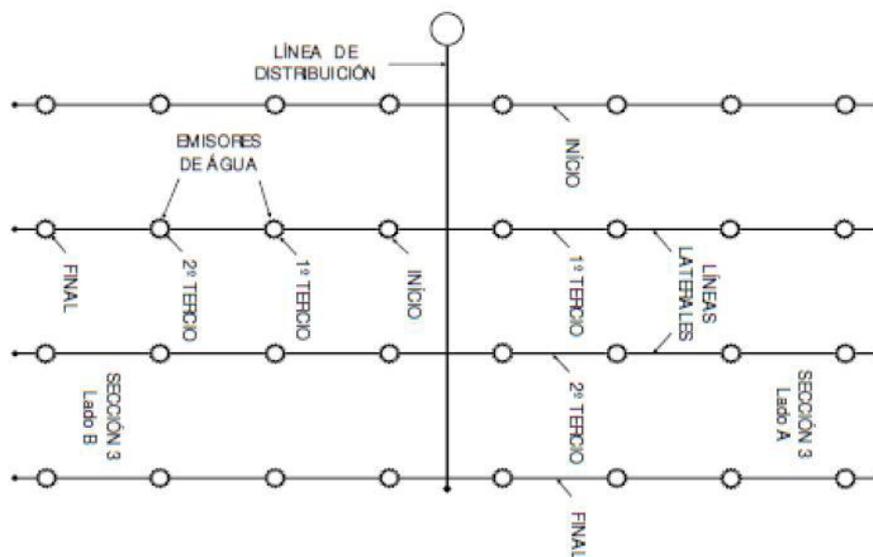
$$CUC = 97,65$$

$$UD_{25\%} = \frac{Q_{25\%}}{Q_{\bar{x}}} * 100$$

$$UD = 95,78$$



**Figura 1:** Diseño de un sistema de riego por aspersión fijo.



**Figura 2:** Esquema de selección de laterales para evaluación hidráulica.



**Figura 3:** Visita del director de tesis en el lugar experimental.



**Figura 4:** Manómetro en el módulo evaluado.



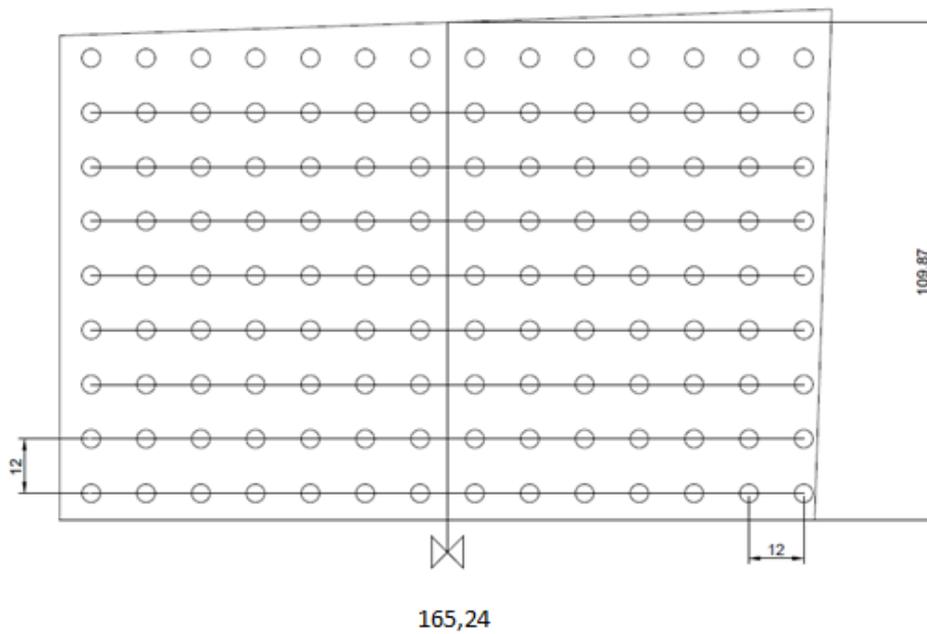
**Figura 5:** Estación de riego.



**Figura 6:** Toma de datos para valuación del Sistema de riego por aspersión.



**Figura 7:** Realización de prueba en el campo experimental.



**Figura 8:** Modulo de evaluación.

Plantilla de evaluación con su respectiva grafica de los perfiles de lámina.

