

**EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO MECANIZADO TIPO
CAÑÓN VIAJERO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*)
EN LA HACIENDA FLORENCIA VALLE - INGENIO INCAUCA S.A.S**



DANNY VALENTINA DIAZ NOVOA

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA DE RECURSOS NATURALES Y DEL MEDIO
AMBIENTE
SANTIAGO DE CALI
2020**

**EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO MECANIZADO TIPO
CAÑÓN VIAJERO EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*)
EN LA HACIENDA FLORENCIA VALLE DEL INGENIO INCAUCA S.A.S**

Proyecto de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniera Agrícola

DANNY VALENTINA DIAZ NOVOA

Director

Christian José Mendoza Castiblanco

Ingeniero Agrícola, Ph. D.

Investigador de suelos y aguas Centro de Investigación de la Caña de Azúcar

Director

Andrés Fernando Echeverri Sánchez

Ingeniero Agrícola, Ph. D.

Profesor Asistente. Escuela EIDENAR. Universidad del Valle

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE

SANTIAGO DE CALI

2020

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de manera especial al Dr. Christian Mendoza por aceptarme para realizar este trabajo bajo su dirección. Su apoyo, confianza y su capacidad para guiar mis ideas ha sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de este proyecto de grado, sino en mi formación como profesional.

Al profesor Andrés Echeverri por su guía y apoyo constante durante todo mi proceso académico y durante la ejecución de este trabajo.

A John Jairo Lasso, por su colaboración durante toda la fase evaluativa.

Agradezco especialmente al Dr. Jairo Nova, por ser una persona tan especial, por enriquecerme y ayudarme a crecer de manera personal y profesional. Debo destacar, su amabilidad y su generosidad por compartir su experiencia y amplio conocimiento.

A María Fernanda Velásquez por toda la colaboración durante mi paso por la universidad

A mis compañeros de la Universidad del Valle, a Diego Perdomo, a Michael Zuluaga, a Ober Perafan, a Laura Narvaez, a Camilo Sanchez, a Camila Rojas, a Camila Cambindo, a Ana Hurtado y Ana Maria Mosquera. Con ellos pase momentos que quedaran grabados en mi memoria.

Finalmente, agradezco al Grupo Regar de la Universidad del Valle, al Centro de Investigación de la Caña de Azúcar y todos sus colaboradores que hicieron posible con sus acciones concluir este trabajo de grado.

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme disfrutar de todos mis logros y por regalarme uno de los tesoros más valiosos de toda vida, mi familia. A mi madre por hacer de mí lo que soy, por prepararme para la vida, por convencerme de que lo que yo me proponga lo podré lograr. A mis abuelos, por todo su amor incondicional. A mi padre, por sus consejos, por siempre desear y anhelar lo mejor para mí. A mi pareja Christian Lenis, por ser el ingrediente perfecto para lograr alcanzar esta dichosa y muy merecida victoria. Todos ustedes hicieron parte de mi proceso y fueron un pilar de amor y esperanza en los momentos más difíciles.

“Los resultados que consigues estarán en proporción directa al esfuerzo que aplicas”. Denis Waitley

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	13
2. OBJETIVOS	15
2.1. Objetivo General.....	15
2.2. Objetivo Especifico	15
3. MARCO DE REFERENCIA.....	16
3.1. Antecedentes.....	16
4. MARCO TEORICO.....	18
4.1. Métodos de riego en el cultivo de caña de azúcar	18
4.1.1. Riego por superficie	18
4.1.1.1. Riego por sifones	18
4.1.1.2. Riego por compuertas.....	19
4.1.1.3. Riego por caudal reducido.....	19
4.1.2. Riego localizado.....	20
4.1.2.1. Riego por Goteo.....	20
4.1.2.2. Riego por Microaspersión	20
4.1.3. Riego por aspersión.....	21
4.1.3.1. Riego por Pivote central	21
4.1.3.2. Riego por Cañones.....	21
4.2. Evaluación de riego por cañones	23
5. MATERIALES Y MÉTODOS	25
5.1. Localización.....	25
5.2. Materiales	27
5.3. Descripción de la evaluación.....	27
5.4. Características del Cañón Viajero	30
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
6.1. Edad 0 – 3 meses	32
6.1.1. Velocidad de desplazamiento del cañón viajero 19 – 20 m/h.....	32
6.1.2. Velocidad de desplazamiento del cañón viajero entre 24 – 28 m/h.....	36
6.1.3. Velocidad de desplazamiento del cañón viajero entre 29 – 30 m/h.....	39
6.2. Edad 3 – 6 meses	43

6.2.1.	Velocidad de desplazamiento del Cañón viajero 19 – 20 m/h.....	43
6.2.2.	Velocidad de desplazamiento del cañón 24 – 28 m/h.....	46
6.2.3.	Velocidad de desplazamiento del cañón viajero entre 29 – 30 m/h.....	49
6.3.	Edad 6 – 9 meses	53
6.3.1.	Velocidad de desplazamiento del cañón viajero entre 19 – 20 m/h.....	53
6.3.2.	Velocidad de desplazamiento del cañón viajero entre 24 – 28 m/h.....	57
6.3.3.	Velocidad de desplazamiento del cañón viajero entre 29 – 30 m/h.....	62
7.	CONCLUSIONES	67
8.	FUTURAS INVESTIGACIONES.....	68
9.	BIBLIOGRAFIA	69
10.	ANEXOS.....	72
10.1.	Anexo A.	72
10.1.1.	Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 0 – 3 meses, en el horario de la mañana y una velocidad de 19 – 20 m/h.....	72
10.2.	Anexo B.	73
10.2.1.	Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 0 – 3 meses, en el horario de inicio tarde y una velocidad de 19 – 20 m/h.....	73
10.3.	Anexo C.	74
10.3.1.	Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 0 – 3 meses, en el horario de final de la tarde y una velocidad de 19 – 20 m/h.....	74
10.4.	Anexo D.	75
10.4.1.	Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 0 – 3 meses, horario de la mañana y una velocidad de 24 – 28 m/h.	75
10.5.	Anexo E.	76
10.5.1.	Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 0 – 3 meses, horario del inicio tarde y una velocidad de 24 – 28 m/h.	76
10.6.	Anexo F.....	77
10.6.1.	Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 0 – 3 meses, horario final de la tarde y una velocidad de 24 – 28 m/h.	77
10.7.	Anexo G.	78
10.7.1.	Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 0 – 3 meses, horario de la mañana y una velocidad de 29 – 30 m/h.	78
10.8.	Anexo H.	79

10.8.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 0 – 3 meses, horario inicio tarde y una velocidad de 29 – 30 m/h.	79
10.9. Anexo I.	80
10.9.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 0 – 3 meses, horario fin tarde y una velocidad de 29 – 30 m/h.	80
10.10. Anexo J.	81
10.10.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 3 – 6 meses, horario mañana y una velocidad de 19 – 20 m/h.	81
10.11. Anexo K.	82
10.11.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 3 – 6 meses, horario inicio tarde y una velocidad de 19 – 20 m/h.	82
10.12. Anexo L.	83
10.12.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 3 – 6 meses, horario final de la tarde y una velocidad de 19 – 20 m/h.	83
10.13. Anexo M.	84
10.13.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 3 – 6 meses, horario de la mañana y una velocidad de 24 – 28 m/h.	84
10.14. Anexo N.	85
10.14.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 3 – 6 meses, horario inicio tarde y una velocidad de 24 – 28 m/h.	85
10.15. Anexo O.	86
10.15.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 3 – 6 meses, horario final de la tarde y una velocidad de 24 – 28 m/h.	86
10.16. Anexo P.	87
10.16.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 3 – 6 meses, horario de la mañana y una velocidad de 29 – 30 m/h.	87
10.17. Anexo Q.	88
10.17.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 3 – 6 meses, horario de la inicio tarde y una velocidad de 29 – 30 m/h.	88
10.18. Anexo R.	89
10.18.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 3 – 6 meses, horario final de la tarde y una velocidad de 29 – 30 m/h.	89
10.19. Anexo S.	90

10.19.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 6 – 9 meses, horario mañana y una velocidad de 19 – 20 m/h	90
10.20. Anexo T.	92
10.20.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 6 – 9 meses, horario inicio de la tarde y una velocidad de 19 – 20 m/h.....	92
10.21. Anexo U.	94
10.21.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 6 – 9 meses, horario final de la tarde y una velocidad de 19 – 20 m/h.....	94
10.22. Anexo V.	96
10.22.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 6 – 9 meses, horario de la mañana y una velocidad de 24 – 28 m/h	96
10.23. Anexo W.	98
10.23.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 6 – 9 meses, horario inicio de la tarde y una velocidad de 24 – 28 m/h.....	98
10.24. Anexo X.	100
10.24.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 6 – 9 meses, horario final de la tarde y una velocidad de 24 – 28 m/h.....	100
10.25. Anexo Y.	102
10.25.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 6 – 9 meses, horario de la mañana y una velocidad de 29 – 30 m/h	102
10.26. Anexo Z.	104
10.26.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 6 – 9 meses, horario inicio de la tarde y una velocidad de 29 – 30 m/h.....	104
10.27. Anexo AA.	106
10.27.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 6 – 9 meses, horario final de la tarde y una velocidad de 29 – 30 m/h.....	106

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación por taxonomía, unidades cartográficas y extensión de los suelos en la hacienda Florencia Valle	26
Tabla 2. Lista de materiales necesarios para la evaluación.....	27
Tabla 3. Descripción de los 27 tratamientos para la evaluación de desempeño para del cañón viajero.....	29
Tabla 4. Características principales del Cañón viajero	30
Tabla 5. Coeficientes de uniformidad para una Vcv de 19 – 20 m/h y una edad de cultivo de 0 – 3 meses.	33
Tabla 6. Coeficientes de uniformidad para la edad de cultivo de 0 – 3 meses, con una velocidad de desplazamiento del cañón de 24 – 28 m/h.....	36
Tabla 7. Coeficientes de uniformidad para la edad de cultivo de 0 – 3 meses, con una velocidad de desplazamiento del cañón de 29 – 30 m/h.....	40
Tabla 8. Coeficientes de uniformidad para la edad de cultivo de 3 – 6 meses, con una velocidad de desplazamiento del cañón de 19 – 20 m/h.....	44
Tabla 9. Coeficientes de uniformidad para la edad de cultivo de 3 – 6 meses, con una velocidad de desplazamiento del cañón de 24 – 28 m/h.....	47
Tabla 10. Coeficientes de uniformidad para la edad de cultivo de 3 – 6 meses, con una velocidad de desplazamiento del cañón de 29 – 30 m/h.....	50
Tabla 11. Coeficientes de uniformidad para la edad de cultivo de 6 – 9 meses, con una velocidad de desplazamiento del cañón de 19 – 20 m/h.....	54
Tabla 12. Coeficientes de uniformidad para la edad de cultivo de 6 – 9 meses, con una velocidad de desplazamiento del cañón de 24 – 28 m/h.....	58
Tabla 13. Coeficientes de uniformidad para la edad de cultivo de 6 – 9 meses, con una velocidad de desplazamiento del cañón de 24 – 28 m/h.....	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Riego por gravedad. Tomado de: Cenicaña, (2015).	18
Figura 2. Riego por sifones. Tomado de: Liotta, (2003).	19
Figura 3. Riego por compuertas. Tomado de: Fernández, (2010).	19
Figura 4. Riego Localizado. Tomado de Portal Caña, (2019).	20
Figura 5. Riego por aspersión tipo pivote central. Tomado de: Agricultureros.com Red de Especialistas en Agricultura, (2016).	21
Figura 6. Componentes de un sistema de riego tipo cañón viajero Tomado de: Tarjuelo, (1991).	22
Figura 7. Componentes del Cañón de brazo oscilante (Tomado de: Tarjuelo, 1991)	22
Figura 8. Componentes del Cañón de turbina. Tomado de: Tarjuelo, (1991)	23
Figura 9. Ubicación hacienda Florencia Valle – Incauca	25
Figura 10. Mapa de suelos Florencia Valle	26
Figura 11. Diseño experimental para la suerte con dirección de surcado paralelo al desplazamiento del cañón	28
Figura 12. Esquema de traslape	30
Figura 13. Resumen esquema metodológico	31
Figura 14. Perfil de distribución del agua en condiciones de edad de 0 – 3 meses y Vcv entre 19 – 20 m/h.	32
Figura 15. Valores de CUC, CUE, CUD y UDH para los diferentes traslapes simulados para el perfil de distribución de agua en condición de edad de cultivo de 0 – 3 meses y bajo una velocidad del cañón viajero de 19 – 20 m/h.	35
Figura 16. Perfil de distribución de agua en condiciones de edad de 0 – 3 meses y una velocidad del cañón de 24 – 28 m/h	36
Figura 17. Valores de CUC, CUE, CUD y UDH para los diferentes traslapes simulados para el perfil de distribución de agua en condición de edad de cultivo de 0 – 3 meses y bajo una velocidad del cañón viajero de 24 – 28 m/h.	38
Figura 18. Perfil de distribución de agua del equipo en una edad del cultivo de 0 – 3 meses y una velocidad del cañón de 29 – 30 m/h.	39
Figura 19. Valores de CUC, CUE, CUD y UDH para los diferentes traslapes simulados para el perfil de distribución de agua en condición de edad de cultivo de 0 – 3 meses y bajo una velocidad del cañón viajero de 29 – 30 m/h.	42
Figura 20. Perfil de distribución de agua del equipo en una edad del cultivo de 3 – 6 meses y una velocidad del cañón de 19 – 20 m/h.	43
Figura 21. Valores de CUC, CUE, CUD y UDH para los diferentes traslapes simulados para el perfil de distribución de agua en condición de edad de cultivo de 3 – 6 meses y bajo una velocidad del cañón viajero de 19 – 20 m/h.	45
Figura 22. Perfil de distribución de agua del equipo en una edad del cultivo de 3 – 6 meses y una velocidad del cañón de 24 – 28 m/h.	46

Figura 23. Valores de CUC, CUE, CUD y UDH para los diferentes traslapes simulados para el perfil de distribución de agua en condición de edad de cultivo de 3 – 6 meses y bajo una velocidad del cañón viajero de 24 – 28 m/h.....	48
Figura 24. Perfil de distribución de agua del equipo en una edad del cultivo de 3 – 6 meses y una velocidad del cañón de 29 – 30 m/h.	49
Figura 25. Valores de CUC, CUE, CUD y UDH para los diferentes traslapes simulados para el perfil de distribución de agua en condición de edad de cultivo de 3 – 6 meses y bajo una velocidad del cañón viajero de 29 – 30 m/h.....	52
Figura 26. Perfil de distribución de agua del equipo en una edad del cultivo de 6 – 9 meses y una velocidad del cañón de 19 – 20 m/h.	53
Figura 27. Valores de CUC, CUE, CUD y UDH para los diferentes traslapes simulados para el perfil de distribución de agua en condición de edad de cultivo de 6 – 9 meses y bajo una velocidad del cañón viajero de 19 – 20 m/h.....	55
Figura 28. Valores de CUC, CUE, CUD y UDH para los traslapes simulados de 60%, 70%, 80% y 90% del perfil de distribución de agua en condición de edad de cultivo de 6 – 9 meses y bajo una velocidad del cañón viajero de 19 – 20 m/h.....	56
Figura 29. Perfil de distribución de agua del equipo en una edad del cultivo de 6 – 9 meses y una velocidad del cañón de 24 – 28 m/h.	57
Figura 30. Valores de CUC, CUE, CUD y UDH para los diferentes traslapes simulados para el perfil de distribución de agua en condición de edad de cultivo de 6 – 9 meses y bajo una velocidad del cañón viajero de 24 – 28 m/h.....	60
Figura 31. Valores de CUC, CUE, CUD y UDH para los traslapes simulados de 60%, 70%, 80% y 90%, de los perfiles de distribución de agua en condición de edad de cultivo de 6 – 9 meses y bajo una velocidad del cañón viajero de 24 – 28 m/h	61
Figura 32. Perfil de distribución de agua del equipo en una edad del cultivo de 6 – 9 meses y una velocidad del cañón de 29 – 30 m/h.	62
Figura 33. Valores de CUC, CUE, CUD y UDH para los diferentes traslapes simulados para el perfil de distribución de agua en condición de edad de cultivo de 6 – 9 meses y bajo una velocidad del cañón viajero de 29 – 30 m/h.....	65
Figura 34. Valores de CUC, CUE, CUD y UDH para las simulaciones de los traslape de 60%, 70%, 80% y 90% para las condiciones de edad de cultivo de 6 – 9 meses, velocidad de desplazamiento del cañón viajero de 29 – 30 m/h y horario de mañana, inicio tarde y fin de la tarde.	66

RESUMEN

La investigación se llevó a cabo en la Hacienda Florencia Valle (Cabuyal - Valle del cauca), la cual, tiene un área neta de 351 hectáreas cultivadas en caña de azúcar orgánica. La hacienda tiene adaptado un sistema de riego por aspersión tipo cañón viajero desde el año 2012, al cual, desde su puesta en marcha no se le había realizado una evaluación de desempeño. Con el objetivo de evaluar la eficiencia para este tipo de sistema de riego, se utilizaron parámetros como la uniformidad de distribución, la incidencia de la velocidad del viento y la velocidad de movimiento del cañón. Además, se utilizaron los estándares ISO 8224-1 y ASABE S436 para la configuración del muestreo de campo. Los resultados expresan que la lámina media para una velocidad de desplazamiento del cañón viajero entre 19-20 m/h fue de 31.30, 19.00 y 12.78 mm para las edades de cultivo entre 0-3, 3-6 y 6-9 meses, respectivamente; para la velocidad de desplazamiento del cañón viajero entre 24 y 28 m/h, se presentó una lámina media de 26.20, 16.91 y 9.47 mm para edades de cultivo entre 0-3, 3-6 y 6-9 meses, respectivamente; y para la velocidad de desplazamiento del cañón viajero entre 29 y 30 m/h fue de 21.31, 17.61 y 8.90 mm para las edades de cultivo entre 0-3, 3-6 y 6-9 meses, respectivamente. Los valores CUC y CUD se encontraron por debajo del 70% y 52% y la velocidad del viento estuvo por debajo de 2.2 m/s.

Palabras Claves: Lámina media, cañón viajero, edad del cultivo, CUC, CUD y velocidad del viento.

ABSTRACT

The investigation was carried out at the Florencia Valle farm (Cabuyal - Valle del cauca), which has a net area of 351 hectares cultivated in organic sugarcane. The hacienda has adapted a sprinkler irrigation system like traveling cannons since 2012, to which since its start-up a performance evaluation has not been carried out. In order to evaluate the efficiency for this type of irrigation system, parameters such as uniformity of distribution, the incidence of wind speed and the speed of movement of the canyon were used. ISO 8224-1 and ASABE S436 standards were used for field sampling configuration. The results express that the half sheet for a travel speed of the traveling cannon between 19-20 m/h was 31.30, 19.00 and 12.78 mm for the crop ages between 0-3, 3-6 and 6-9 months, respectively; for the traveling speed of the traveling canyon between 24-28 m/h, a half sheet of 26.20, 16.91 and 9.47 mm was presented for crop ages between 0-3, 3-6 and 6-9 months, respectively; and for the one traveling speed of the traveling canyon between 29 - 30 m/h was 21.31, 17.61 and 8.90 mm for the cultivation ages between 0-3, 3-6 and 6-9 months, respectively. The CUC and CUD values are below 70% and 52% and the wind speed was below 2.2 m/s.

Keywords: Half sheet, travel speed, crop ages, CUC, CUD and wind speed.

1. INTRODUCCIÓN

El riego se ha convertido en una práctica rutinaria para la mayoría de los cultivos debido a las características pluviométricas del Valle geográfico del río Cauca (Torres, 1995). Sin embargo, su empleo se realiza de forma empírica, desconociendo los criterios que tiene cada sistema de riego para que su funcionamiento sea más racional y eficiente. En la región existen aproximadamente 240,000 hectáreas cultivadas en caña de azúcar, de las cuales cerca del 95% del área requieren riego. El manejo eficiente del recurso hídrico es para los ingenios azucareros una actividad importante y prioritaria, debido a que el riego representa entre el 30% y el 60% de los costos totales de producción en la caña de azúcar (Cruz, 2015).

El sistema de riego por aspersión tipo cañón viajero posibilita aumentar la seguridad y eficiencia del recurso hídrico, puesto que es adaptable a diferentes suelos, condiciones topográficas, láminas de riego y velocidades de infiltración simulando un efecto de la lluvia tal que cuando caiga sea con una intensidad que facilite su infiltración, provocando una mejor calidad en la entrega y un mayor ahorro de agua, con respecto a los sistemas de riego por superficie. De igual forma, este mecanismo de aspersión tiene la ventaja de su fácil desplazamiento, tanto del equipo como del aspersor.

Sin embargo, este sistema también presenta algunas desventajas, tales como: baja uniformidad de distribución de agua debido a la acción del viento y alta presión de trabajo lo que puede verse reflejado en elevados costos de energía. El costo de este sistema puede ser un factor limitante a la hora de elegir este tipo de equipo, aunque, si se adopta condiciones óptimas de operación y administración es posible que el tiempo de trabajo del equipo sea menor de lo que fue proyectado, con una mayor uniformidad y mejor eficiencia, lo que genera un ahorro en términos de operación, con reflejos directos en los costos de energía (Souza et al., 2014).

En el Valle del Cauca, el ingenio Incauca S.A.S. se destaca por ser uno de los primeros en tener adaptado, en toda la hacienda Florencia Valle, el sistema de riego por aspersión tipo cañón viajero. Por lo cual, el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA) inicio estudios destinados a la evaluación de ese sistema de riego como una alternativa para aumentar la eficiencia, evaluando entre otros parámetros, la uniformidad de distribución de agua por el equipo.

La uniformidad de distribución del agua es una variable que afecta directamente el rendimiento del cultivo, puesto que, éste tiende alcanzar su potencial máximo de productividad conforme aumenta la uniformidad de riego (Bonomo sf.). En consecuencia, las áreas irrigadas en las que se presenta una baja uniformidad de distribución, el desarrollo del cultivo tiende a ser desuniforme, debido a que algunas partes del cultivo no recibieron la cantidad de agua necesaria para no presentar un estrés hídrico. Esta uniformidad frecuentemente es determinada por medio de coeficientes de uniformidad que expresan la variabilidad de la lámina de riego aplicada sobre el suelo (Souza et al, 2014).

En la actualidad, es posible medir la uniformidad de distribución de agua por medio de diversos coeficientes, entre los cuales, se encuentran el coeficiente de Christiansen que es uno de los más

utilizados en los estudios de uniformidad en irrigación, el coeficiente de uniformidad estadístico, el coeficiente uniformidad de distribución y la eficiencia estándar de Hart (Souza et al., 2014).

De esta forma, el objetivo de este trabajo de grado fue evaluar los principales parámetros que influyen directamente en la eficiencia y uniformidad del sistema de riego por aspersión tipo cañón viajero, tales como: velocidad del viento, velocidad de avance del cañón y edad de la caña. La investigación se llevó a cabo en la hacienda Florencia Valle perteneciente al ingenio Incauca S.A.S., en el cultivo de caña de azúcar, donde se determinaron los coeficientes mencionados anteriormente, con el fin de establecer las condiciones óptimas de operación y administración para el sistema.

Uno de los principales inconvenientes que genera mayor impacto en el modelo de distribución del agua para el cañón viajero, es la alta susceptibilidad a la acción del viento en intensidad y dirección, debido a que es un factor elemental en las pérdidas por evaporación y arrastre que se producen durante el transcurso de la irrigación y donde el tamaño de la gota y la longitud de su trayectoria de caída son fundamentales (Tarjuelo, 2005).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Evaluar el desempeño del sistema de riego mecanizado tipo cañón viajero, en condiciones de campo, para el cultivo de caña de azúcar en la Hacienda Florencia Valle ubicada en el Valle geográfico del Río Cauca.

2.2. Objetivo Especifico

- ❖ Evaluar la distribución del agua por el equipo cañón viajero mediante la estimación de los diferentes coeficientes de uniformidad
- ❖ Proponer condiciones óptimas de operación del sistema como la separación entre cañones y velocidad de desplazamiento del cañón.
- ❖ Conocer cuál es, aproximadamente, la interferencia que tiene la edad del cultivo sobre la uniformidad de distribución de agua.

3. MARCO DE REFERENCIA

El sector agroindustrial colombiano de la caña de azúcar dispone aproximadamente de 240000 hectáreas cultivadas, se encuentra ubicado en la zona plana interandina conocida como Valle geográfico del río Cauca, limitado al norte por los departamentos de Choco y Risaralda, al oriente por los departamentos de Quindío y Tolima, al sur por el departamento del Cauca y al occidente por el Océano Pacífico y el departamento del Choco. (Asocaña, s.f.).

Las condiciones climáticas que caracterizan la región son las siguientes: temperatura promedio anual de 23,1 °C, evaporación de 1647 mm/ año, radiación solar de 410 cal/ cm² por día, humedad relativa de 80 %. En cuanto a la precipitación, su comportamiento es variable, con una media anual de 700 mm en el centro – sur (Yumbo, Vijes, Rozo y el Cerrito) y 2000 mm en el extremo sur (Santander de Quilichao y puerto tejada) y en el norte (la Virginia y el Viterbo). Durante el año se presentan dos periodos secos que comprenden los meses de enero hasta marzo, y junio hasta septiembre, durante los cuales es necesario aplicar el riego suplementario en el 95% del área cultivada en caña (Cruz, 2015)

Los suelos en el Valle geográfico del río Cauca, generalmente presentan texturas entre media y fina, se caracterizan en su estructura por la forma de sus agregados en bloques cuadrados o angulares con los bordes ligeramente pronunciados (bloques sub – angulares). El rango de agua aprovechable varía entre 1 mm y 4 mm por cada centímetro de profundidad en el perfil, lo que corresponden a una capacidad de retención de humedad de aproximadamente de 2 mm de agua por cada centímetro de profundidad. En estudios realizados por Cenicaña se encontró que el 85% y 92% del sistema radicular de la caña de azúcar se concentraban en los primeros 40 cm del suelo. Lo que indica que, para calcular la lámina de agua rápidamente aprovechable, se puede asumir una profundidad efectiva de raíces entre 40 cm – 60 cm, para el periodo inicial de desarrollo (antes de los 4 meses) y entre 60 cm – 80 cm para el periodo de crecimiento (4 a 10 meses). La precipitación es un factor que determina la actividad del riego suplementario, cuando se haya agotado entre el 40 % y 50 % del agua aprovechable se recomienda hacer uso de ésta. (Cruz, 2015)

3.1. Antecedentes

Debido a que el riego es una labor prioritaria e importante para la producción de cualquier cultivo, en los últimos años se han intensificado los estudios y trabajos sobre evaluaciones hidráulicas y de desempeño de los sistemas de riego, principalmente en los de aspersión debido a que su eficiencia se ve afectada especialmente por la acción y dirección del viento. A continuación, se presenta a modo de resumen, los estudios desarrollados sobre el tema en cuestión:

En el año 2005, Fernando Rocha, Gerardo Pereira, Fernando da Silva & Joseane Olivera, realizaron un análisis de uniformidad de distribución del agua para un equipo de riego por aspersión tipo cañón viajero. El estudio tuvo por objetivo evaluar el desempeño del sistema, teniendo en cuenta diferentes situaciones de campo, es decir, se realizaron variaciones en la presión de operación y la velocidad del cañón para de este modo determinar la influencia de estos factores sobre la

uniformidad de distribución del agua, la intensidad de aplicación, la lámina media y la pérdida de carga en la manguera y en la turbina. Los resultados obtenidos en la investigación determinaron que los valores de coeficiente de Christiansen (CUC) fueron superiores en franjas humedecidas con anchos correspondientes a un intervalo de 70 al 80 % del diámetro mojado por el aspersor.

Norge Tornés, Yarisbel Gómez y Tony Boicet en el año 2013, llevaron a cabo una evaluación de calidad del riego de un equipo de riego por aspersión tipo enrollador modelo IRRIMOTOR. Esta investigación empleó la “Norma Cubana Máquinas de riego móviles – parte 1: características del funcionamiento y métodos de ensayo de laboratorio en campo” para evaluar los diferentes parámetros que determinan la calidad de riego y hacerlo más eficiente. Los resultados obtenidos permitieron identificar que la lámina aplicada por el aspersor es menor a la lámina capturada por los colectores. Además, que el índice de grosor de la gota tuvo un valor demasiado pequeño, lo que significa que las propiedades hidrofísicas del suelo pueden sufrir variaciones.

Alefe Souza, Renato Campos, Fernando Nobre, Nelmício Furtado, Fabiano de Campos & Marconi Batista (2014), evaluaron la uniformidad de distribución del sistema de riego autopropulsado. Las contribuciones de este trabajo permitieron obtener mayor comprensión en la forma de como distribuye el agua el sistema de riego por aspersión tipo cañón viajero. Por medio de la evaluación de cuatro equipos similares para una mejor representación de los datos. Los parámetros utilizados para evaluar la uniformidad de aplicación fueron coeficiente de Christiansen, coeficiente de uniformidad absoluto y la eficiencia estándar de HPSA.

Esequiel Espinosa, Lorenzo San José & Josemar Zanette en el año 2015, realizó la evaluación la calidad de riego de las máquinas móviles (enrolladores). Este estudio consistió en determinar en condiciones reales de operación los parámetros de calidad de riego de los sistemas por aspersión tipo cañón viajero, teniendo en cuenta la metodología propuesta por la norma ISO 8224 – 1. Los parámetros utilizados en el estudio para determinar la calidad de riego fueron: coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC) e intensidad de aplicación (I_a). Para el último indicador, se tomaron mediciones de caudal y diámetro de área mojada a diferentes presiones de trabajo que posteriormente fueron comparadas con la velocidad de infiltración del suelo. Además, se realizó un análisis de correlación (r), en donde mostraron la similitud entre los parámetros de calidad de riego y la velocidad del viento. Como resultado, encontraron que no existe correspondencia entre la velocidad del viento y los parámetros de calidad de riego, a menos que el viento incida de manera perpendicular o diagonal a la dirección del movimiento del aspersor (Espinosa et al., 2015).

Fernando Nobre, Nelmício Furtado, Marconi Batista & Frederico Loureiro en el año 2017, realizaron una evaluación de la correlación de la uniformidad del agua en un sistema autopropulsado. La investigación se efectuó bajo condiciones de campo, teniendo en cuenta parámetros que determinan la forma en cómo se distribuye el agua en el suelo, con el fin de determinar diferentes coeficientes de uniformidad. También, plantearon ecuaciones para demostrar el lanzamiento oblicuo del agua con relación a la calidad de distribución de ésta (Nobre et al., 2017).

4. MARCO TEORICO

4.1. Métodos de riego en el cultivo de caña de azúcar

En los lugares donde los aportes de precipitación no son suficientes para satisfacer las necesidades hídricas de la planta se hace necesario aplicar el riego suplementario. Los métodos utilizados para el cultivo de caña de azúcar son: riego por gravedad o superficie, aspersión y localizado, los cuales se seleccionan teniendo en cuenta la textura del suelo, la velocidad de infiltración del agua, la profundidad radical, la topografía del terreno, la disponibilidad y calidad del agua y la mano de obra (Torres, 1995).

4.1.1. Riego por superficie

El riego por gravedad o superficie es un método de riego que se caracteriza principalmente por la forma de distribuir el agua en el suelo. Esta avanza por acción de la gravedad por medio de surcos, de modo que el caudal aplicado va disminuyendo a lo largo del surco conforme se va infiltrando (Figura 1). La aplicación del agua en el terreno depende del tipo de conducción y distribución ya sea por canales no revestidos, revestidos o tubería enterrada. A continuación, se presentan los diferentes sistemas:



Figura 1. Riego por gravedad. Tomado de: Cenicaña, (2015).

4.1.1.1. Riego por sifones

Los sifones son tubos de forma curvada generalmente fabricados en PVC adaptados al tamaño de la acequia, por los cuales se conduce el agua desde la acequia hasta los surcos. Es necesario que la acequia se encuentre más elevada que el surco debido a que su funcionamiento es por gravedad (Liotta, 2003). (Figura 2)



Figura 2. Riego por sifones. Tomado de: Liotta, (2003)

4.1.1.2.Riego por compuertas

En el riego por compuertas utiliza tuberías para la conducción y distribución del agua, pueden estar fabricadas en aluminio, PVC o polietileno. Estas contienen orificios o compuertas rectangulares equidistantes entre sí que coinciden con el espaciamiento entre surcos; su diámetro depende del caudal que se desea obtener (Fernández, 2010). (Figura 3)



Figura 3. Riego por compuertas. Tomado de: Fernández, (2010)

4.1.1.3.Riego por caudal reducido

Este método es considerado un riego por gravedad de alta frecuencia, consiste en aplicar continuamente caudales bajos de agua (0,1 l/s - 0,3 l/s) sobre la cabecera de los surcos para aprovechar la pendiente del terreno y de este modo generar el movimiento del agua. Una de las

ventajas que presenta este método es que se puede adaptar a los sistemas de riego existentes como las tuberías rígidas, politubulares, y también, se puede combinar con el riego por goteo. (Cruz, 2015)

4.1.2. Riego localizado

Los sistemas de riego localizado son generalmente definidos por el dispositivo de emisión de agua. Eso dispositivos varían desde simples orificios en tubos plásticos de paredes finas (manguera perforada), emisores de flujo laminar de largo trayecto, microtubos y microaspersores hasta los más elaborados y eficientes emisores de flujo turbulento, compensadores de presión y autodrenajes (Frizzone et al, 2012).



Figura 4. Riego Localizado. Tomado de Portal Caña, (2019)

4.1.2.1. Riego por Goteo

Consiste en la aplicación frecuente de la aplicación frecuente de caudales bajos a una zona determinada, es decir, donde se encuentran las raíces. El agua circula a presión por medio de una red de tuberías (principales, secundarias, terciarias o ramales) ubicada en la superficie del terreno o enterrada en éste para finalmente salir por los emisores con baja presión en forma de gotas (Fernández, 2010).

4.1.2.2. Riego por Microaspersión

El riego por microaspersión consiste en conducir el agua a través de una red de tuberías y aplicarla al cultivo por medio de microaspersores y microjets que entregan pequeños volúmenes de agua en forma de lluvia.

4.1.3. Riego por aspersión

El riego por aspersión es un método presurizado, consiste en aplicar el agua al suelo en forma de lluvia por medio de dispositivos de emisión de agua, denominados aspersores, que expulsan un chorro de agua pulverizada en gotas (Fernández, 2010).

4.1.3.1. Riego por Pivote central

El riego por aspersión tipo pivote central consta de una latera en forma de A con ruedas que gira sobre uno de sus extremos a una altura de hasta 3 metros para irrigar áreas circulares. El punto central de giro es llamado pivote, el cual es conectado a la fuente hídrica (Zúñiga, 2004).



Figura 5. Riego por aspersión tipo pivote central. Tomado de: Agriculturers.com | Red de Especialistas en Agricultura, (2016)

4.1.3.2. Riego por Cañones

El riego por aspersión tipo cañón viajero es un sistema que consta de dos partes: un cañón montado sobre un vehículo y una enrolladora (carrete) que se encuentra conectada a cualquier fuente de agua (Ver Figura 6). El cañón se mueve en línea recta mientras se está irrigando gracias a una manguera de polietileno conectada al carrete; éste cuenta con una turbina muy eficiente que utiliza el 10 % de la presión que le es suministrada para jalar el cañón. Una vez finalizado el riego y enrollado toda la manguera, es posible girar el equipo 180° para repetir la operación, pudiendo regar dos bandas. (Tarjuelo, 1991)

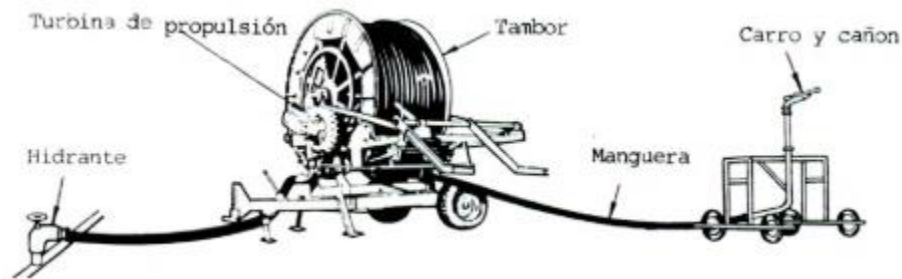


Figura 6. Componentes de un sistema de riego tipo cañón viajero Tomado de: Tarjuelo, (1991).

Los cañones son aspersores de gran tamaño, mecánicamente fuertes para resistir a los esfuerzos provocados por el elevado caudal de descarga y la presión de trabajo, pueden ser de brazo oscilante o de turbina. (Tarjuelo, 1991)

Los de brazo oscilante (Figura 7), pueden ser, sectoriales que fluctúan sobre un eje horizontal o vertical, tardando de 2 a 5 minutos por revolución, avanzando a pequeños saltos y regresando de forma rápida a su posición inicial y los que giran a velocidad constante en ambos sentidos, utilizando dos brazos de funcionamiento alternativo u otro sistema que cambie la orientación de la cuchara del extremo del brazo donde incide el chorro. Los de turbina (Figura 8), giran a la misma velocidad en ambos sentidos. Constan de una pequeña turbina que trasmite el giro al aspersor por medio del chorro principal o secundario que incide sobre los álabes de la turbina formando un mecanismo de cremallera y piñón. Existen dos tipos de boquillas, anillas y cónicas (de plástico o metálicas). La primera, cuenta con una configuración que produce mayor deformación del chorro, rompiendo antes las gotas y disminuyendo el alcance. Los diámetros de la manguera suelen estar entre 50 y 125 mm, con longitudes entre 120 y 500 metros, y están diseñadas para soportar altas presiones y las fuerzas de tracción que aparecen en el suelo. La vida útil de estas mangueras suele ser de 6 a 8 años. (Tarjuelo, 1991)

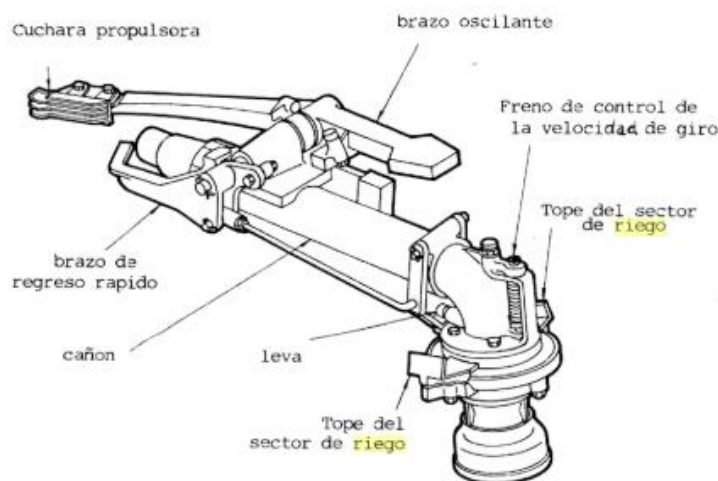


Figura 7. Componentes del Cañón de brazo oscilante (Tomado de: Tarjuelo, 1991)

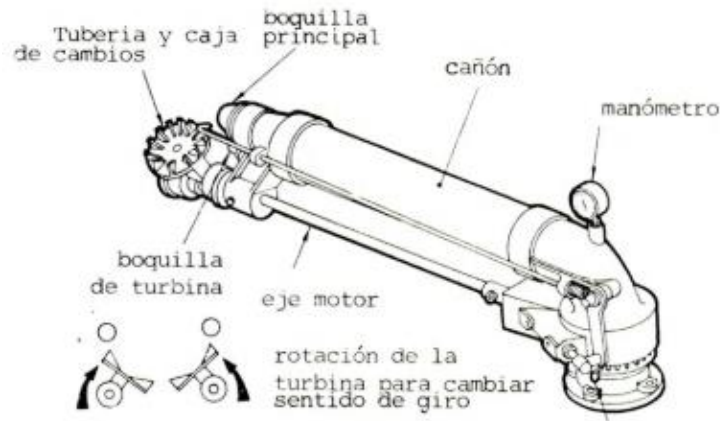


Figura 8. Componentes del Cañón de turbina. Tomado de: Tarjuelo, (1991)

Los factores que afectan la uniformidad de distribución del agua en los sistemas de riego tipo cañón viajero son: la variación en la velocidad de avance, las características propias del aspersor, las condiciones de trabajo (presión, boquilla, ángulo de descarga), la correcta selección de las condiciones de funcionamiento del equipo en cuanto al ángulo de sector mojado y recubrimiento de las bandas regadas. Además de la distorsión producida por el viento en su intensidad y dirección (Tarjuelo, 1991).

4.2. Evaluación de riego por cañones

Para determinar la forma en cómo el aspersor distribuye el agua, es necesario determinar algunos indicadores de desempeño nombrados, básicamente, por tres términos claves: uniformidad, eficiencia y grado de adecuación. El termino eficiencia se refiere a los indicadores asociados a la variabilidad de la lámina de riego aplicada. Una forma normal de obtenerla es por los diferentes coeficientes de uniformidad, que han sido estudiados por autores como Christiansen, Wilcox y Swailes, Merrian & Keller, Hart, sus contribuciones han sido de gran utilidad para el análisis del sistema.

El Coeficiente de uniformidad de Christiansen (Christiansen, 1942) es una representación estadística de la uniformidad, definida como la desviación absoluta de las observaciones de precipitación individuales respecto a la media, divida la precipitación media capturada (Montero, 2000).

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \cdot \bar{X}} \right) \quad [Ecuación 1]$$

Donde,

X_i : Lámina de agua colectada en cada pluviómetro

$\bar{X}$: Lámina media de agua colectada por los pluviómetros

n : Número de pluviómetros utilizados para el ensayo

Coeficiente de uniformidad estadística (CUE): En 1947, Wilcox y Swailes definieron el coeficiente como un parámetro estadístico donde interviene la desviación típica y el promedio de la precipitación colectada (Cuya relación es el coeficiente de variación (CV, %)), se expresa de la siguiente forma: (Montero, 2000)

$$CUE = 100 \left(1 - \frac{S}{\bar{X}} \right) \quad [Ecuación 2]$$

Donde:

$\bar{X}$: Lámina media de agua colectada por los pluviómetros

S: Desviación estándar de los datos de lámina de agua

Coeficiente de uniformidad de distribución (CUD): definido por Merrian y Keller en 1978, que considera la precipitación media recogida en el 25% del área menos regada en relación al promedio total recogido (Montero, 2000).

$$CUD = 100 \left(\frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \right) \quad [Ecuación 3]$$

Donde:

$\bar{X}$: Lámina media de agua colectada por los pluviómetros

$X_{25\%}$: Lámina media del 25% total de los pluviómetros.

Eficiencia estándar de HSPA (UDH): En 1961 Hart, indicó que la eficiencia estándar se obtiene a través de parámetros como la desviación típica y la lámina media aplicada por el cañón.

$$UDH = 100 \left(1 - 1,27 \frac{S}{\bar{X}} \right) \quad [Ecuación 4]$$

Donde:

$\bar{X}$: Lámina media de agua colectada por los pluviómetros

S: Desviación estándar de los datos de lámina de agua

Finalmente, como referencia, la eficiencia de aplicación para los sistemas de riego tipo cañón viajero, es de 77 % con velocidad de viento entre 0 m/s y 2 m/s y de 65% con velocidades de viento entre 2 m/s y 4 m/s (Tarjuelo, 1991).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización

La evaluación se realizó en la hacienda Florencia Valle perteneciente a la zona Sur Occidental del Ingenio Incauca S.A.S (ver Figura 9), ubicada en el municipio de Candelaria corregimiento del Cabuyal Valle del Cauca, cuya posición geográfica es 03° 18' 1.623"N, -76° 22' 49.3134"W a 974 m.s.n.m. El clima de la zona es de tipo cálido seco, con temperatura media anual de 23 °C y precipitación media anual de 1221 mm. De acuerdo con el estudio detallado de suelos, realizado por el instituto geográfico Agustín Codazzi, IGAC, en la hacienda Florencia Valle se encuentra los siguientes suelos (ver Figura 10 y Tabla 1):

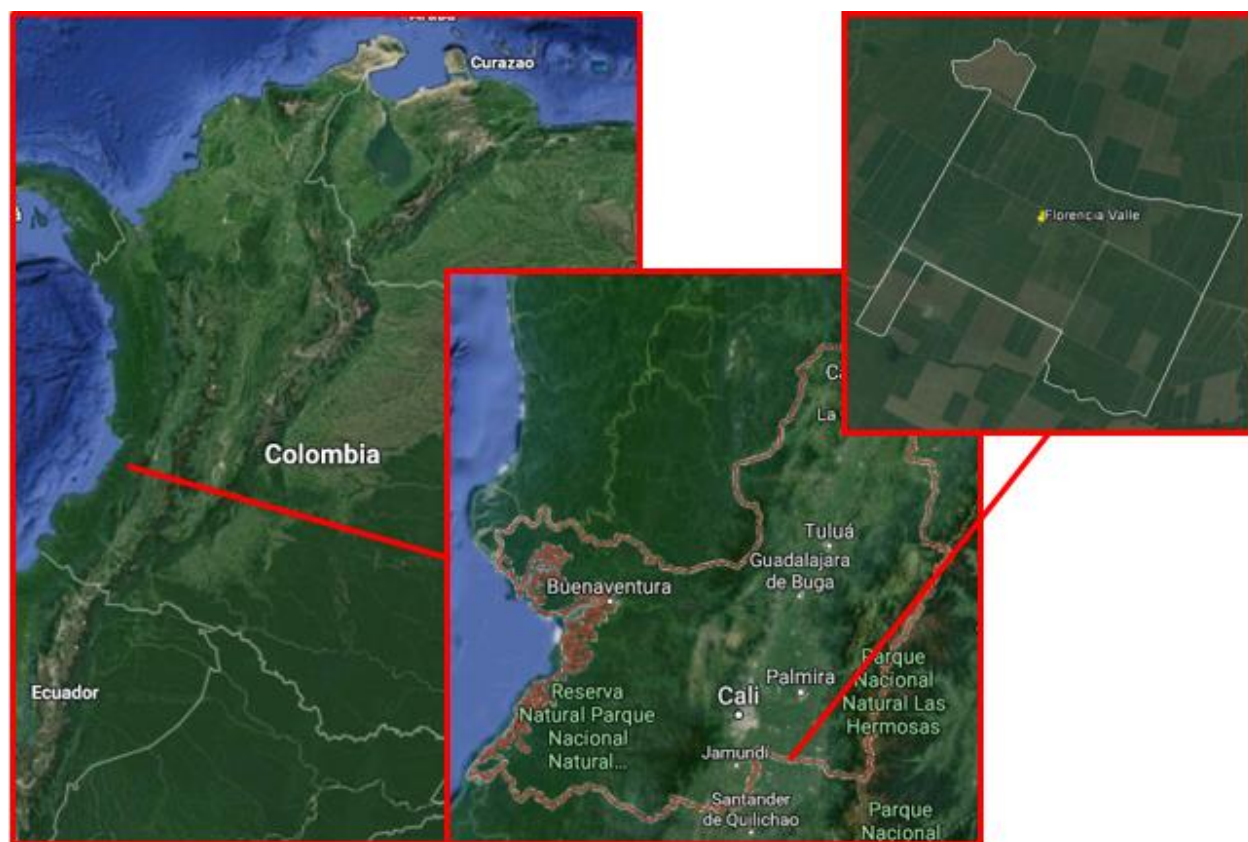


Figura 9. Ubicación hacienda Florencia Valle – Incauca

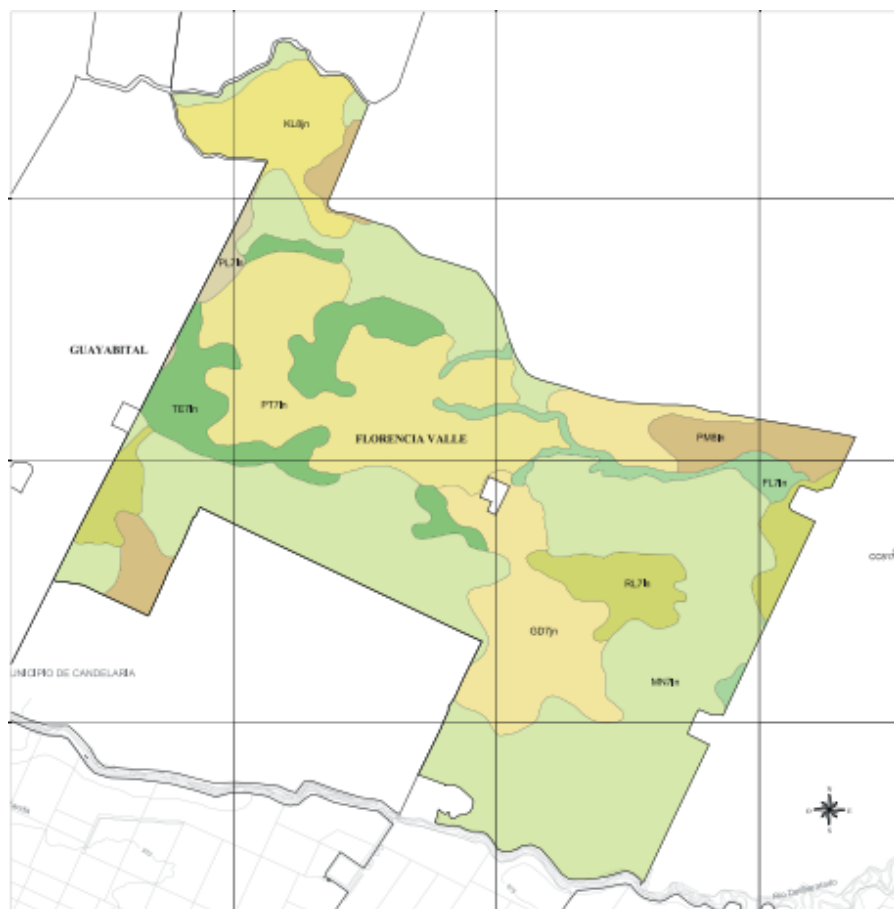


Figura 10. Mapa de suelos Florencia Valle

Tabla 1. Clasificación por taxonomía, unidades cartográficas y extensión de los suelos en la hacienda Florencia Valle

Taxonomía	Unidades Cartográficas	Color	Símbolo	Extensión, (ha)
Entic Haplustolls, familia arenosa, mezclada	Consociación Florida		FL7ln	9,953
Fluvaquentic Haplustolls, familia francosa fina, mezclada, superactiva	Consociación Guadual		GD7jn	43,698
Vertic Argiustolls, familia arcillosa sobre francosa, esmectítica	Consociación Calamar		KL8jn	20,738
Fluventic Haplustolls, familia francosa fina, mezclada, superactiva	Consociación Manuelita		MN7ln	178,549
Pachic Haplustolls, familia francosa fina, mezclada, superactiva	Consociación Palmira		PL7ln	2,801
Vertic Haplustolls, familia francosa fina, mezclada, superactiva	Consociación Palmeras		PM8ln	19,756
Cumulic Haplustolls, familia francosa fina, mezclada, superactiva	Consociación Palmirita		PT7ln	63,618
Fluventic Haplustolls, familia francosa gruesa, mezclada, superactiva	Consociación Río Paila		RL7ln	23,304
Entic Haplustolls, familia francosa gruesa, mezclada, superactiva	Consociación Tesoro		TE7ln	29,836

5.2. Materiales

Los materiales que se utilizaron para el desarrollo de la evaluación de desempeño para el sistema de riego mecanizado por cañón viajero se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Lista de materiales necesarios para la evaluación

Descripción	Cantidad
Probetas	3
Colectores	450
Cañón viajero Irrimec	1
Cronómetro	1
Estación de medición de viento	1
Pirola	300 m
Cinta métrica	1
Trípode	1
Estacas	6
Varillas	450

Los elementos mencionados anteriormente, fueron suministrados por medio de un proyecto de investigación realizado por el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar, Cenicaña, en convenio con el ingenio Incauca S.A.S.

5.3. Descripción de la evaluación

Las evaluaciones se realizaron en la hacienda Florencia Valle, teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- **Edad del cultivo (Ec):**

Para las evaluaciones se consideraron tres edades diferentes, la primera fue de 0 a 3 meses, la segunda de 3 a 6 meses y la tercera de 6 a 9 meses, con la finalidad, de poder abarcar todas las edades en el cual se realiza la labor de riego y determinar la interferencia baja, media y alta que tiene el cultivo con respecto a la precipitación.

- **La velocidad de avance del cañón (Vcv) y Lámina programada (Lp):**

La velocidad de avance del cañón, se determinó teniendo en cuenta las láminas programadas por el Ingenio Incauca S.A.S. Las láminas programadas para las evaluaciones fueron de 54.5 mm, 41 mm y 36 mm correspondientes a una Vcv entre 19 – 20 m/h, 24 – 28 m/h y 29 – 30 m/h respectivamente.

- **Horario:**

Las evaluaciones se realizaron en tres diferentes horarios del día, en la mañana, inicio de la tarde y final de la tarde, para abarcar todas las condiciones de velocidad de viento que se puedan presentar en el tiempo en el que se efectúa la labor de riego (12 horas/día).

Para la configuración de las evaluaciones, se tuvo en cuenta las recomendaciones de la norma ASABE S436. Se presentaron las siguientes condiciones:

- **Colectores:**

Todos los colectores utilizados en las evaluaciones para medir la pluviometría aplicada por el cañón viajero eran marca Fabrimar, de color amarillo, con forma cilíndrica de diámetro de 8 cm, altura de 7 cm y volumen de 351.85 cm^3 , con el fin de, minimizar la evaporación y evitar que salpicara dentro o fuera del recipiente.

Se espaciaron uniformemente a lo largo de tres líneas rectas perpendiculares a la dirección de desplazamiento de la máquina (ver figuras 11). La altura desde el suelo hasta el colector fue de 0,6 metros y el espacio entre colectores a lo largo de cada línea fue de 1.65 m y de ancho de 5 m, debido, a que el cultivo se encuentre a una distancia entre surco de 1.65 m, es decir, que los colectores estuvieran situados en el entresurco del cultivo.

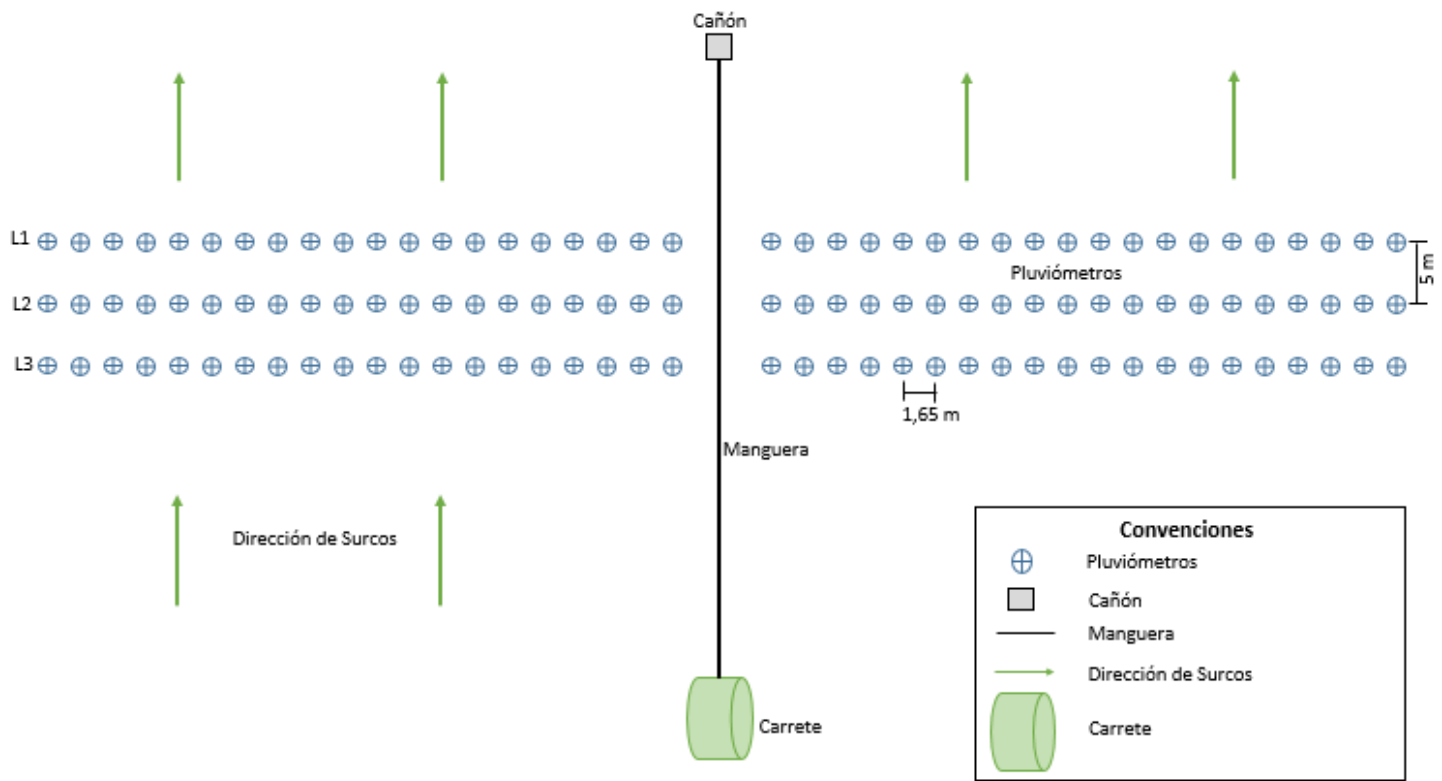


Figura 11. Diseño experimental para la suerte con dirección de surcado paralelo al desplazamiento del cañón

- **Velocidad del Viento (Vv):**

La velocidad del viento, durante el período de prueba se midió con el anemómetro marca Davis de la estación Vantage Pro 2.0, el cual, se ubicó a una altura de 2 m sobre la superficie del suelo y en un radio de 200 m del sitio de evaluación. Los datos se registraron en intervalos de 15 minutos durante su ejecución

Se realizaron 27 evaluaciones en campo, que cubrieron todos los tratamientos propuestos en la tabla 2, los cuales, se les simuló traslapes de 10%, 20%, 30%, 40% y 50% considerando como parámetro el diámetro de riego del cañón viajero, con el fin, de determinar la mejor configuración

de espaciamento o distancia entre cañones que permitiría obtener una mejor uniformidad de distribución.

Tabla 3. Descripción de los 27 tratamientos para la evaluación de desempeño para del cañón viajero

Tratamiento	Ec (meses)	Vcv (m/h)	Horario
T1	0 - 3	19 - 20	Mañana
T2			Inicio Tarde
T3			Tarde Noche
T4		24 - 28	Mañana
T5			Inicio tarde
T6			Tarde Noche
T7		29 - 30	Mañana
T8			Inicio tarde
T9			Tarde Noche
T10	3 - 6	19 - 20	Mañana
T11			Inicio tarde
T12			Tarde Noche
T13		24 - 28	Mañana
T14			Inicio Tarde
T15			Tarde Noche
T16		29 - 30	Mañana
T17			Inicio tarde
T18			Tarde Noche
T19	6 - 9	19 - 20	Mañana
T20			Inicio tarde
T21			Tarde Noche
T22		24 - 28	Mañana
T23			Inicio Tarde
T24			Tarde Noche
T25		29 - 30	Mañana
T26			Inicio Tarde
T27			Tarde Noche

- **Lamina media (Lm):**

Una vez medida con la probeta la pluviometría lanzada por el sistema de riego tipo cañón viajero, se procedió a realizar el cálculo de la lámina media, dividiendo la pluviometría captada en cada colector (medida en volumen por la probeta) entre el área del colector.

- **Traslape:**

La pluviometría lanzada por el cañón decrece con la distancia de alcance, por lo tanto, se hace necesario un traslape o superposición entre los cañones viajeros para tener una mayor uniformidad en el riego (figura 12). Teniendo en cuenta el diámetro de riego del cañón viajero (60 m), se calculó la distancia correspondiente a los traslapes de 10%, 20%, 30%, 40% y 50%, para posteriormente sumar a los extremos la lámina que realizaría la superposición.

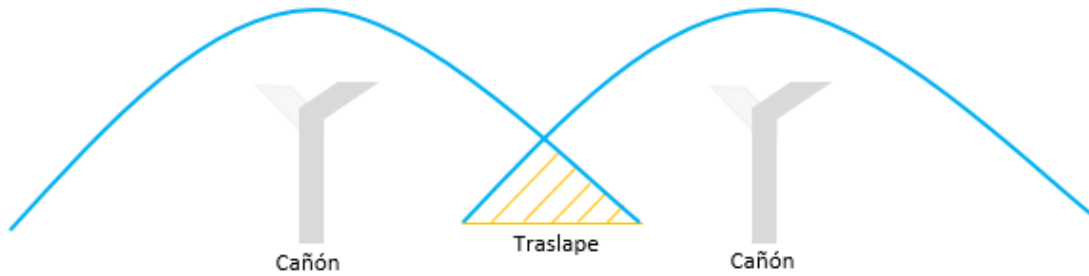


Figura 12. Esquema de traslape

El equipo de riego fue el mismo en todos los ensayos, se tomaron medidas de velocidad de desplazamiento, pluviometría, velocidad del viento durante el periodo de evaluación, para determinar la lámina media (Lm) y coeficientes de uniformidad, los cuáles son la base para establecer las condiciones óptimas de operación del sistema como la separación entre cañones y la velocidad de avance del cañón.

Se manejó una presión constante para las evaluaciones realizadas, con valores en el carrete y el cañón entre 95 – 102 psi y 60 psi – 70 psi respectivamente, las cuales, son las condiciones normales de operación del Ingenio.

Finalmente, los datos calculados en las simulaciones se utilizaron para determinar el desempeño del cañón, a través de las ecuaciones 1, 2, 3 y 4.

5.4. Características del Cañón Viajero

Para la evaluación se utilizó el cañón viajero No. 8 de Ingenio Incauca S.A.S, marca Irrimec serie Máster; cuenta con un sistema hidráulico que funciona por medio de una conexión al hidráulico del tractor proporcionando movimiento y un mejor ajuste en el gato, las ruedas, las patas estabilizadoras, la rotación de la torreta y el levantamiento del trineo porta aspersor. De igual forma, incluye un plato galvanizado en caliente que permite rotar la torreta 360° y dándole una mayor estabilidad al equipo en el suelo. Las principales características del cañón se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4. Características principales del Cañón viajero

Marca	Mod/Type	No.	Data/Date	Longitud (m)	Lam (mm)	Presión Cañón (psi)	Presión Carrete (psi)
Irrimec	MF1/3B	633/G40	2017	350	20 – 70	60 - 70	95 - 102

El esquema metodológico que se realizó para la evaluación del desempeño del sistema de riego por aspersión tipo cañón viajero, se muestra en la figura 13.

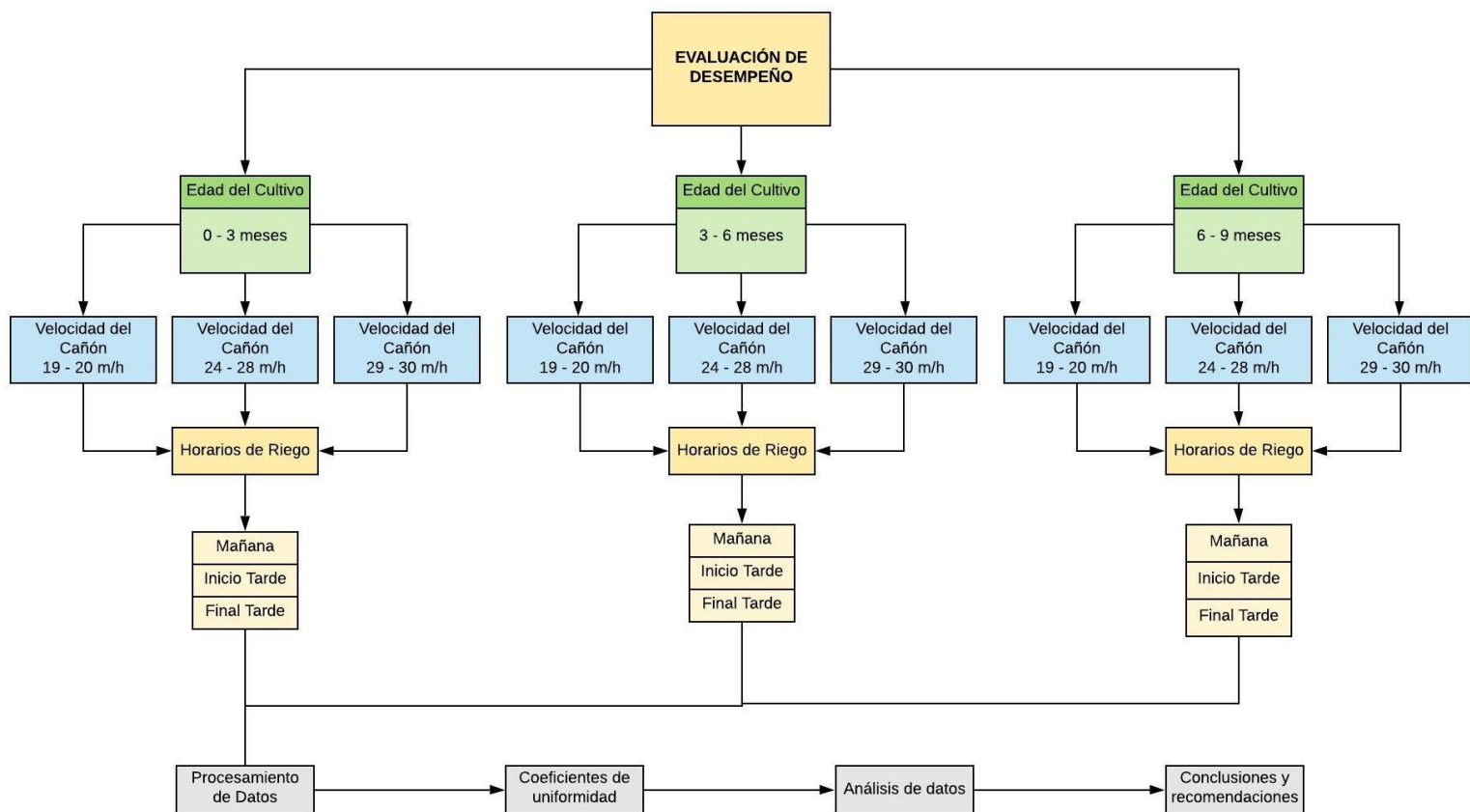


Figura 13. Resumen esquema metodológico

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la evaluación de desempeño del equipo, se realizaron 27 evaluaciones teniendo en cuenta diferentes condiciones de operación en campo como la edad del cultivo (EC), la velocidad de desplazamiento del cañón viajero (Vcv) y el horario del día que a su vez determina una velocidad del viento. A continuación, se presentan los resultados y el análisis de los diferentes tratamientos.

6.1. Edad 0 – 3 meses

6.1.1. Velocidad de desplazamiento del cañón viajero 19 – 20 m/h

En la figura 14, se presenta el perfil de distribución del agua por el equipo en condiciones de campo, para los tres horarios de riego, mañana, inicio tarde y tarde noche y una velocidad de desplazamiento del cañón entre 19 – 20 m/h, lo que corresponde a una lámina media de 54,5 mm.

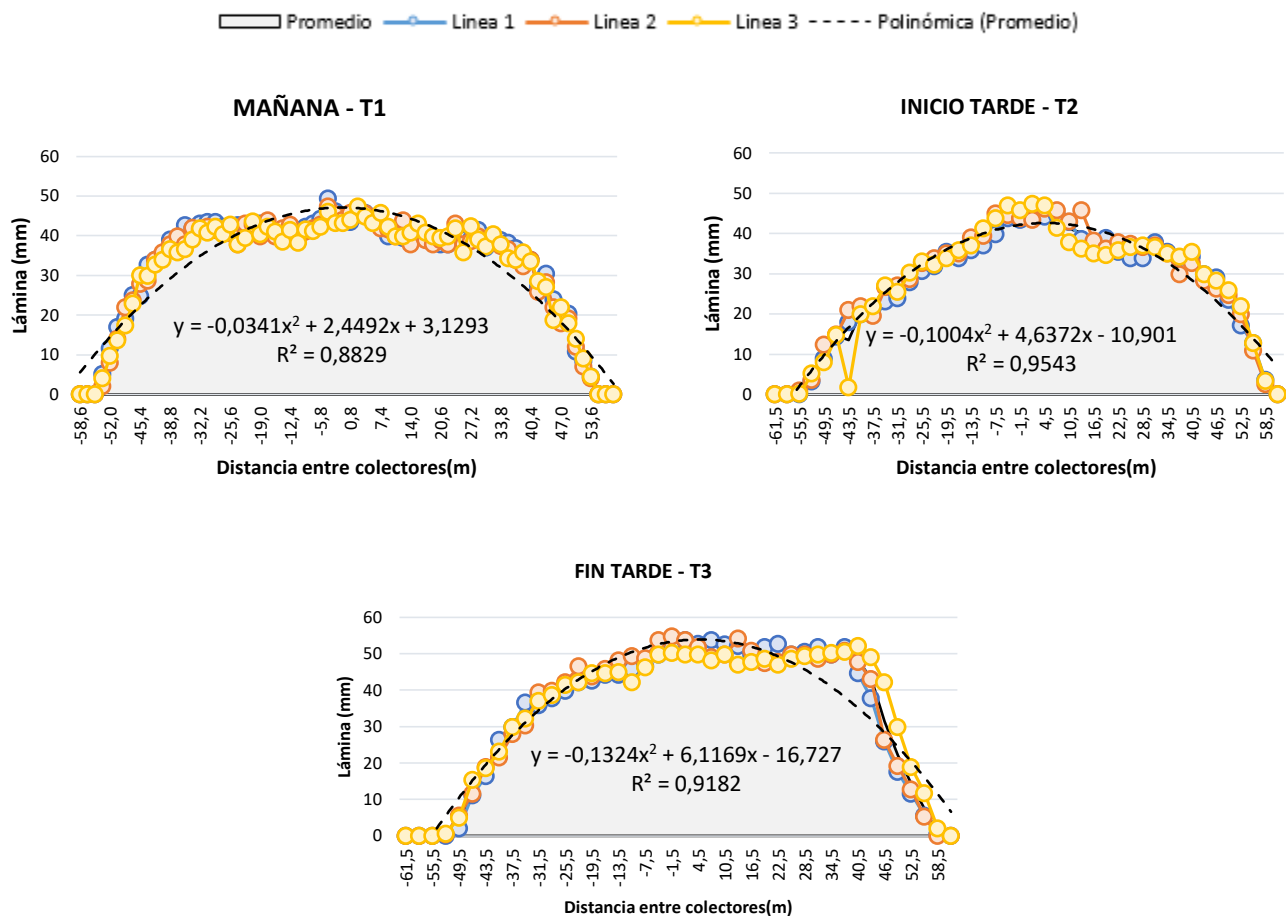


Figura 14. Perfil de distribución del agua en condiciones de edad de 0 – 3 meses y Vcv entre 19 – 20 m/h.

Con base en la información obtenida en la evaluación realizada en campo, se calcularon los parámetros de evaluación de desempeño, los cuales se resumen en la tabla 5.

Tabla 5. Coeficientes de uniformidad para una Vcv de 19 – 20 m/h y una edad de cultivo de 0 – 3 meses.

Tratamiento	Ec (meses)	Vcv (m/h)	Horario	Lm (mm)	CUC (%)	CUE (%)	CUD (%)	UDH (%)	Vv. (m/s)
T1	0 – 3	19 - 20	Mañana	32.36	64.89	56.33	28.89	44.54	0.94
T2			Medio Día	27.62	57.26	48.41	23.59	34.48	1.90
T3			Tarde	34.13	50.83	43.94	14.01	28.80	1.94

Al realizar las evaluaciones se observa, en los tres tratamientos, que la distribución del agua, bajo las mismas condiciones de Ec y Vcv, se ve afectada por la velocidad del viento, lo que hace que el perfil de distribución se concentre más hacia uno de los lados, por lo cual, se disminuye el ajuste de la curva hacia una función cuadrática, en consecuencia, la uniformidad de la lámina será menor cuando realizado el traslape de la franja de riego.

Los resultados obtenidos de Lm, CUC, CUE, CUD y UDH, calculados a partir de las láminas recolectadas, en las diferentes evaluaciones, se presentan en la tabla 5. Los valores de Lm para el horario de mañana, inicio tarde y tarde noche son 32.6 mm, 27.6 mm y 34.1 mm inferiores a la lámina de riego programada en 40.6%, 49.3% y 37.4%, respectivamente.

Estas disminuciones o diferencias pueden ser por diferentes condiciones hidráulicas, como la pérdida de energía en la línea principal, operacional, como las condiciones del terreno y ambientales como la velocidad del viento, entre otras pueden ocasionar que la lámina aplicada sea inferior a la programada. De igual forma, el radio de giro del cañón viajero es de 210° y la lámina de riego aplicada por el por el mismo sigue una trayectoria oblicua, es decir, forma un ángulo β con la horizontal, ocasionando que el recorrido de la lámina precipitada se vuelva sensible a sufrir una desviación en su dirección por acción de la velocidad del viento (Nobre et al., 2017). Estos resultados se pueden constatar en la evaluación de calidad del riego de un equipo de riego por aspersión tipo enrollador modelo IRRIMOTOR realizada por Norge Tornés, Yarisbel Gómez y Tony Boicet en el año 2013, donde se identificó que la lámina aplicada por el aspersor es menor a la lámina capturada por los colectores.

Igualmente, para el comportamiento de los valores CUC, CUE, CUD y UDH fueron inversos a la velocidad del viento, es decir, que a mayor velocidad del viento los valores de los coeficientes fueron menores. Estos resultados son similares a los reportados por Espinosa et al., (2015), el cual, dedujo que el aumento en la velocidad del viento incide en la disminución de la uniformidad de riego.

En el **Anexo A, B y C**, se observan los perfiles de distribución de agua para los traslapes simulados, para unas condiciones de edad de cultivo de 0 – 3 meses y Vcv de 19 – 20 m/h, en los diferentes horarios del día. Es importante analizar que inicialmente la curva que describe la trayectoria de la lámina aplicada es de forma parabólica y que a medida que el porcentaje de traslape aumenta tiende a disminuir el r^2 , debido a que se va ajustando la curva a un modelo lineal de tal forma que la lámina en el suelo va siendo más homogénea.

Los coeficientes de uniformidad alcanzados, para las simulaciones de los traslapes de los tratamientos T1, T2 y T3 (Figura 15), permite determinar que hay un aumento en la uniformidad a medida que se aumenta el traslape.

El valor mínimo aceptable de CUC para riego por aspersión según Bernando et al. (2006), corresponde a 80%. En la figura 15, se observa que T1 presenta una velocidad del viento baja lo que le permite alcanzar el valor mínimo aceptable en un traslape correspondiente a 30%. De hecho, cuando se realiza la labor de riego con ese mismo traslape, la uniformidad, en T2 y T3 está por debajo de lo recomendado. Únicamente, en el traslape de 50%, se consigue que, para todos los horarios evaluados, el coeficiente de uniformidad este por encima del valor mínimo.

En la simulación realizada para el traslape del 10%, los valores registrados de CUC están por debajo del rango aceptable, lo que demuestra que en los sistemas de aspersión tipo cañón viajero es necesario realizar un traslape mayor con el fin de lograr una mejor uniformidad de distribución, aun sabiendo que en este tipo de sistema en comparación con otros, la uniformidad es relativamente baja debido a las altas distorsiones en el perfil de distribución del agua ocasionados por los diferentes factores (Souza et al., 2014). Sin embargo, en la simulación de traslape de 50% los valores de CUC, CUE y UDH para T1 disminuyeron, debido a que la lámina de agua aplicada comienza a hacer mayor en los extremos de la franja de riego, lo que se puede observar con la curva característica que representa el perfil de agua (**Anexo A**) que tiene una forma parabólica convexa.

Por otro lado, es posible observar que la lámina media para el T3 fue la mayor en todas las simulaciones de los traslapes. Tomado un valor inicial de 31.67 mm, sin realizar traslape, hasta un valor máximo de 45.48 mm, en el traslape de 50%, lo que representa una disminución de 16.5% sobre el valor de la lámina programada en el equipo.

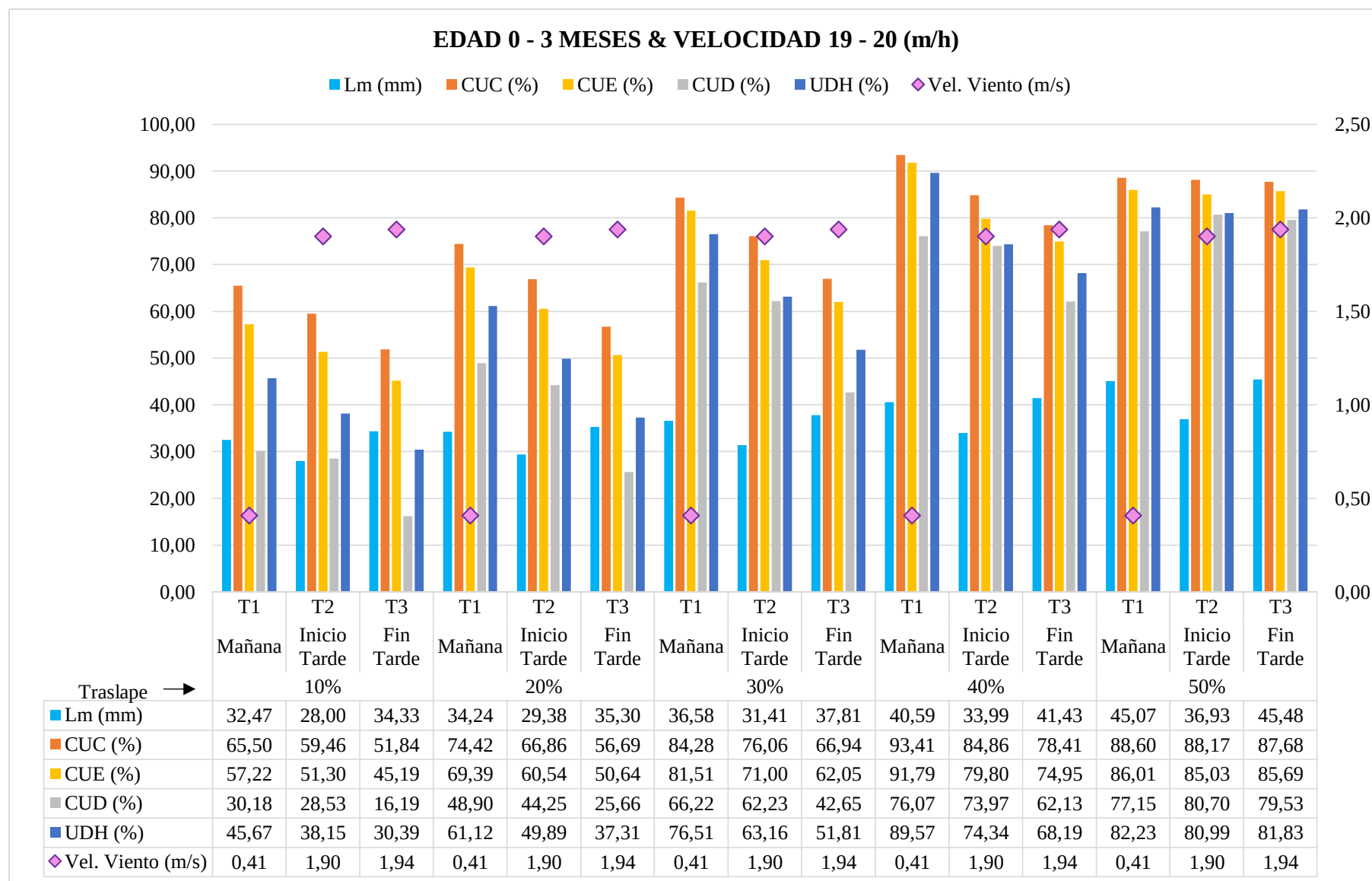


Figura 15. Valores de CUC, CUE, CUD y UDH para los diferentes traslapes simulados para el perfil de distribución de agua en condición de edad de cultivo de 0 – 3 meses y bajo una velocidad del cañón viajero de 19 – 20 m/h

6.1.2. Velocidad de desplazamiento del cañón viajero entre 24 – 28 m/h

El comportamiento de la lámina de agua aplicada por el cañón viajero para una edad de 0 – 3 meses y una velocidad de 24 – 28 m/h, se presenta en la figura 16.

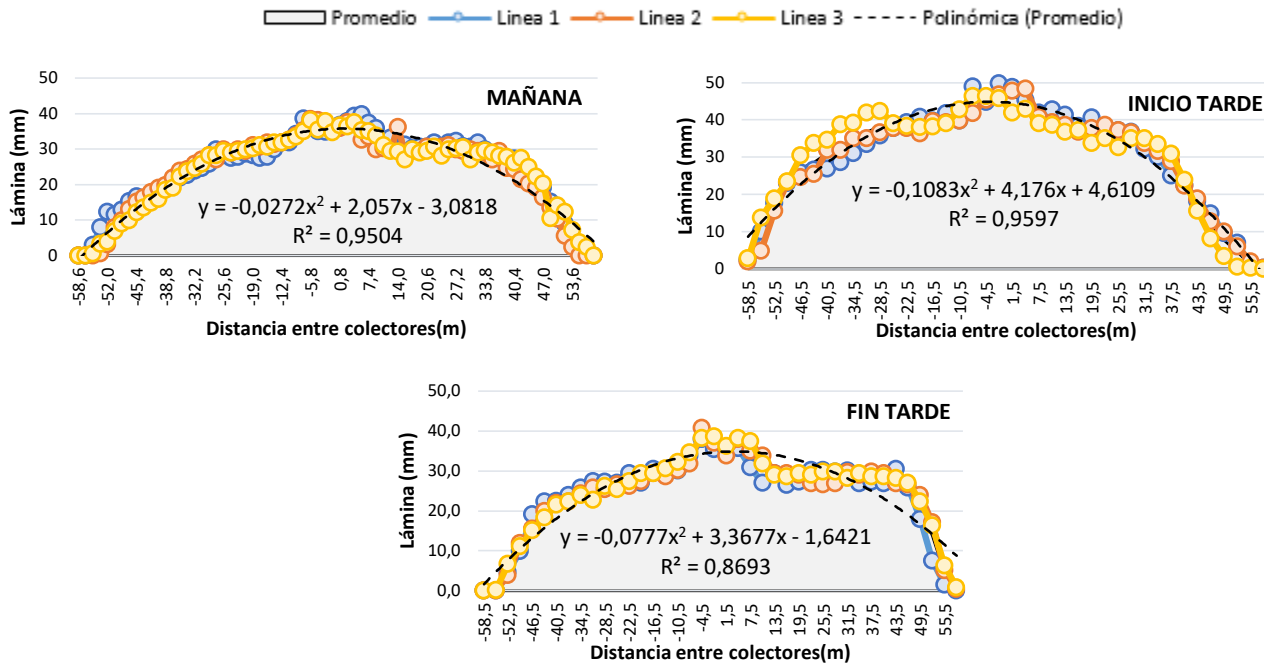


Figura 16. Perfil de distribución de agua en condiciones de edad de 0 – 3 meses y una velocidad del cañón de 24 – 28 m/h

Teniendo en cuenta la información obtenida en las evaluaciones para la Vcv de 24-28m/h, se calcularon los parámetros de desempeño descritos en la tabla 6.

Tabla 6. Coeficientes de uniformidad para la edad de cultivo de 0 – 3 meses, con una velocidad de desplazamiento del cañón de 24 – 28 m/h

Tratamiento	Ec (meses)	Vcv (m/h)	Horario	Lm (mm)	CUC (%)	CUE (%)	CUD (%)	UDH (%)	Vel. Viento (m/s)
T4	0 - 3	24 - 28	Mañana	23.96	62.14	54.04	30.50	41.6	0.74
T5			Inicio Tarde	30.27	62.84	54.55	31.24	42.27	0.51
T6			Fin Tarde	24.39	68.03	57.67	37.66	46.24	1.94

La lámina media programada, para T4, T5 y T6, con Vcv de 24 – 28 m/h, fue de 42 mm. En la tabla 6, se evidencia que la lámina media más cercana a la programada fue la del T5, donde se presentaron condiciones de velocidad del viento significativamente menores a los demás ensayos. Sin embargo, los CUC, CUE, CUD Y UDH del T5 fueron menores bajo la condición sin traslape.

Además, los CUC, CUE, CUD Y UDH para T4 y T6 aumentaron con respecto a los calculados para la velocidad de 19 – 20 m/h, debido a que, las velocidades del viento son menores, lo que

corroborar que la velocidad del viento tiene una fuerte influencia sobre la distribución del agua bajo una misma condición de edad del cultivo y horario.

En los **Anexo D, F y G**, se observan las figuras que describen la simulación del perfil de distribución del agua para diferentes traslapes en condiciones de edad de cultivo de 0 – 3 meses y una Vcv 24 – 28 m/h. Teniendo en cuenta la información obtenida de las simulaciones se calcularon los coeficientes de uniformidad (Figura 17).

El mejor ajuste de las curvas características para la velocidad de 24 – 28 m/h, se obtuvo para el T4, registrando un valor correspondiente a $R^2 = 0.9477$ (**Anexo D**), debido a que, para este tratamiento, la variabilidad entre los datos registrados de cada línea era poco significativa, es decir, que el promedio no fue alterado por valores de lámina muy extremos. Sin embargo, la lámina aplicada para las diferentes simulaciones traspale de 10%, 20%, 30%, 40% y 50%, estuvo por debajo de la lámina programada en 43%, 39%, 36%, 29%, 22% respectivamente.

En los valores simulados, para la lámina media en cada uno de los traslapes, se evidencia que el único traslape que llega a la lámina programada es T5 en un traslape de 50%, donde las condiciones de velocidad de viento fueron las más bajas presentando un valor correspondiente a 0,51 m/s (Figura 17). No obstante, los CUC, CUE, UDH, no registraron los valores más altos para esta simulación, debido a que en los extremos de la franja de riego la distribución de agua aumenta provocando variaciones en el perfil. (**Anexo E**).

Por otra parte, el T6 para un traslape del 20%, registró un CUC por encima del mínimo aceptable de 80%. Además, este arrojó el CUC más alto para un traslape de 30%, es decir, que para los traslapes mayores a 30% la curva característica que define el perfil de distribución comienza a tener una forma convexa, debido a la acumulación de agua en los extremos de la franja de riego.

Cabe resaltar, que el CUC para los tratamientos evaluados en una Vcv de 24 – 28 m/h, estuvo por encima del 80% en un traslape del 40%, de manera que, representa un excelente resultado que proporcionara una mejor labor de riego.

EDAD 0 - 3 MESES & VELOCIDAD 24 - 28 (m/h)

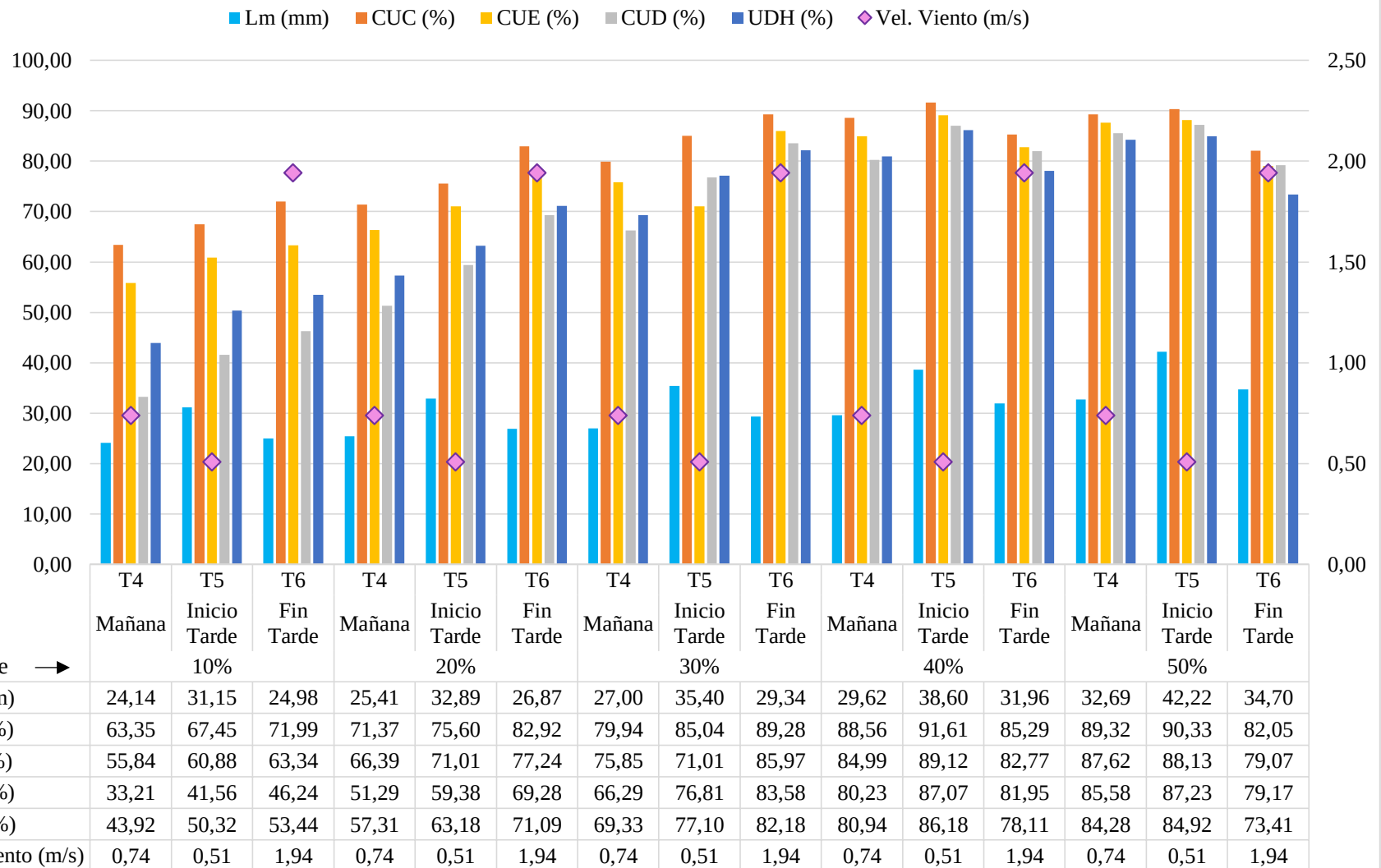


Figura 17. Valores de CUC, CUE, CUD y UDH para los diferentes traslapes simulados para el perfil de distribución de agua en condición de edad de cultivo de 0 – 3 meses y bajo una velocidad del cañón viajero de 24 – 28 m/h

6.1.3. Velocidad de desplazamiento del cañón viajero entre 29 – 30 m/h

Para una edad de 0 – 3 meses y una velocidad programada de 29 – 30 m/h, se realizaron 3 evaluaciones, las cuales, presentaron el siguiente perfil de distribución (Figura 18):

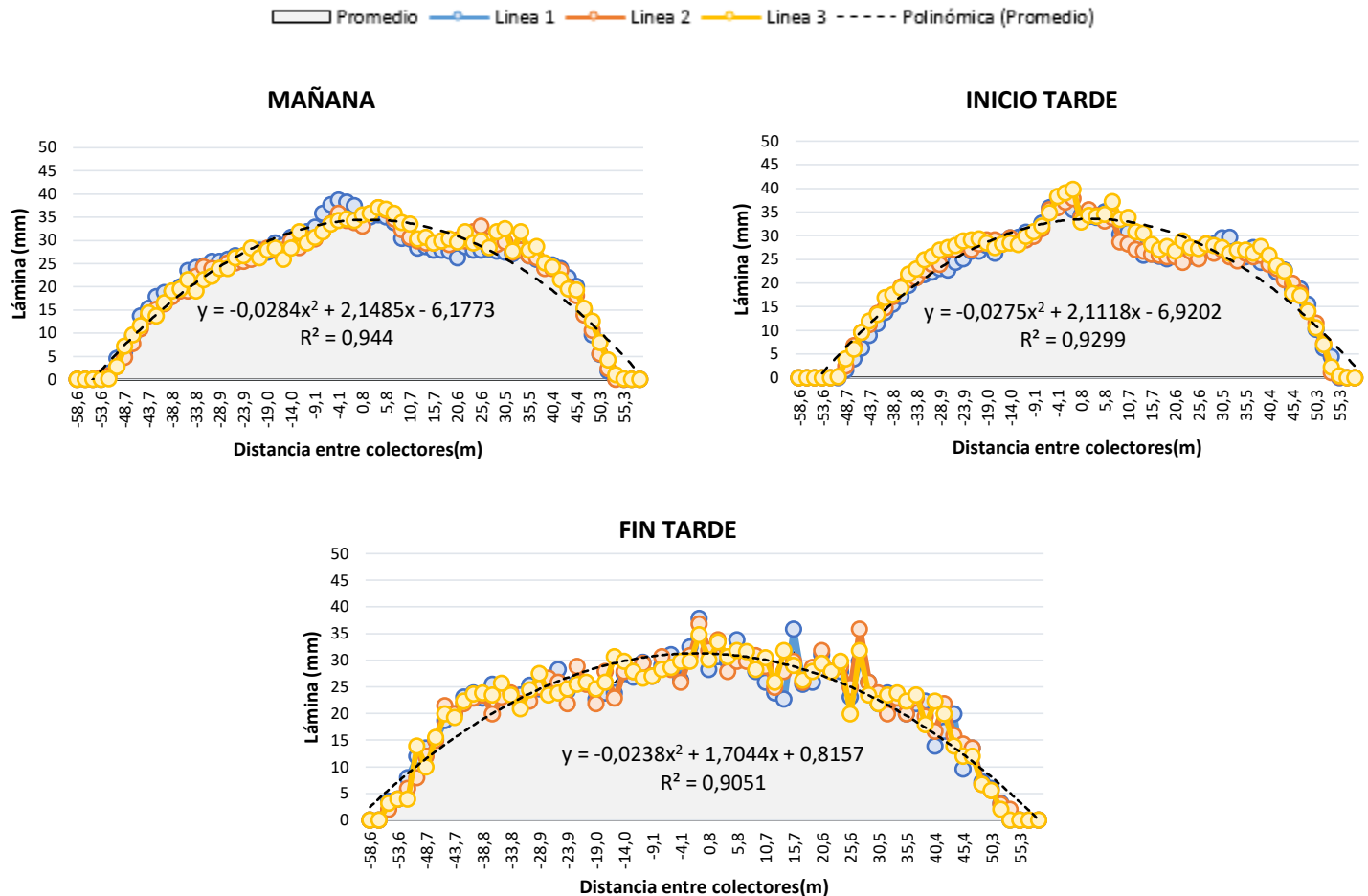


Figura 18. Perfil de distribución de agua del equipo en una edad del cultivo de 0 – 3 meses y una velocidad del cañón de 29 – 30 m/h.

De la figura anterior, se puede observar que la curva que mejor representa el patrón de distribución de agua, es la del horario de la mañana con R^2 correspondiente a 0.944, representando una mayor homogeneidad en los datos. No obstante, la lámina media presente, para este tratamiento, muestra una diferencia del 38.5% en comparación a la lámina programada (36mm) para esta velocidad.

De igual manera, los horarios de inicio y fin de la tarde presentaron unas disminuciones correspondientes a 40.1% y 43.8%, en comparación a L_p , debido a que la velocidad del viento registrada se encuentra por encima de 1 m/s, causando desviaciones en la distribución del agua. La tabla 7 muestra los coeficientes de uniformidad calculados con la información obtenida en las evaluaciones realizadas a una Vcv de 29 – 30 m/h.

Tabla 7. Coeficientes de uniformidad para la edad de cultivo de 0 – 3 meses, con una velocidad de desplazamiento del cañón de 29 – 30 m/h

Tratamiento	Ec (meses)	Vcv (m/h)	Horario	Lm (mm)	CUC (%)	CUE (%)	CUD (%)	UDH (%)	Vel. Viento (m/s)
T7	0 - 3	29 - 30	Mañana	21.00	62.86	53.19	25.69	40.55	0.42
T8			Inicio Tarde	22.14	57.01	48.13	20.15	34.12	0.85
T9			Fin Tarde	21.57	56.75	47.51	19.13	33.33	1.07

Para una velocidad de desplazamiento del cañón viajero de 29 – 30 m/h, las mejores condiciones de velocidad del viento se registraron en el horario de la mañana (T7), con un valor correspondiente a 0,42 m/s. Sin embargo, para este ensayo los parámetros de evaluación no fueron los mejores, es decir, el CUC estuvo por debajo de 80% y 70% de los valores registrados como mínimo aceptable para riego por aspersión, según Bernardo et al., 2006 y Mantovani, 2001. Además, los CUD registraron unos valores entre 19% – 26%, considerándose como inaceptable, según Mantovani, 2001.

Las simulaciones del perfil de distribución del cañón viajero bajo estas condiciones para los traslapes de 10%, 20%, 30%, 40% y 50%, se observan en los **Anexo G, H y I**. En los Tratamientos T7, T8 y T9 se tiene que solamente en ciertas zonas del perfil de distribución se alcanza la lámina programada (36 mm), para los diferentes traslapes, lo que significa que en el TP = 50% aunque el perfil de distribución se asemeja a una forma lineal, esta no alcanza a la lámina deseada para el riego, lo que debe ser tenido en cuenta para la programación de los riegos pues estaría representado en un déficit de lámina aplicada con respecto a la programada.

Teniendo en cuenta la información obtenida de los **Anexos G, H y I**, se calcularon los coeficientes de uniformidad y la eficiencia estándar expuestos en la figura 19. El T7, presentó un valor de CUC mayor al 80% para el traslape del 30%, correspondiente a un aumento del 22.1% comparado con el CUC del equipo sin traslape. Del mismo modo, el CUD obtuvo un valor del 60.24%, clasificándose en el rango de justo según Mantovani, 2001.

Cabe señalar, que el valor máximo del T7, para el CUC se presentó en el traslape de 40%, es decir, que para traslapes superiores los picos en los extremos de las simulaciones del riego que se presentan en el traslape del 50% aumentarían (**Anexo G**).

En cuanto a los Tratamientos T8 y T9, el CUC presentó valores superiores al 80% en un traslape correspondiente al 40%. Del mismo modo, los CUE, CUD y UDH, continuaron el mismo comportamiento que el CUC, obteniendo valores más altos en los traslapes mayores o iguales al 40% (Figura 19). Sin embargo, la lámina programada (36 mm) para cada uno de los tratamientos sigue siendo inferior en un 27.6%, 25.4% y 27.33%. Además, se tiene que para ninguna de las simulaciones la lámina media logra llegar al 100% de lo programado.

La uniformidad de distribución del agua, para un traslape del 40% presentó valores entre 68% - 86% para CUD, clasificándose en el rango bueno según Mantovani, 2001. De modo que, para una

velocidad de 29 – 30 m/h se tiene que en este traslape, los coeficientes evaluados estarían en un rango aceptable.

EDAD 0 - 3 MESES & VELOCIDAD 29 - 30 (m/h)

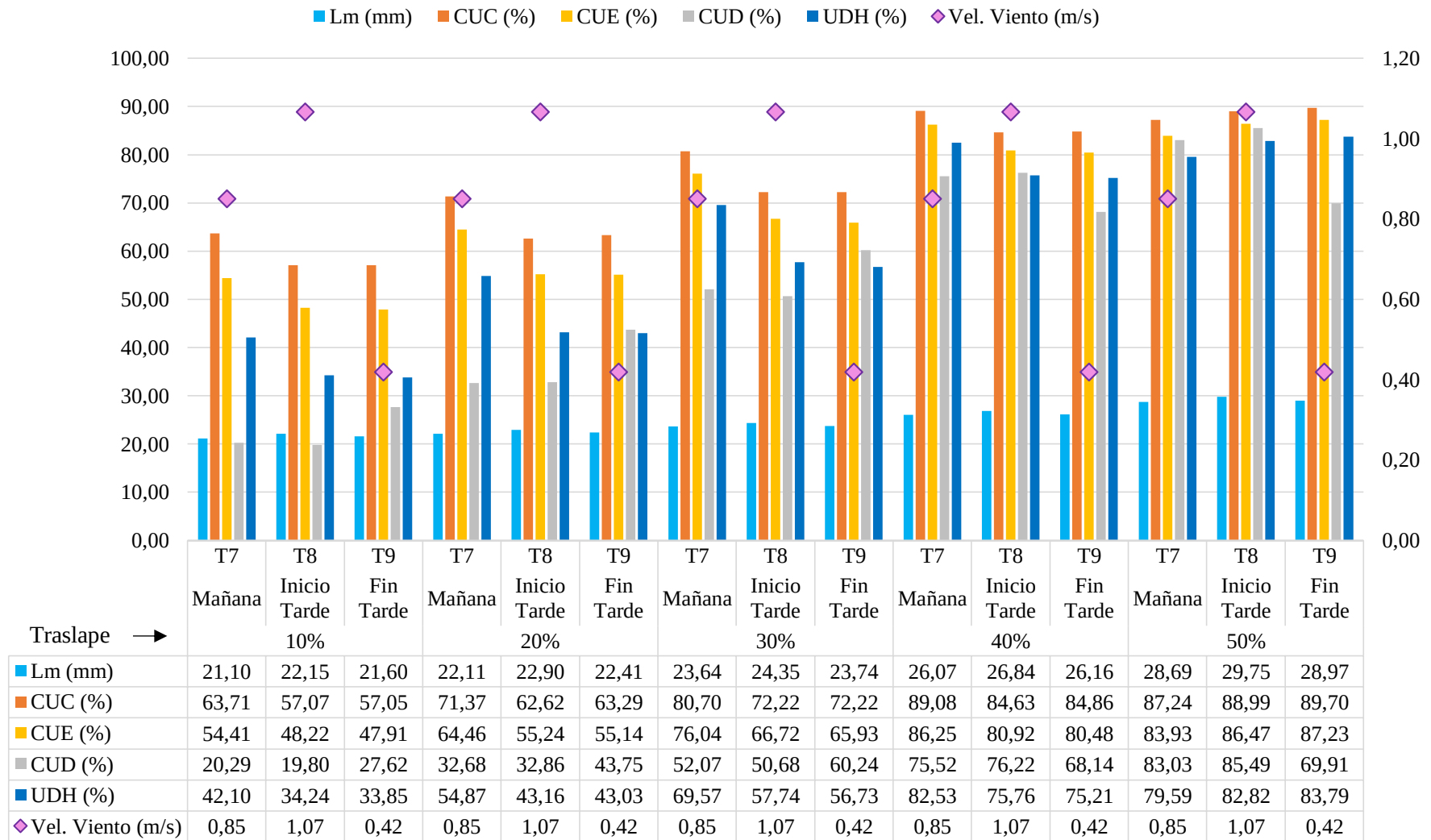


Figura 19. Valores de CUC, CUE, CUD y UDH para los diferentes traslapes simulados para el perfil de distribución de agua en condición de edad de cultivo de 0 – 3 meses y bajo una velocidad del cañón viajero de 29 – 30 m/h

6.2. Edad 3 – 6 meses

6.2.1. Velocidad de desplazamiento del Cañón viajero 19 – 20 m/h

El perfil de distribución que se presentó para una Ec de 3 – 6 meses y una velocidad programada de 19 – 20 m/h, se presenta en la figura 20.

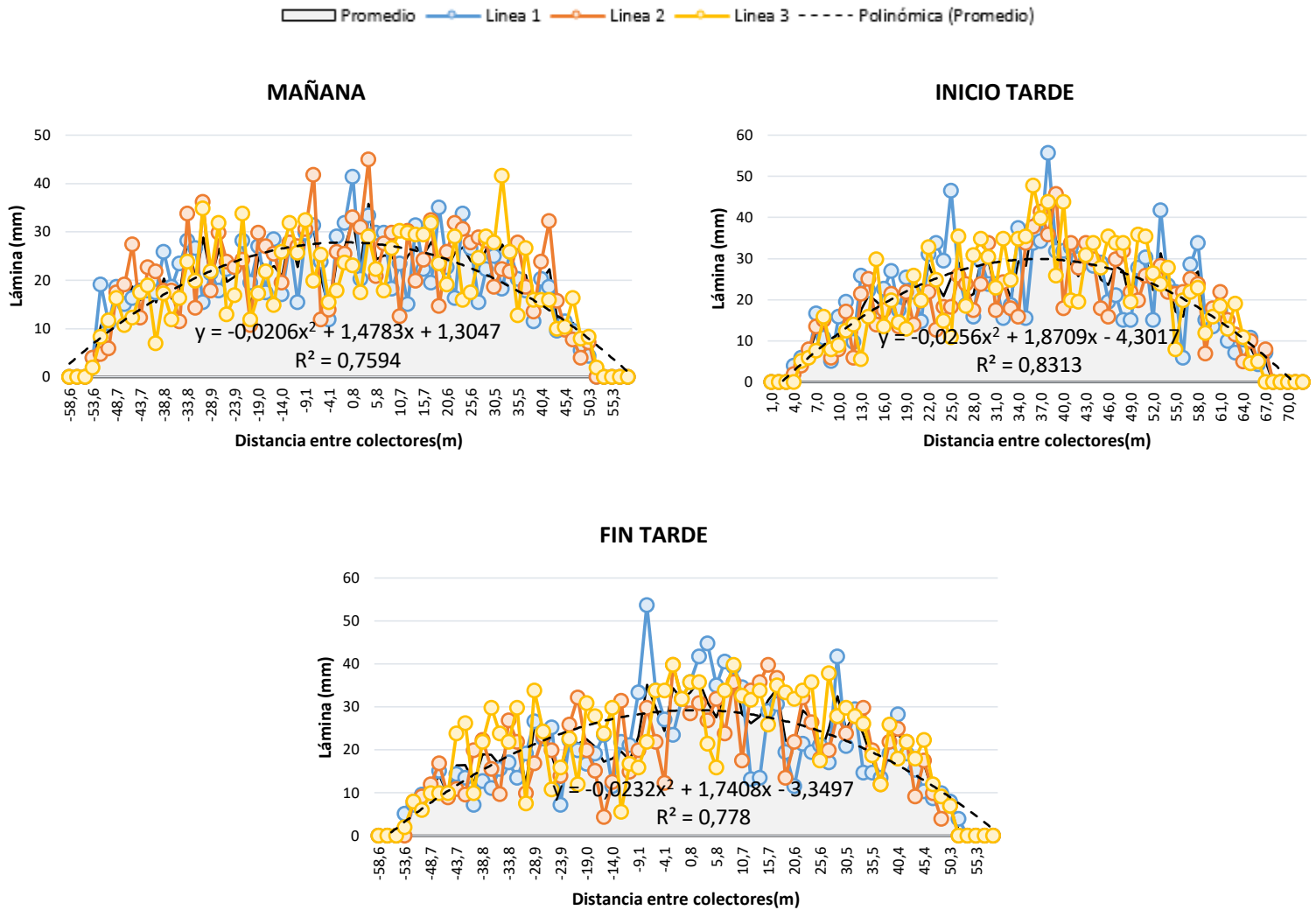


Figura 20. Perfil de distribución de agua del equipo en una edad del cultivo de 3 – 6 meses y una velocidad del cañón de 19 – 20 m/h.

De la figura 20, se puede observar que en la edad del cultivo de 3 – 6 meses la estructura foliar de la planta ejerce una interferencia ocasionando unos picos en el perfil de distribución del riego, de manera que el ajuste de la curva disminuye en comparación a la edad de 0 – 3 meses. Aun así, la curva que mejor representa el perfil de distribución del agua bajo las condiciones mencionadas fue la del horario del inicio de la tarde presentando un R^2 de 0.8313.

La tabla 8, muestra los coeficientes de uniformidad calculados con la información obtenida en las evaluaciones realizadas a una Vcv de 19 – 20 m/h para una edad de 3 – 6 meses.

Tabla 8. Coeficientes de uniformidad para la edad de cultivo de 3 – 6 meses, con una velocidad de desplazamiento del cañón de 19 – 20 m/h

Tratamiento	Ec (meses)	Vcv (m/h)	Horario	Lm (mm)	CUC (%)	CUE (%)	CUD (%)	UDH (%)	Vel. Viento (m/s)
T10	3 - 6	19 - 20	Mañana	18.94	56.20	45.58	25.33	30.89	1.05
T11			Inicio Tarde	18.86	47.93	36.17	17.02	18.94	1.02
T12			Fin Tarde	19.20	49.44	39.08	22.30	22.63	0.81

A pesar de que las condiciones de viento presentadas para T10, T11 y T12 fueron inferiores a 2.2 m/s, rango recomendado para sistemas autopropulsados (Sull y Dylla, 1979), se observa que la lámina media recolectada para cada uno de los tratamientos descritos fue menor en un 65% con respecto a la lámina programada (54.5 mm).

De igual forma, los CUC y CUD de las evaluaciones realizadas al cañón viajero para T10, T11 y T12 (Tabla 8), oscilaron entre 47% - 57% y 17 - 26% respectivamente, valores que según Mantovani, 2001, se clasifican como inaceptables para la operación del sistema de riego por aspersión.

Las simulaciones de los traslapes realizados en los perfiles de distribución del agua para T10, T11 y T12 se encuentran consignadas en los **Anexos J, H y L**, en los cuales, se puede observar que la lámina media del traslape del 50% para cada uno de los tratamientos tuvo un déficit de más del 50% de la lámina programada, es decir, que no es posible alcanzar esta lámina en ninguna de las simulaciones. De la misma manera, al comprar la lámina media de la edad de 3 – 6 meses bajo una condición de velocidad del cañón viajero de 19 – 20 m/h con la edad de 0 – 3 meses bajo las mismas condiciones de velocidad y horario se tiene que es menor en un 42% (mañana), 34% (inicio tarde) y 43% (tarde noche).

A partir de la información obtenida de los **Anexos J, H y L**, se procedió a calcular los coeficientes de evaluación mostrados en la figura 21. El T10, presentó el CUC y el CUD más alto para la simulación del traslape del 40%, con un valor correspondiente al 76.27% y 64.07% respectivamente, de modo que, entrarían en el rango razonable según la clasificación de Mantovani, 2001.

Respecto a los T11 y T12, los CUC y CUD simulados para el traslape de 40% entraron en la clasificación de malo, por lo cual, se hace necesario un mayor traslape para poder alcanzar el mínimo aceptable propuesto por Mantovani, 2001.

VELOCIDAD DE 19 - 20 m/h

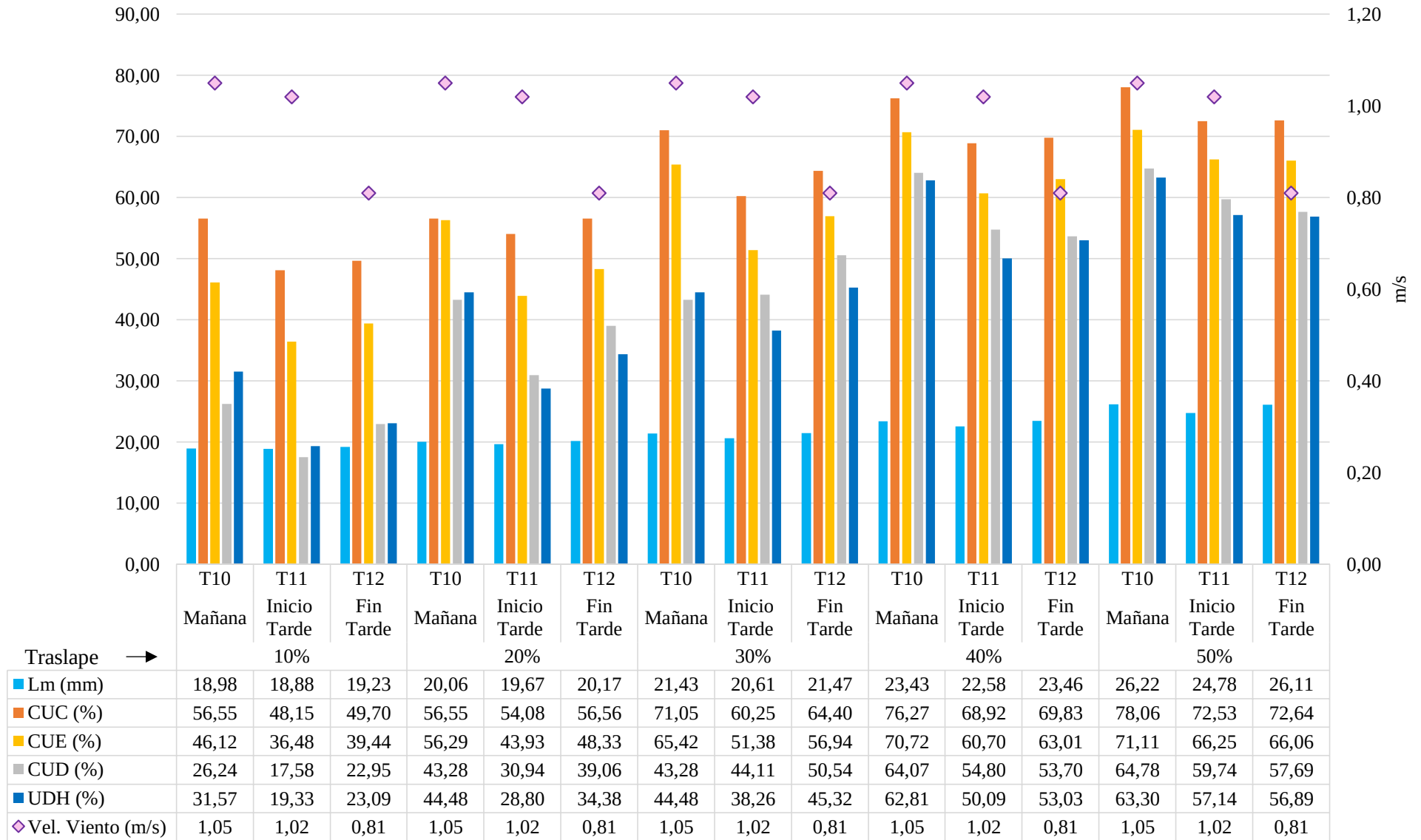


Figura 21. Valores de CUC, CUE, CUD y UDH para los diferentes traslapes simulados para el perfil de distribución de agua en condición de edad de cultivo de 3 – 6 meses y bajo una velocidad del cañón viajero de 19 – 20 m/h

6.2.2. Velocidad de desplazamiento del cañón 24 – 28 m/h

El perfil de distribución del agua del cañón viajero en condiciones de campo, para tres horarios de riego, mañana, inicio tarde y tarde noche y una velocidad de desplazamiento del cañón entre 24 – 28 m/h, se observa en la figura 22.

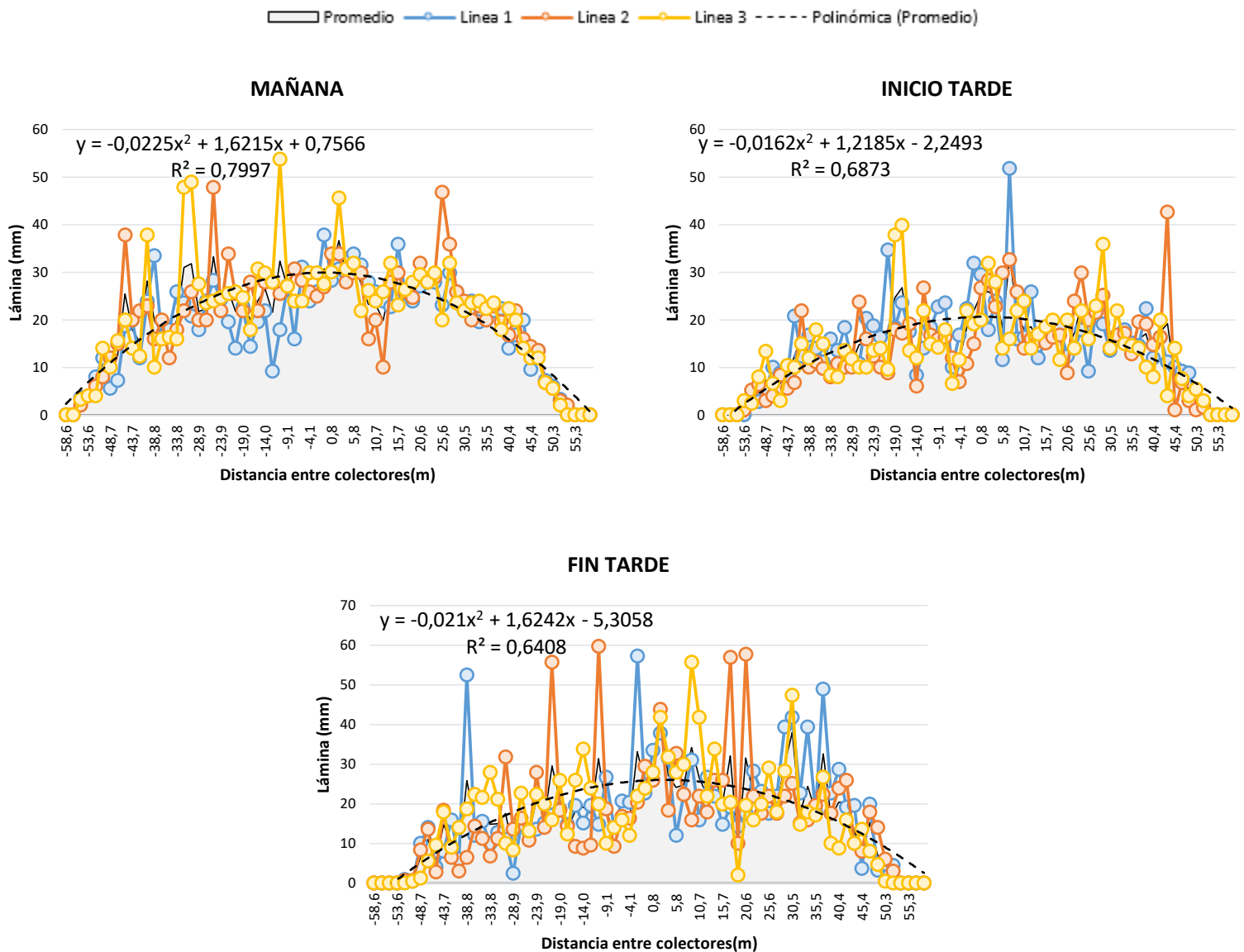


Figura 22. Perfil de distribución de agua del equipo en una edad del cultivo de 3 – 6 meses y una velocidad del cañón de 24 – 28 m/h.

La lámina media programada para las evaluaciones mencionadas fue de 41 mm, de manera que, se puede observar en la figura 22, que el perfil de distribución para el horario de la mañana, inicio tarde y fin de la tarde, presenta distorsiones en su distribución debido al desarrollo del cultivo, lo que ocasiona que la curva característica que describe la lámina aplicada se encuentre probablemente un 50.65%, 66.73% y 58.91% por debajo de la lámina programada.

Por otro lado, las evaluaciones realizadas presentaron unas condiciones de velocidad de viento entre 1.15 m/s – 0.78 m/s, estando por debajo de 2.2 m/s, lo cual, según Shull y Dylla, 1979, es un rango de velocidad de viento recomendado para sistemas autopropulsados. La tabla 9, muestra los coeficientes de uniformidad calculados con la información obtenida en las evaluaciones realizadas a una Vcv de 24 – 28 m/h para una edad de 3 – 6 meses.

Tabla 9. Coeficientes de uniformidad para la edad de cultivo de 3 – 6 meses, con una velocidad de desplazamiento del cañón de 24 – 28 m/h

Tratamiento	Ec (meses)	Vcv (m/h)	Horario	Lm (mm)	CUC (%)	CUE (%)	CUD (%)	UDH (%)	Vel. Viento (m/s)
T13	3 - 6	24 - 28	Mañana	20.23	57.78	46.26	28.23	31.75	1.12
T14			Inicio Tarde	13.64	49.81	34.10	19.72	16.30	0.78
T15			Fin Tarde	16.85	43.11	23.62	12.22	3.00	1.15

En las evaluaciones mencionadas en la tabla 9, se puede observar que los valores de CUC y CUD se encuentran en el rango de inaceptable, según las clasificaciones de Mantovani, 2001 y Bernando et al., 2006, lo que demuestra que para la edad y la velocidad evaluadas es necesario que haya un traslape entre la lámina de riego para lograr una mayor uniformidad. Estos resultados son similares a los encontrados en la investigación del rendimiento de un equipo de riego autopropulsado en condiciones de campo realizada por Rocha, 2005, en el cual, los resultados arrojaron que para las simulaciones de un ancho de banda húmedo correspondiente al 70% y 80% de los diámetros húmedos, la uniformidad de distribución del agua será mejor.

Las simulaciones de los traslapes correspondientes a los perfiles de distribución de agua realizados para T13, T14 y T15 se encuentran consignados en los **Anexos M, N y O**; de los cuales, se puede observar que la lámina media simulada para cada uno de los horarios evaluados, presenta en ciertos puntos específicos de la evaluación la lámina esperada por lo que se puede decir que el cultivo presentaría un déficit en la lámina estando en su mayoría por debajo de la programada para todos los traslapes.

Teniendo en cuenta la información obtenida de los **Anexos M, N y O**, se calcularon los coeficientes de evaluación expuestos en la figura 23. Para el T13, el traslape de 10% (traslape actual del ingenio), presento unos CUC y CUD bajos que se clasifican en un rango de inaceptable, los cuales, solamente aumentaron un 1.35% y 3.20% con respecto a las condiciones de campo iniciales (sin traslape), mientras que para los demás tratamientos este traslape es insignificante.

Por otro lado, las simulaciones de los traslapes de 30% y 50% presentaron valores de CUC y CUD por encima del valor límite del rango razonable propuestos por Mantovani, para T13 y T14 respectivamente. Esta situación muestra que la uniformidad aumenta a medida que se tenga más traslape entre las láminas de agua distribuidas por el cañón viajero. No obstante, el valor más alto de CUC que se encuentra es de 80.22%, correspondiente a un traslape de 40% (condición de máximo traslape), ya que las superposiciones más grandes causaran una disminución en los valores de uniformidad; estos resultados se pueden constatar en la evaluación de uniformidad de distribución de un sistema de riego propulsado realizada por Souza et al., 2014.

VELOCIDAD DE 24 - 28 m/h

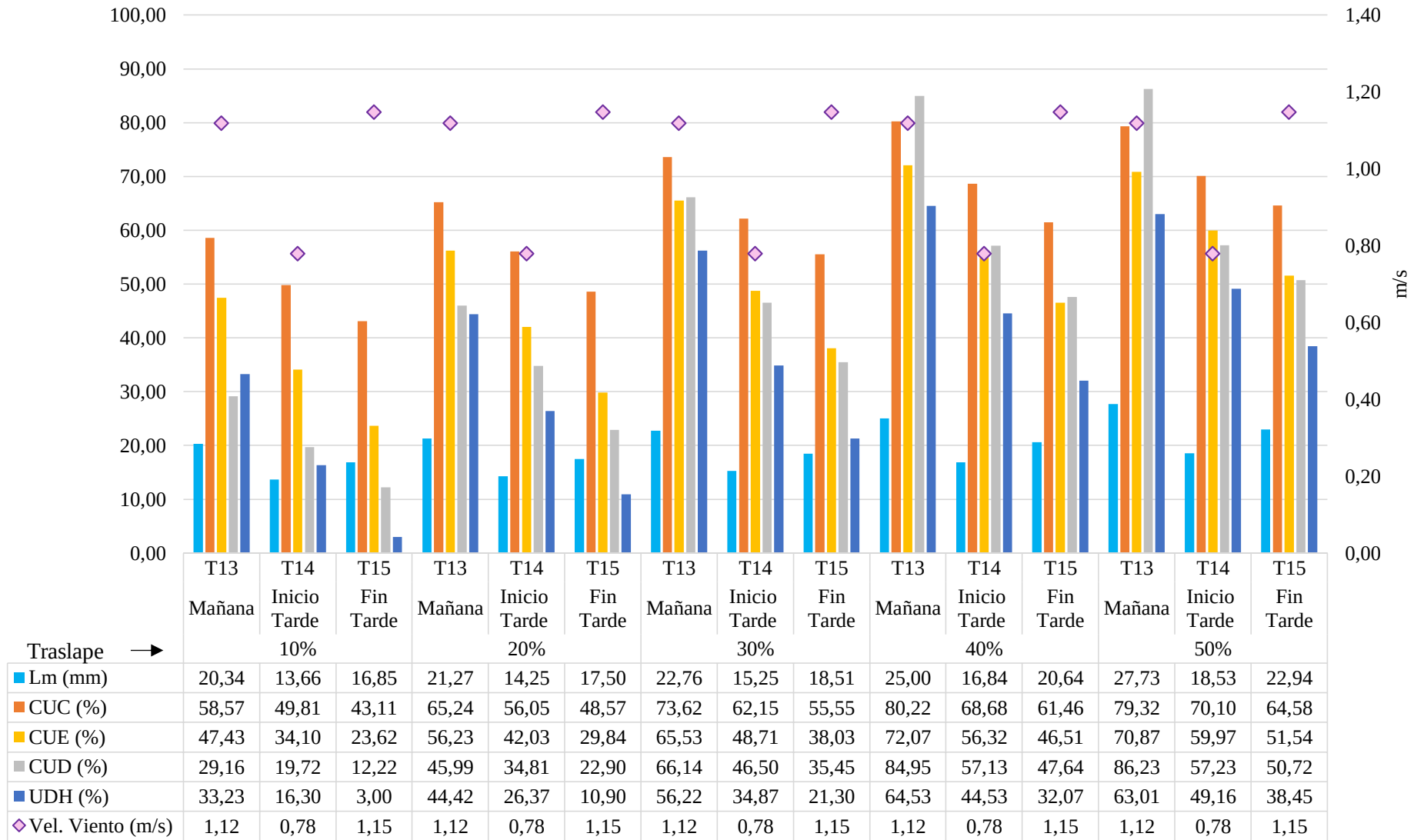


Figura 23. Valores de CUC, CUE, CUD y UDH para los diferentes traslapes simulados para el perfil de distribución de agua en condición de edad de cultivo de 3 – 6 meses y bajo una velocidad del cañón viajero de 24 – 28 m/h

6.2.3. Velocidad de desplazamiento del cañón viajero entre 29 – 30 m/h

La Figura 24, muestra el perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de campo, bajo una velocidad de desplazamiento entre 29 – 30 m/h y una edad de cultivo de 3 – 6 meses, en los tres diferentes horarios de evaluación: mañana, inicio tarde y final de la tarde.

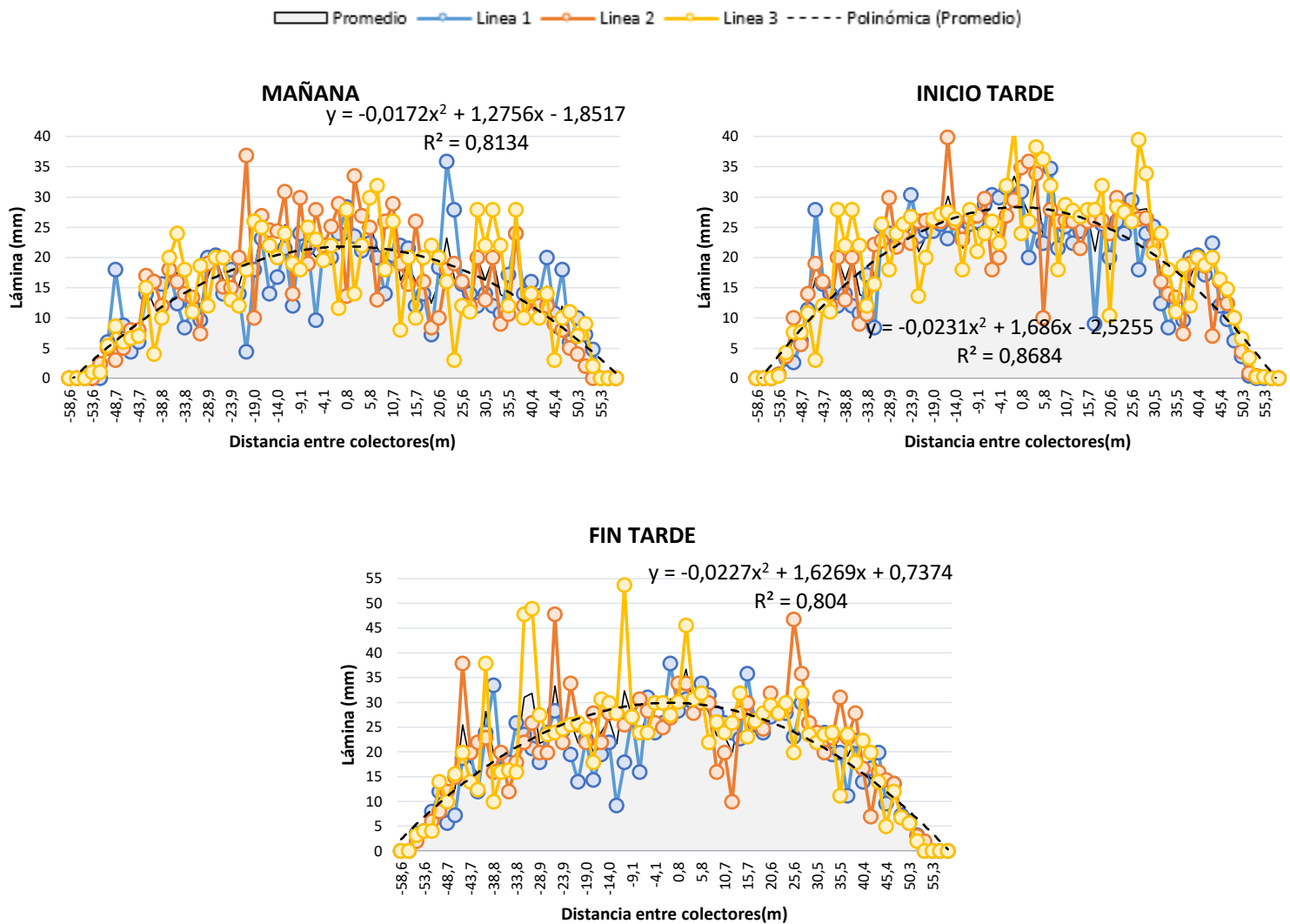


Figura 24. Perfil de distribución de agua del equipo en una edad del cultivo de 3 – 6 meses y una velocidad del cañón de 29 – 30 m/h.

De la figura anterior, se observa que el perfil de distribución para el horario de la mañana, inicio de la tarde y final de la tarde, la lámina media alcanza los valores más altos correspondiente a 26, 33 y 36 mm. Estos valores se encontraron para todas las evaluaciones realizadas a una distancia de 0 m, lo que indica que a medida que aumenta la distancia alcanzada por la lámina de riego, tanto en el lado derecho como en el izquierdo disminuye la precipitación provocando de esta manera que la curva que describe la trayectoria sea de manera parabólica. Esta información se puede corroborar con la investigación realizada por Souza et al., 2014, quien tuvo resultados similares.

Teniendo en cuenta la información obtenida de la figura 23, se calcularon los coeficientes de uniformidad presentados en la tabla 10.

Tabla 10. Coeficientes de uniformidad para la edad de cultivo de 3 – 6 meses, con una velocidad de desplazamiento del cañón de 29 – 30 m/h

Tratamiento	Ec (meses)	Vcv (m/h)	Horario	Lm (mm)	CUC (%)	CUE (%)	CUD (%)	UDH (%)	Vel. Viento (m/s)
T16	3 - 6	29 - 30	Mañana	14.38	50.79	40.08	21.30	23.91	0.66
T17			Inicio Tarde	18.34	52.18	43.53	20.91	28.29	0.64
T18			Fin Tarde	20.12	56.33	45.25	23.17	30.47	1.08

La velocidad de viento que se registró para T16, T17 y T18 fue entre 0.64 m/s y 1.08 m/s, encontrándose por debajo de límite máximo de la velocidad de viento para la operación de sistemas autopropulsados, rango recomendado por Shull y Dylla, 1979. Sin embargo, la lámina media recolectada en las evaluaciones representó solo un 40%, 51% y 56% con respecto a la recolectada, esto se pudo presentar tal vez por una variación en la velocidad del cañón viajero, sumado a la interferencia que existe entre los colectores y las hojas del cultivo.

Por otro lado, los valores de CUC de las evaluaciones mencionadas estuvieron entre 50 y 57%, estando por debajo de 80 y 70%, el cual, según Bernardo et al., 2006 y Mantovani, 2001, se encuentra por debajo del límite aceptable para un riego por aspersión. De igual manera, el CUD se encuentra en el mismo rango, con valores entre 20 y 24%.

Según Addink et al. (1983), los coeficientes de uniformidad de la aplicación de agua de un equipo autopropulsado disminuyen si la velocidad de desplazamiento del rociador a lo largo del portador no es constante. Estos autores informan en la literatura se encontraron valores extremos de hasta un 60% de variación en la velocidad de desplazamiento autopropulsada. Por lo tanto, se ratifica que es necesario la implementación de un traslape con el fin de tener una mejor uniformidad en la distribución del agua y una homogeneidad en la lámina de agua por todo el campo a irrigar.

En los **Anexos P, Q y R**, se presentan las simulaciones de traslape de los perfiles de distribución de agua por el cañón viajero, en el cual, se observa una distorsión en las curvas correspondientes a la lámina de agua aplicada, en donde, en algunos puntos se ve acumulación de agua que podrían generar exceso hídrico en el cultivo.

Teniendo en cuenta la información obtenida de los **Anexos P, Q y R**, se calcularon los coeficientes de evaluación descritos en la figura 25. Para T18, se tiene que cumple con un CUC y CUD por encima del límite aceptable propuesto por Mantovani, 2001 en un traslape correspondiente al 30%. En cuanto a los demás tratamientos, los valores de CUC y CUD aceptables para un riego por aspersión se cumplieron en un traslape del 40%.

Al comprar las simulaciones correspondientes a los traslapes del 10 y 20% con las condiciones de operación en campo (sin traslape), los valores de CUC aumentan tan solo entre 0% – 2% (traslape 10%) y entre 10 %– 13% (traslape de 20%); en cuanto a la lámina de riego se tiene un aumento de tan solo un 5%. En estas circunstancias y considerando que el traslape que maneja el ingenio es tan

solo de un 10%, la lámina y los coeficientes de uniformidad no estarían su valor idóneo por lo que se recomienda un traslape del 40% cuando se tenga estas situaciones de operación.

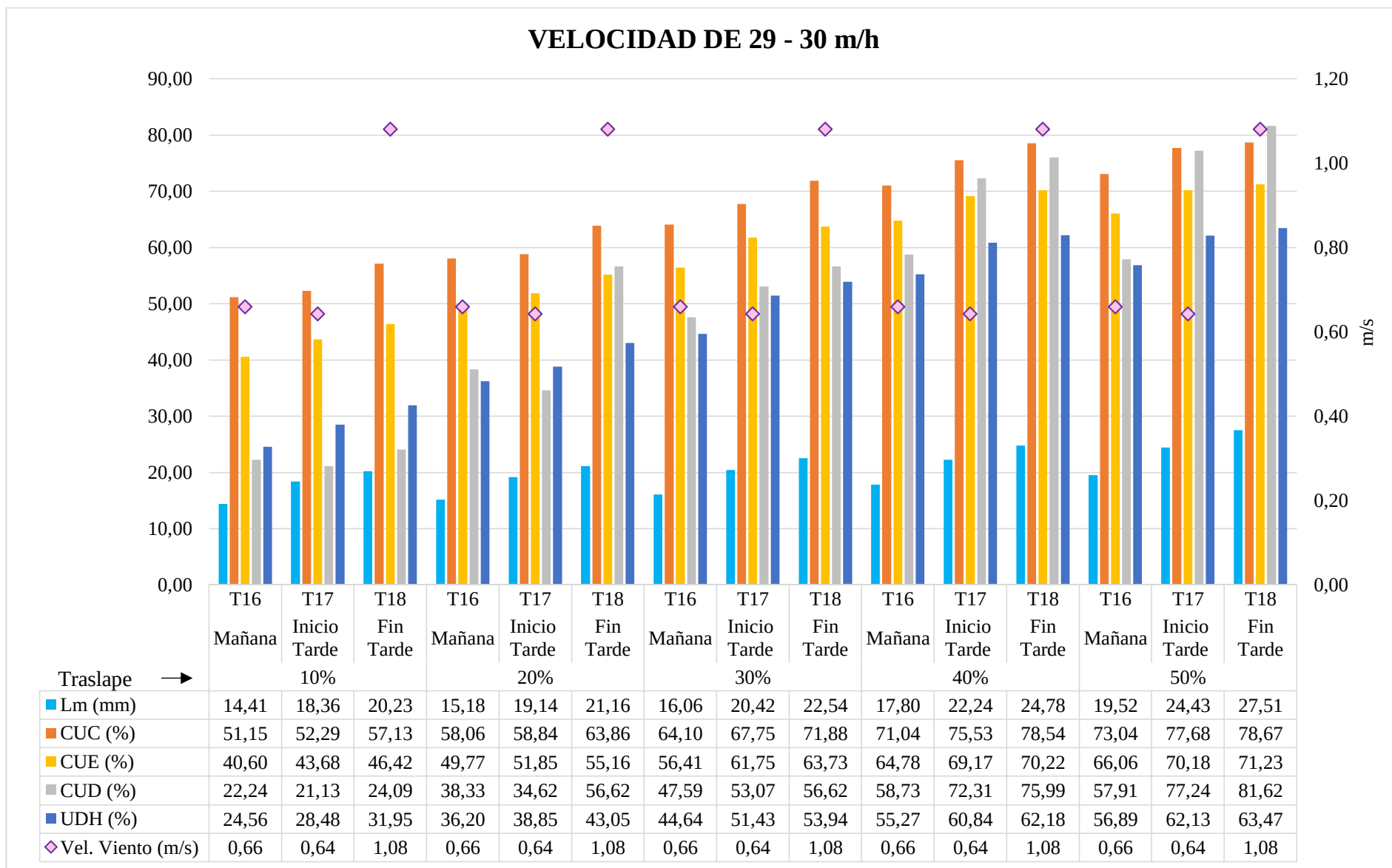


Figura 25. Valores de CUC, CUE, CUD y UDH para los diferentes traslapes simulados para el perfil de distribución de agua en condición de edad de cultivo de 3 – 6 meses y bajo una velocidad del cañón viajero de 29 – 30 m/h

6.3. Edad 6 – 9 meses

6.3.1. Velocidad de desplazamiento del cañón viajero entre 19 – 20 m/h

El perfil de distribución del agua del cañón viajero en condiciones de campo, para tres horarios de riego, mañana, inicio tarde y tarde noche y una velocidad de desplazamiento del cañón entre 19 – 20 m/h, se observa en la figura 26.

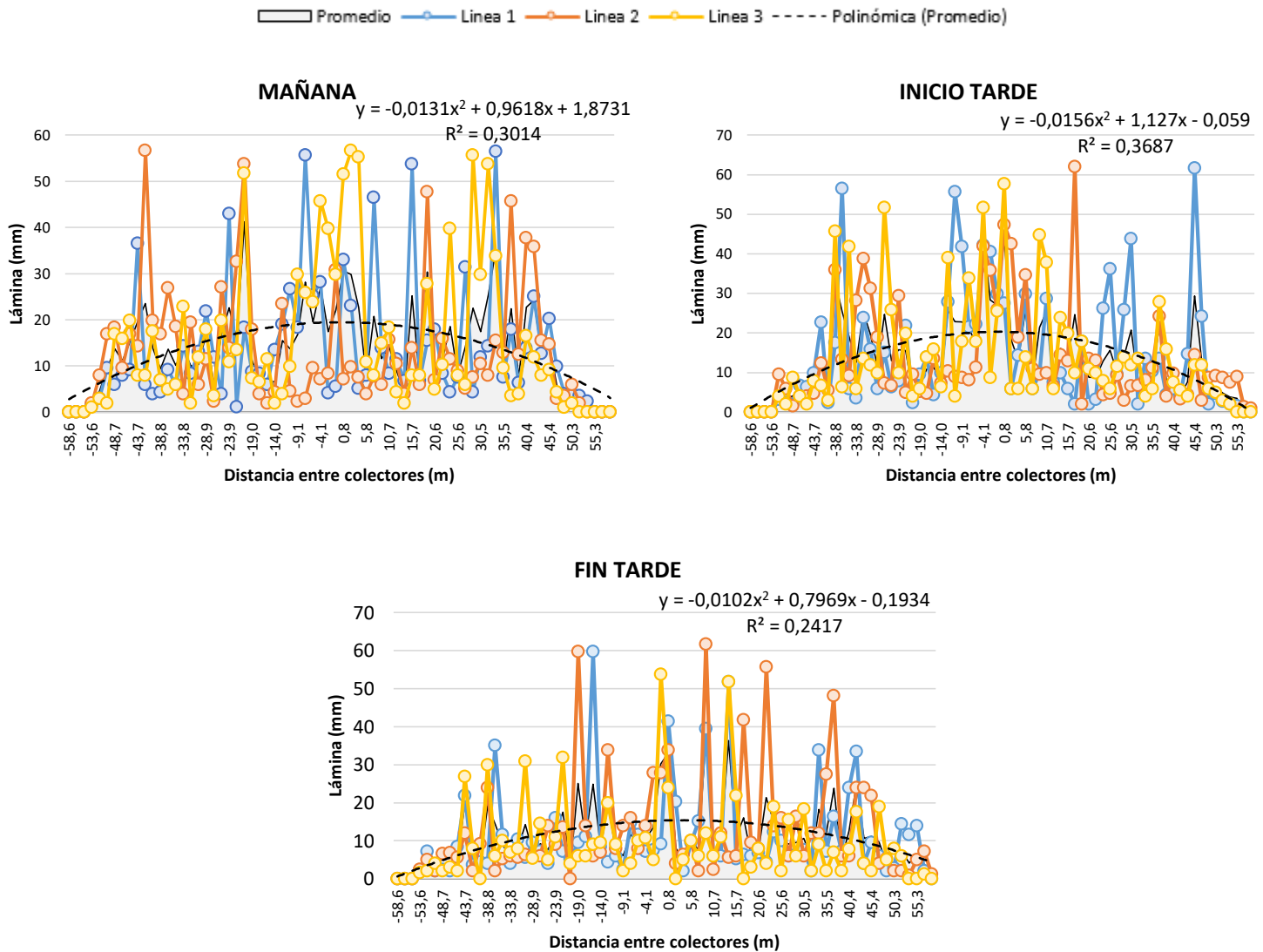


Figura 26. Perfil de distribución de agua del equipo en una edad del cultivo de 6 – 9 meses y una velocidad del cañón de 19 – 20 m/h.

Teniendo en cuenta la figura anterior, se observa como el patrón que describe la trayectoria de la lámina de agua arrojada por el cañón viajero no presenta un buen ajuste con el modelo parabólico, teniendo un R^2 menor a 0.4. Comparando esta situación, con las evaluaciones realizadas para esta misma velocidad, se evidencia como resalta la interferencia que hacen las hojas del cultivo con la lámina, puesto que, a mayor edad mayor desarrollo del cultivo.

La tabla 11, presenta los coeficientes de evaluación calculados con la información obtenida de la figura 26.

Tabla 11. Coeficientes de uniformidad para la edad de cultivo de 6 – 9 meses, con una velocidad de desplazamiento del cañón de 19 – 20 m/h

Tratamiento	Ec (meses)	Vcv (m/h)	Horario	Lm (mm)	CUC (%)	CUE (%)	CUD (%)	UDH (%)	Vel. Viento (m/s)
T19	6 - 9	19 - 20	Mañana	13.83	24.61	-1.42	12.57	-28.80	0.39
T20			Inicio Tarde	13.59	23.99	-1.24	14.29	-28.57	0.78
T21			Fin Tarde	10.92	23.10	-12.12	13.97	-42.40	0.89

Las evaluaciones mencionadas en la tabla 11, registraron una velocidad de viento entre 0.39 m/s – 0.90 m/s, estando por debajo de 2.2 m/s, es decir, que el parámetro de velocidad de viento para la operación del cañón viajero fue idóneo durante las evaluaciones. Sin embargo, la lámina media recolectada para T19, T20 y T21 represento solo el 25%, 25% y 20% de la lámina programada respectivamente. Al mismo tiempo, si comparamos esta lámina con la de las evoluciones que tenían una velocidad del cañón viajero entre 19 m/h– 20 m/h, se tiene que es la más baja.

Los CUC y CUD presentaron valores entre 23 % – 25% y 12 % – 15% respectivamente, quedando por debajo de 70% y 52%, es decir, que se clasifican en un rango inaceptable para un sistema de riego por aspersión.

En los **Anexos S, T y U**, se encuentran las simulaciones de los traslapes de los perfiles de distribución de agua por el cañón viajero para los tratamientos mencionados, en donde se observa que la lámina media de agua simulada para cada uno de los tratamientos se encuentra por debajo de 25 mm. Además, se observa una acumulación de agua en los extremos del perfil de distribución de agua para las simulaciones de los traslapes del 50%, 60% y 70%, en consecuencia, la curva característica que describe este comportamiento comienza a tener una forma convexa. De igual forma, si comparamos los perfiles de distribución para una velocidad de 19 m/h – 20 m/h para las diferentes edades de cultivo, se observa que la lámina media de agua más baja se encuentra para la edad de 6 – 9 meses.

De acuerdo con la información obtenida en las simulaciones, se calcularon los coeficientes de evaluación presentados en la figura 27 y 28. La lámina media, presentó los valores más altos para las simulaciones de los traslapes del 90%, aumentando entre un 5% – 10% entre cada traslape. Sin embargo, para los coeficientes de evaluación no sucedió así, puesto que, como se explicó anteriormente, en los perfiles de distribución simulados para este traslape, se ve un aumento en los extremos de la franja de riego.

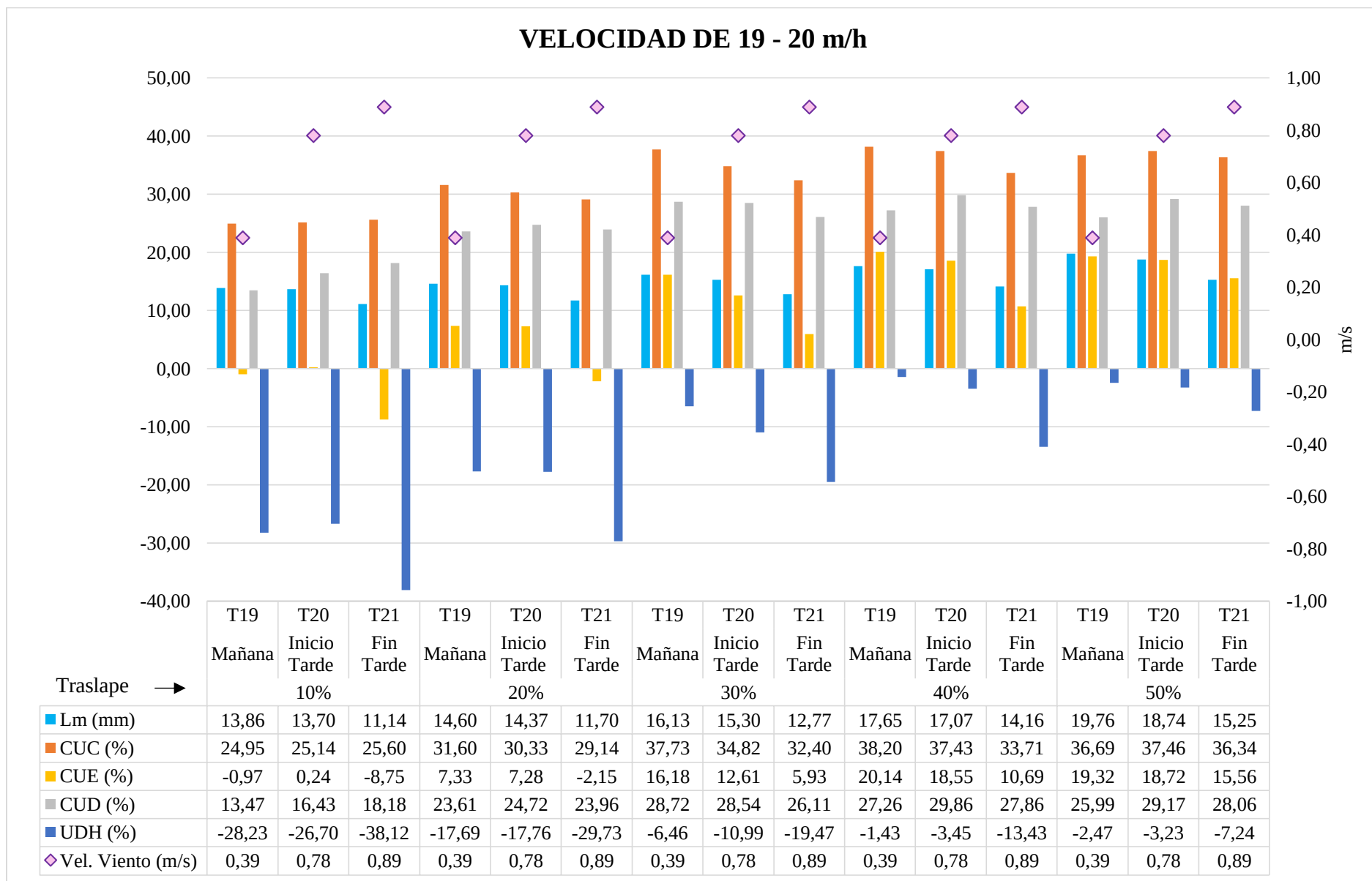
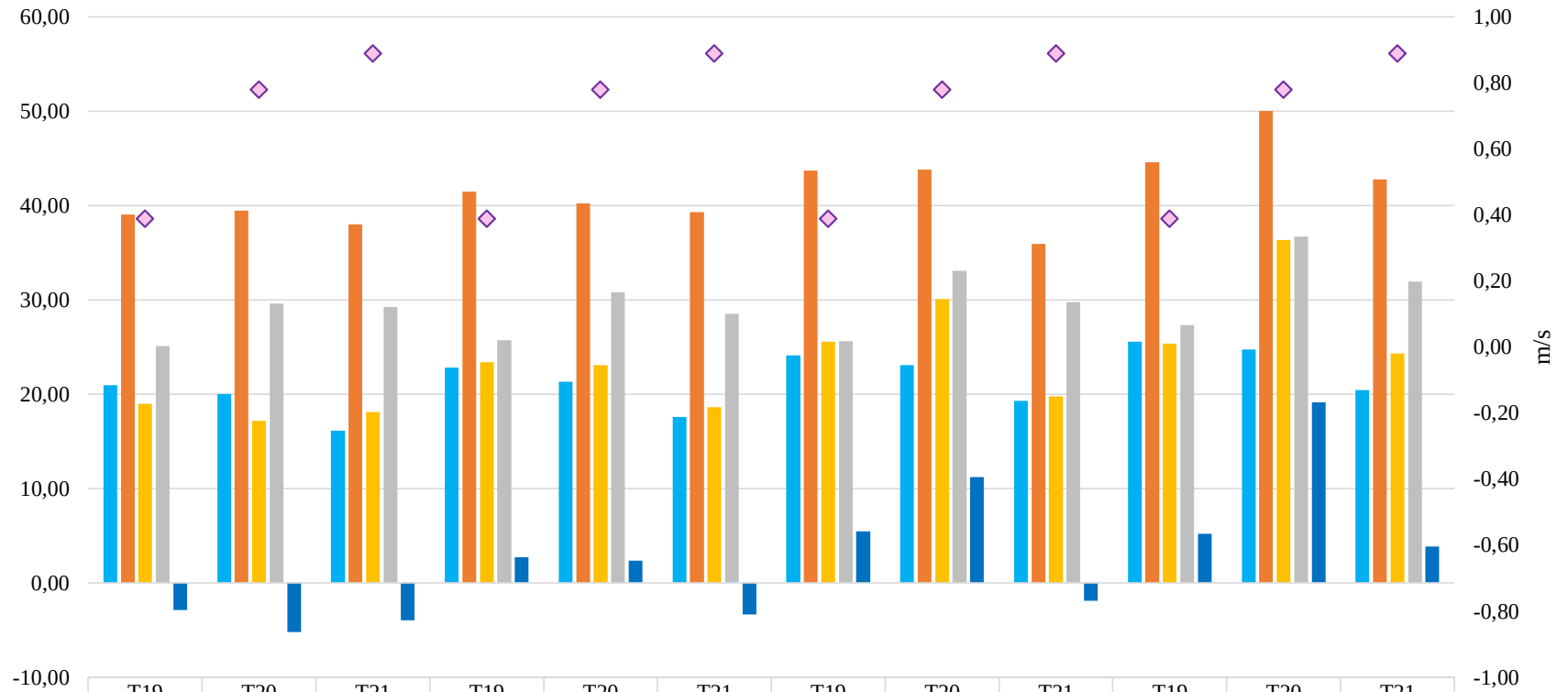


Figura 27. Valores de CUC, CUE, CUD y UDH para los diferentes traslapes simulados para el perfil de distribución de agua en condición de edad de cultivo de 6 – 9 meses y bajo una velocidad del cañón viajero de 19 – 20 m/h

VELOCIDAD DE 19 - 20 m/h



Traslape →	T19 Mañana	T20 Inicio Tarde 60%	T21 Fin Tarde	T19 Mañana	T20 Inicio Tarde 70%	T21 Fin Tarde	T19 Mañana	T20 Inicio Tarde 80%	T21 Fin Tarde	T19 Mañana	T20 Inicio Tarde 90%	T21 Fin Tarde
■ Lm (mm)	20,96	20,02	16,12	22,81	21,32	17,61	24,13	23,11	19,30	25,58	24,73	20,45
■ CUC (%)	39,03	39,48	38,00	41,49	40,26	39,31	43,73	43,83	35,93	44,61	50,04	42,79
■ CUE (%)	19,00	17,17	18,13	23,38	23,11	18,61	25,58	30,10	19,76	25,37	36,34	24,31
■ CUD (%)	25,14	29,62	29,28	25,74	30,79	28,52	25,62	33,10	29,78	27,33	36,71	31,96
■ UDH (%)	-2,87	-5,20	-3,98	2,69	2,35	-3,37	5,48	11,23	-1,90	5,22	19,16	3,88
◆ Vel. Viento (m/s)	0,39	0,78	0,89	0,39	0,78	0,89	0,39	0,78	0,89	0,39	0,78	0,89

Figura 28. Valores de CUC, CUE, CUD y UDH para los traslapes simulados de 60%, 70%, 80% y 90% del perfil de distribución de agua en condición de edad de cultivo de 6 – 9 meses y bajo una velocidad del cañón viajero de 19 – 20 m/h

El CUC, presento valores máximos entre 42% – 50% para los diferentes tratamientos, mostrando un aumento entre el 20% y 30% con respecto a los CUC iniciales (sin traslape). No obstante, estos valores no fueron mayores al 70% (límite mínimo para riego por aspersión), es decir, que se encuentra en un rango inaceptable.

Con respecto a CUE, se presentaron valores negativos para T19 y T21 en el traslape del 10%, de lo que indica que la desviación que existe entre las láminas recolectadas con respecto a la lámina media es realmente significativa. Además, los valores máximos que se presentaron para CUE, estuvieron en los traslapes simulados del 80% y 90% correspondientes a 25.58%, 36.34% y 24.31%, los cuales, estuvieron por debajo del valor propuesto por Frizzzone et al., 2018, quien expresa que los valores adecuados de CUE para riego por aspersión, deben ser superiores a 75%.

Por otro lado, en la simulación de los traslapes de 9% se presentaron los valores máximos de CUD correspondiente a 27.33% para T19, 36.71% para T20 y 31.96% para T21; estos valores se encuentran por debajo de 52%, lo que indica que son inaceptables para riego por aspersión.

6.3.2. Velocidad de desplazamiento del cañón viajero entre 24 – 28 m/h

Para una edad de cultivo entre 6 – 9 meses, en tres horarios de riego, mañana, inicio tarde y tarde noche y una velocidad de desplazamiento del cañón entre 24 – 28 m/h, se presentaron los siguientes perfiles de distribución del agua por el equipo en condiciones de campo (Figura 29).

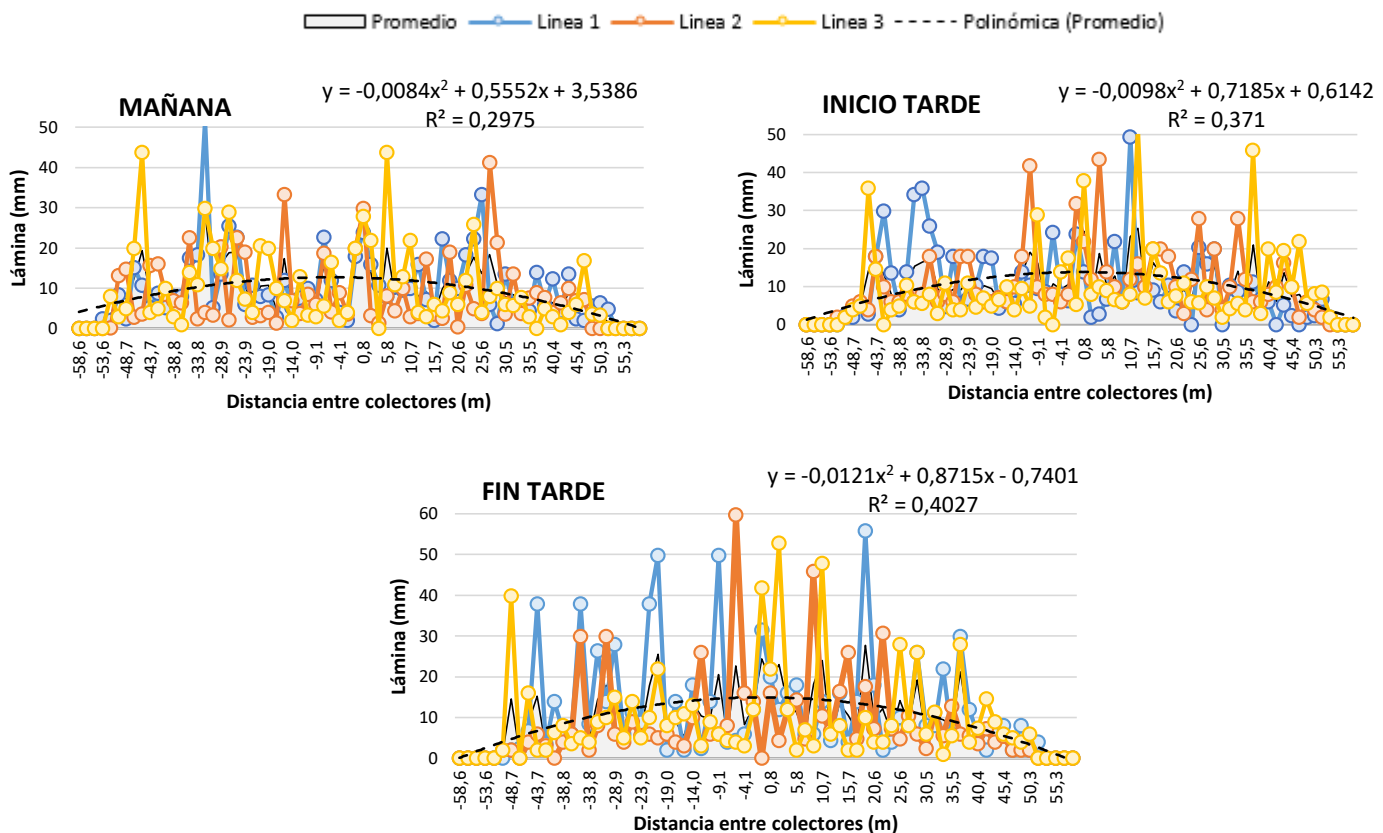


Figura 29. Perfil de distribución de agua del equipo en una edad del cultivo de 6 – 9 meses y una velocidad del cañón de 24 – 28 m/h.

En la figura 29, se observa el comportamiento de la lámina aplicada por el cañón viajero sobre el área de evaluación, en el cual, se corrobora que se presentaron las mismas condiciones que para la velocidad de 19 – 20 m/h y edad de cultivo de 6 – 9 meses, en donde se exhibe la interferencia que hace el cultivo con la pluviometría.

La tabla 12, muestra los coeficientes de uniformidad calculados con la información obtenida en las evaluaciones realizadas a una Vcv de 24 – 28 m/h para una edad de 6 – 9 meses.

Tabla 12. Coeficientes de uniformidad para la edad de cultivo de 6 – 9 meses, con una velocidad de desplazamiento del cañón de 24 – 28 m/h

Tratamiento	Ec (meses)	Vcv (m/h)	Horario	Lm (mm)	CUC (%)	CUE (%)	CUD (%)	UDH (%)	Vel. Viento (m/s)
T22	6 - 9	24 - 28	Mañana	9.03	25.33	0.17	10.32	-26.79	0.80
T23			Inicio Tarde	9.62	29.63	0.46	11.75	-26.42	0.79
T24			Fin Tarde	9.76	17.72	-18.29	7.36	-50.23	0.45

La lámina media programada para las evaluaciones mencionadas en la tabla 12, fue de 41 mm, de la cual, se obtuvo una lámina media recolectada entre 9 – 10 mm, es decir, que estuvo por debajo en más del 75%. Igualmente, al comparar esta lámina con la de los tratamientos T4, T5, T6, T13, T14 y T15 en donde se presentó las mismas condiciones de velocidad y lámina media programada se tiene que es la más baja, por lo que se corrobora que la interferencia que hace el cultivo en una edad de 6 – 9 meses genera una disminución significativa en la lámina media.

La velocidad del viento que se registró para T22, T23 y T24, estuvo entre 0.45 – 0.80, por lo que se puede decir, que los valores presentados fueron aceptables para la operación de sistemas autopropulsados. Sin embargo, los CUC y CUD presentaron valores por debajo de 70% y 52%, por lo que, se clasifica como inaceptable para riego por aspersión. Si se compara el CUC con los coeficientes de las evaluaciones que presentaron una velocidad del cañón entre 24 – 28 m/h, se tiene que para las edades de cultivo de 0 – 3, 3 – 6 y 6 – 9 meses el valor mínimo de CUC fue de 62.14%, 43.11% y 17.72% respectivamente, es decir, que se presenta una reducción entre 19.03% y 25.39% entre cada uno.

En los **Anexos V, W y X**, se presenta las simulaciones de los traslapes de los perfiles de distribución de agua por el cañón viajero para T22, T23 y T24, en donde, se observa que a pesar de que exista un traslape que permite generar una mejor uniformidad la distorsión en el perfil de la lámina siempre se encuentra presente. Al mismo tiempo, se evidencia que no se presentan mejoras en la curva que representa la lámina media para un traslape de 10% con respecto al perfil de distribución de agua para las condiciones de campo (sin traslape).

Con la información obtenida de los **Anexos V, W y X**, se calcularon los coeficientes de uniformidad presentados en la figura 30 y 31. La lámina media, presento un aumento entre 46% – 47% para el traslape del 90% con respecto a las condiciones iniciales (sin traslape). Sin embargo, este aumento es pequeño comparado con la lámina programada donde se tendría un déficit entre 23 y 24 mm. De igual forma, si comparamos los valores máximos simulados de lámina media para

T22, 23 y 24 con las láminas medias recolectadas en las condiciones campo (sin traslape), para las edades de cultivo entre 0 – 3 y 3 – 6 meses, se observa que se encuentra por debajo de ellas.

Para la simulación del traslape del 90%, el CUC presento un aumento entre el 19% y 20% con respecto a las condiciones iniciales de evaluación (sin traslape), alcanzando un valor máximo entre 38 % – 49%. A pesar de lo anterior, no se alcanzó el límite mínimo para riego por aspersión (CUC = 70%), por lo que se clasifica en un rango inaceptable. De la misma forma, el CUD tuvo la misma clasificación que el CUC presentando valores por debajo de 52%.

Por otro lado, T24 registró valores negativos de CUE en los traslapes del 10%, 20% y 30%, es decir, que existe una desviación significativa entre los datos recolectados de lámina con respecto a la lámina media. Para los traslapes del 40% al 90% se presentaron valores positivos, pero menores a 75%, por lo tanto, se clasifica como un valor inadecuado para riego por aspersión. De igual forma, T22 y T23 presento valores inadecuados de CUE, es decir, por debajo de 75%.

El UDH, presento valores negativos para las simulaciones de los traslapes del 10%, 20%, 30% y 40%, lo que indica que no se tuvo una distribución normal para estas evaluaciones (Frizzzone et al., 2018).

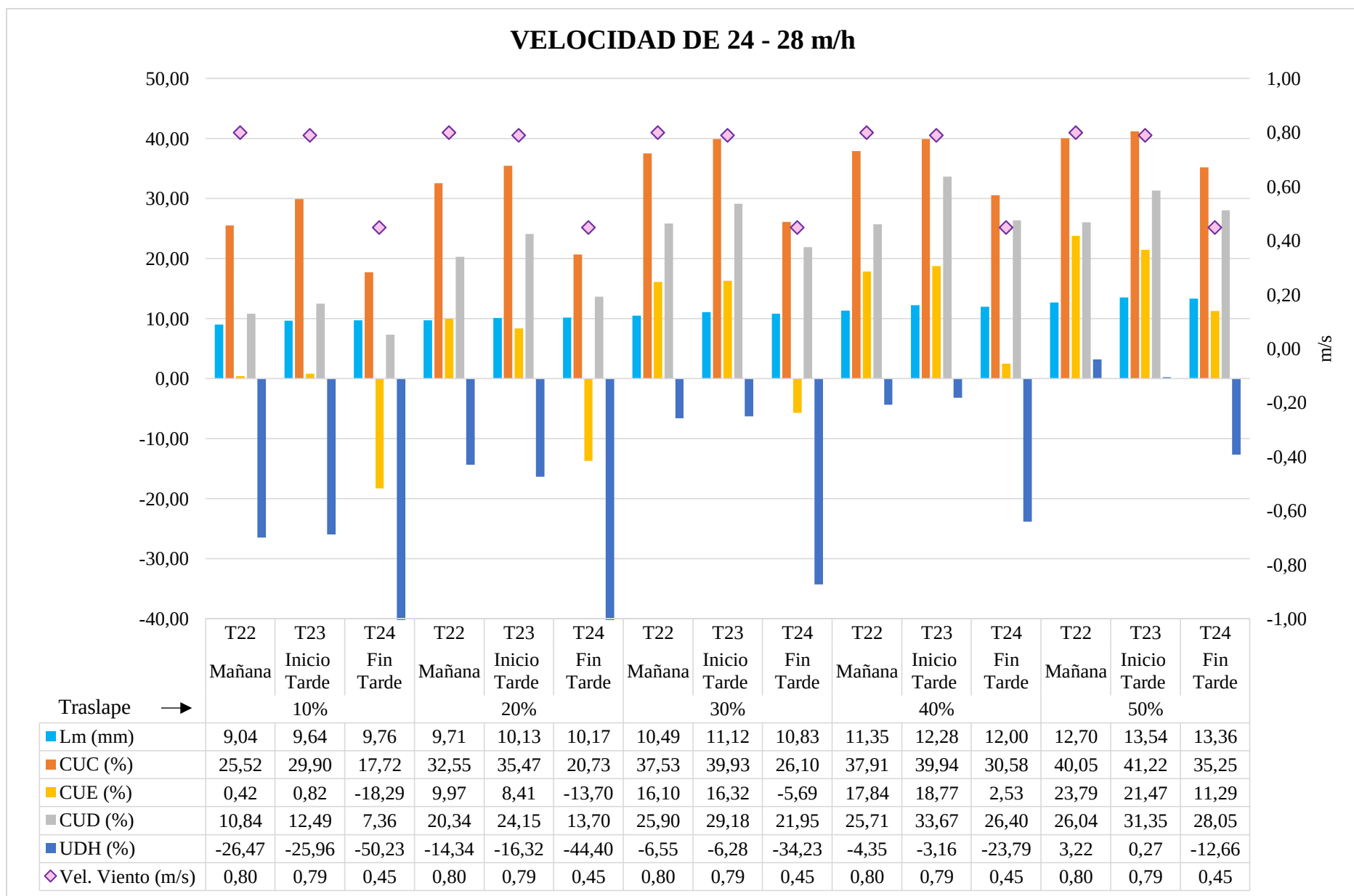


Figura 30. Valores de CUC, CUE, CUD y UDH para los diferentes traslapes simulados para el perfil de distribución de agua en condición de edad de cultivo de 6 – 9 meses y bajo una velocidad del cañón viajero de 24 – 28 m/h

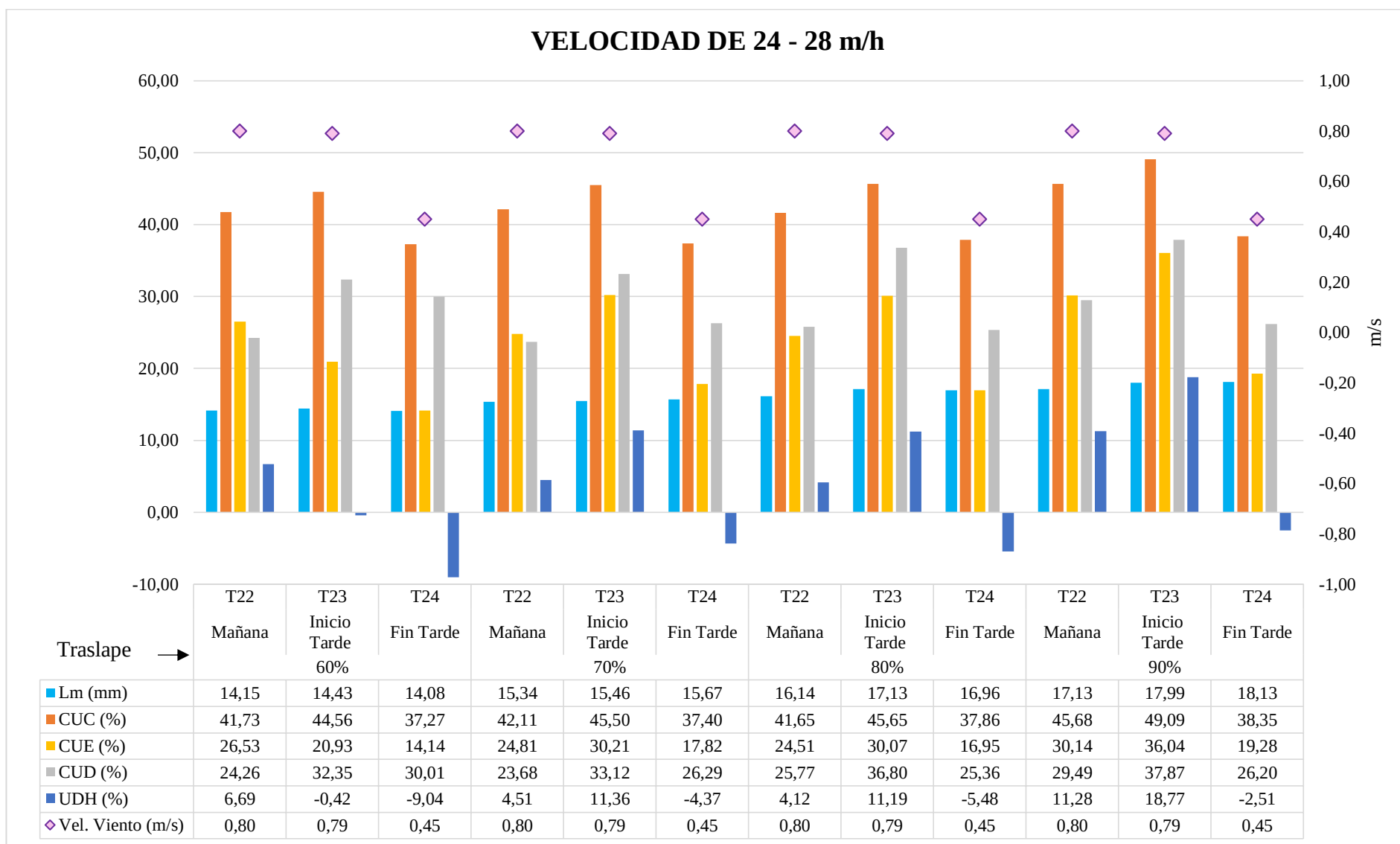


Figura 31. Valores de CUC, CUE, CUD y UDH para los traslapes simulados de 60%, 70%, 80% y 90%, de los perfiles de distribución de agua en condición de edad de cultivo de 6 – 9 meses y bajo una velocidad del cañón viajero de 24 – 28 m/h

6.3.3. Velocidad de desplazamiento del cañón viajero entre 29 – 30 m/h

El perfil de distribución del agua por cañón viajero en condiciones de campo, para una edad de cultivo entre 6 – 9 meses y una velocidad de desplazamiento del cañón entre 29 – 30 m/h, bajo tres horarios de riego, mañana, inicio tarde y tarde noche, se presenta en la figura 32.

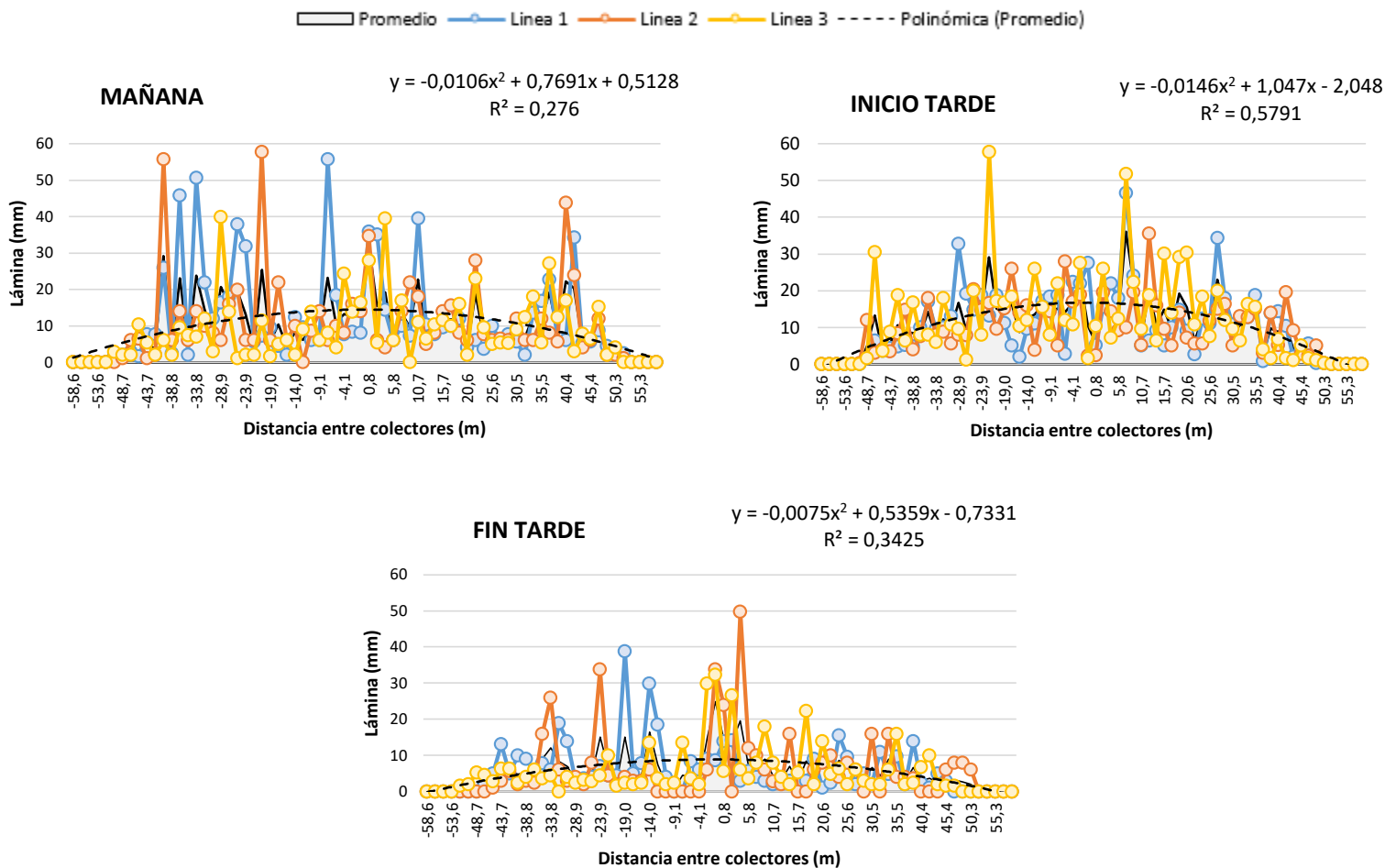


Figura 32. Perfil de distribución de agua del equipo en una edad del cultivo de 6 – 9 meses y una velocidad del cañón de 29 – 30 m/h.

Teniendo en cuenta la información obtenida de la figura 32, se calcularon los coeficientes de evaluación y eficiencia descritos en la tabla 13.

Tabla 13. Coeficientes de uniformidad para la edad de cultivo de 6 – 9 meses, con una velocidad de desplazamiento del cañón de 24 – 28 m/h

Tratamiento	Ec (meses)	Vcv (m/h)	Horario	Lm (mm)	CUC (%)	CUE (%)	CUD (%)	UDH (%)	Vel. Viento (m/s)
T25	6 - 9	29 - 30	Mañana	9.89	23.03	-11.96	7.60	-42.19	0.82
T26			Inicio Tarde	10.47	29.97	8.37	6.15	-16.37	0.49
T27			Fin Tarde	5.62	11.45	-35.07	0.00	-71.54	0.73

La velocidad del viento que se registró para T25, T26 y T27 fue de 0.49 m/s, 0.82 m/s y 0.73 m/s (Tabla 13), los cuales, se encuentran por debajo de 2.2 m/s, es decir, que la velocidad del viento es aceptable para la operación de los sistemas de riego por aspersión. Sin embargo, la lámina media recolectada represento menos del 30% de la lámina programada, por lo que se concluye que una de las causas mayores para que esto ocurra es la interferencia que se ha presentado para la edad de 6 – 9 meses (Figura 32).

El CUD, presentó un valor de 0% para T27, es decir, que el 25% del área total irrigada no presento riego; para T25 y T26 CUD estuvo por debajo de 52%, por lo que se clasifican en un rango inaceptable para riego por aspersión. En cuanto a CUC, presento valores por debajo de 70%, es decir, que entran en la misma clasificación que el CUC. Así mismo, al compararlo con los demás tratamientos evaluados, se evidencio que el valor más bajo se presentó para T27 correspondiente a 11.45%.

En los **Anexos Y, Z y AA** se presentan las simulaciones de los traslapes de los perfiles de distribución de agua para T25, T26 y T27. Es importante analizar, que en la simulación del traslape de 10%, la curva que describe la trayectoria de la lámina aplicada es la misma que para las condiciones iniciales de operación (sin traslape), es decir, el r^2 es el igual. Por consiguiente, se debe tener presente que se podría tener déficit en la lámina de agua aplicada y una baja uniformidad en el riego, debido a que el Ingenio actualmente opera con un traslape del 10%.

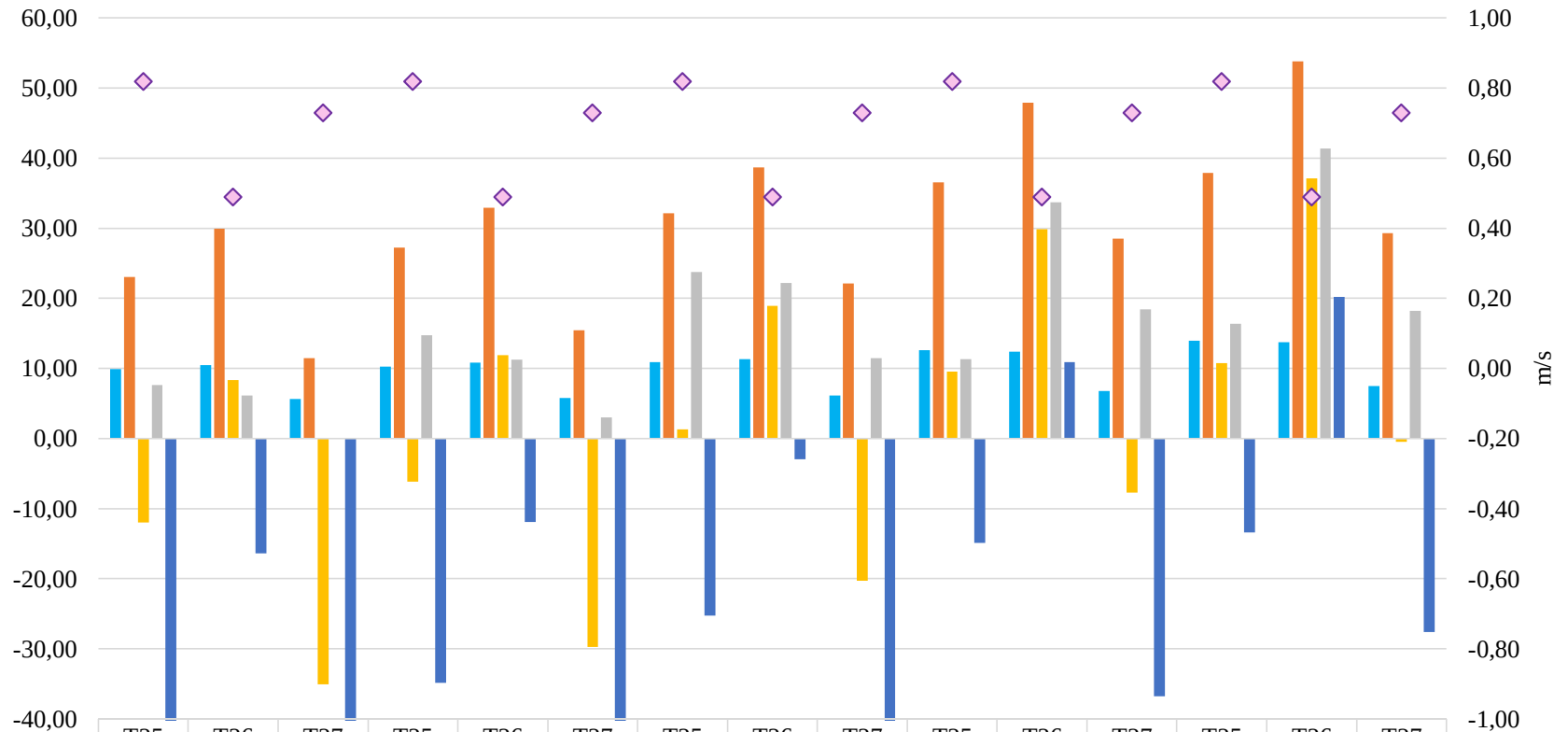
Teniendo en cuenta la información obtenida en los anexos 25, 26 y 27, se calcularon los coeficientes de evaluación expuestos en la figura 33. La lámina media simulada registro sus valores máximos para un traslape de 90%, aumentando entre 44% - 47% con respecto a la lámina media recolectada en condiciones de campo iniciales (sin traslape). Sin embargo, esta lámina representa menos de 60% de la lámina programada para las evaluaciones descritas.

Para T25, T26 y T27, los valores máximos de CUC se presentaron en la simulación de traslape de 90%, correspondiente a 42.93%, 58.38% y 32.73%, sin embargo, estos valores no sobrepasan el límite mínimo para riego por aspersión (Figura 34).

Con respecto a T27, presento valores negativos de UDH en la simulación de todos los traslapes, por lo que se, analiza que a pesar de tener un traslape de 90% la uniformidad baja y desviación entre los datos no es posible corregirla, es decir, que no se tuvo una distribución normal para estas evaluaciones (Frizzzone et al., 2018).

Para el CUE se presentó valores por debajo de 40%, es decir, que existe una dispersión alta entre los datos de lámina recolectados para cada evaluación con respecto a la lámina media.

VELOCIDAD DE 29 - 30 m/h



Traslape →	T25 Mañana	T26 Inicio Tarde 10%	T27 Fin Tarde	T25 Mañana	T26 Inicio Tarde 20%	T27 Fin Tarde	T25 Mañana	T26 Inicio Tarde 30%	T27 Fin Tarde	T25 Mañana	T26 Inicio Tarde 40%	T27 Fin Tarde	T25 Mañana	T26 Inicio Tarde 50%	T27 Fin Tarde
Lm (mm)	9,89	10,47	5,62	10,24	10,80	5,80	10,89	11,33	6,15	12,58	12,41	6,79	13,98	13,73	7,52
CUC (%)	23,03	29,97	11,45	27,22	32,94	15,48	32,11	38,70	22,15	36,54	47,93	28,52	37,86	53,84	29,28
CUE (%)	-11,96	8,37	-35,07	-6,16	11,90	-29,72	1,34	18,95	-20,28	9,55	29,86	-7,71	10,73	37,15	-0,49
CUD (%)	7,60	6,15	0,00	14,71	11,27	2,99	23,79	22,18	11,44	11,31	33,73	18,40	16,40	41,37	18,22
UDH (%)	-42,19	-16,37	-71,54	-34,83	-11,89	-64,74	-25,29	-2,93	-52,75	-14,88	10,93	-36,79	-13,37	20,18	-27,62
Vel. Viento (m/s)	0,82	0,49	0,73	0,82	0,49	0,73	0,82	0,49	0,73	0,82	0,49	0,73	0,82	0,49	0,73

Figura 33. Valores de CUC, CUE, CUD y UDH para los diferentes traslapes simulados para el perfil de distribución de agua en condición de edad de cultivo de 6 – 9 meses y bajo una velocidad del cañón viajero de 29 – 30 m/h

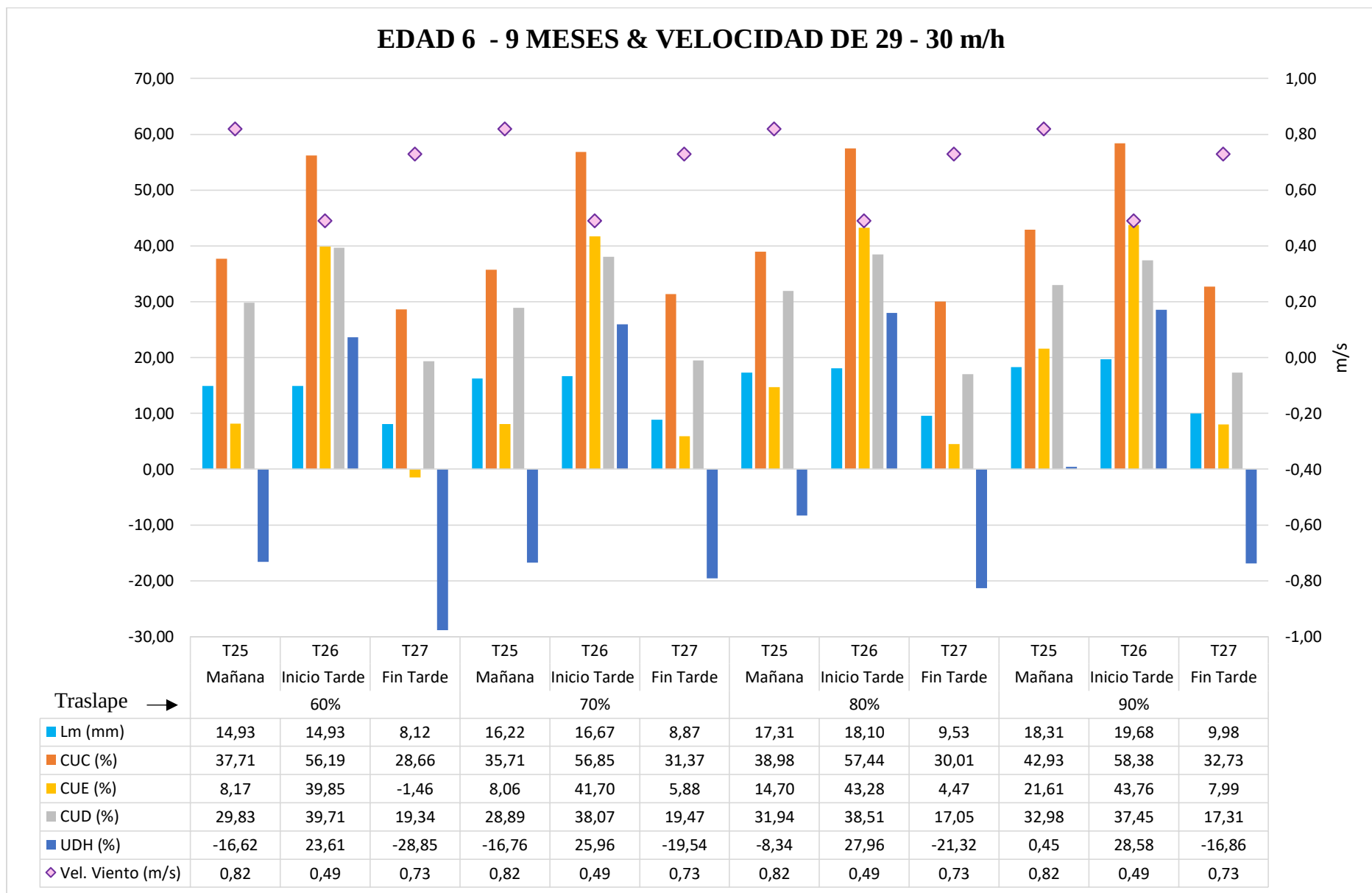


Figura 34. Valores de CUC, CUE, CUD y UDH para las simulaciones de los traslape de 60%, 70%, 80% y 90% para las condiciones de edad de cultivo de 6 – 9 meses, velocidad de desplazamiento del cañón viajero de 29 – 30 m/h y horario de mañana, inicio tarde y fin de la tarde.

7. CONCLUSIONES

7.1. Objetivo específico 1

- Se encontró que los perfiles de distribución en condiciones de campo (sin traslape), presentan coeficientes de uniformidad por debajo de los valores recomendados, es decir, CUC, CUD y CUE por debajo de 70%, 52% y 75% respectivamente, clasificándose como inaceptable para riego por aspersión. Por lo tanto, se hace necesario que exista una superposición entre cañones para mejorar la uniformidad de riego.

7.2. Objetivo específico 2

- Para la edad de cultivo entre 0 y 3 meses, las condiciones óptimas de operación se presentaron, para un traslape del 30% en el horario de la mañana y con una velocidad de desplazamiento del cañón de 24 – 28 m/h, arrojando un valores de CUC, CUD y CUE de 84.28%, 66.22%, 81.51% respectivamente.
- Para la edad de cultivo entre 3 y 6 meses, las condiciones óptimas de operación se presentaron, para un traslape del 50% en el horario de la mañana y con una velocidad de desplazamiento del cañón de 19 – 20 m/h, arrojando un valores de CUC, CUD y CUE de 78.06%, 71.11%, 64.78% respectivamente
- Las simulaciones realizadas para la edad de cultivo entre 6 y 9 meses, presentaron un mejor desempeño del cañón viajero, teniendo sus valores máximos de CUC, un traslape del 90%, bajo condiciones de horario de la mañana, para una velocidad de 19 – 20 m/h. Sin embargo, estos estuvieron por debajo del 70%, por lo que se clasifican en un rango de inaceptable para riego por aspersión.

7.3. Objetivo específico 3

- Se encontró que a medida que el traslape aumenta, el perfil de distribución que representa la lámina aplicada se asemejan a una forma lineal, volviendo el riego más uniforme sobre el área evaluada. Sin embargo, esta no es igual a la lámina programada para el riego, lo cual, debe tenerse en cuenta para la programación de los riegos pues estaría representando un déficit de lámina aplicada con respecto a la programada.
- Se demostró que para una edad de cultivo entre de 6 y 9 meses, la interferencia que hace la estructura foliar de la planta con respecto a la pluviometría arrojada ocasiona una desviación en la lámina media, por lo cual, los valores de CUC y CUD para las velocidades evaluadas estuvieron entre 32% - 58% y 17% - 38% respectivamente, en un traslape correspondiente al 90%, es decir, que la interferencia del cultivo sobre la uniformidad representa más del 12% de pérdida de la uniformidad.

8. FUTURAS INVESTIGACIONES

Para futuras investigaciones sería ideal realizar una evaluación de la humedad en el suelo después de realizar la labor de riego, midiendo la humedad del área irrigada cada 12 horas hasta llegar a 48 horas. Por otra parte, sería factible evaluar la viabilidad económica del sistema por aspersión, calculando los costos de riego, costos fijos y variables del sistema y la tasa de retorno. Por último, sería importante realizar una evaluación del control administrativo del riego por aspersión con cañón viajero, calculando el área regada por turno de riego, tiempo efectivo de riego, volumen de agua suministrado al equipo, la eficiencia de aplicación y administrativa.

9. BIBLIOGRAFIA

- Addink, J.W., Keller J., Pair, C.H., Sneed, R. E. & Wolfe, J. W. (1983). Desing and operation of sprinkler systems. In Jensen, M.E. (Eds.) Design and Operation of farm Irrigation Systems. St. Joseph: Transactions of ASAE: (No. 3). Pp. 621 – 662.
- Agricultureros.com | Red de Especialistas en Agricultura [Ilustración]. (2016). Riego pivote central. Recuperado 8 octubre, 2018, de: <http://agricultureros.com/riego-pivote-central/>
- Asocaña. (s.f.). El Sector Azucarero Colombiano En La Actualidad. Recuperado 8 octubre, 2018, de <http://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215>
- Bernardo, S., Soares, A. A., Mantovani, E. C. (2006). Manual de irrigação. (8º ed.). Viçosa – MG – UFV: Imprensa Universitária. Pp. 625.
- Cenicaña. (2015). Riego por surcos. Recuperado 8 octubre, 2018, de <http://www.cenicana.org/web/programas-de-investigacion/agronomia/manejo-de-aguas/metodos-de-aplicación-del-riego/riego-por-surcos>
- Christiansen, J. E. (1942). Irrigation by sprinkling. Berkeley, California: University of California, College of Agricultura, Agricultural Experiment Station.
- Cruz Valderrama, J.R. (2015). Manejo eficiente del riego en el cultivo de la caña de azúcar en el Valle geográfico del río Cauca. Cenicaña. Cali, Colombia. 192 p.
- Espinosa, E., San José, L & Zanettell, J. (2015). Evaluación de la calidad de riego de máquinas móviles (enrolladores). Ingeniería Agrícola, Vol. 5 (No. 3): pp. 29 – 34
- Fernández Gómez, R. (2010). Manual de riego para Agricultores. En Fernández Gómez, R., Milla Milla, M., Ávila Alabarcas, R., Berengena Herrera, J., Gavilán Zafra, P. & Oyonarte Gutiérrez N. A. (Eds.), Fundamentos del riego: manual y ejercicios (Módulo 1.). Sevilla, España: Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación.
- Fernández Gómez, R. (2010). Manual de riego para Agricultores. En Fernández Gómez, R., Milla Milla, M., Ávila Alabarcas, R., Berengena Herrera, J., Gavilán Zafra, P. & Oyonarte Gutiérrez, N. A. (Eds.), Riego por superficie (Módulo 2). Sevilla, España: Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación.
- Frizzone, J.A., Rezende, R., Camargo, A.P., Colombo, A. (2018). Irrigação por aspersão: Sistema Pivô Central. Maringá Eduem. Pp. 329 – 350.
- Frizzone, J.A. de Freitas, P.S. Rezende, R. de Faria, M.A. (2012). Microirrigacao: gotejamento e microaspersao. Maringá. Eduem, pp. 326
- Ley 373/1997, de 06 de junio de 1997, por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Diario oficial No. 43. 058, 11 de junio de 1997. http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley_0373_1997.pdf

- Liotta, M. A. (2003). El uso de sifones para riego. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Recuperado de <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-hi4sifriego.pdf>
- Mantovani, E.C. (2001). Avalia: Programa de Avaliação da irrigação por aspersão e localizada. Universidad Federal de Viçosa, Minas Gerais – Brazil.
- Montero Martínez, J. (2000). Análisis de la distribución de agua en sistemas de riego por aspersión estacionario: desarrollo del modelo de simulación de riego por aspersión (SIRIAS) (3ª ed.). Albacete, España: Ediciones de la universidad de Castilla – La Mancha.
- Nobre, F., Furtado, N., Batista, M., & Loureiro, F. (2017). Correlação da uniformidade da água de um autopropelido sob lançamento oblíquo. Revista brasileira de agricultura irrigada. Vol. 11 (No. 3): pp. 1500 – 1508
- Portal Caña [Ilustración]. (2019). La producción de caña de azúcar con riego por goteo crece en Honduras – Portal Caña. Recuperado 11 noviembre, 2019, de: <https://www.portalcana.com.ar/noticia/la-produccion-de-cana-de-azucar-con-riego-por-goteo-crece-en-honduras/>
- Bonomo, R., Mantovani, E. C., Souza, L. O., & Alves, A. (s.f.). Uniformidade de Aplicação de Água em Sistemas de Irrigação Pressurizados Utilizados na Cafeicultura Irrigada em Áreas de Cerrado de Minas Gerais. Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, pp. 839–841. Recuperado de http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/spcb_anais/simposio1/Irriga19.pdf
- Rocha, F., Pereira, G., Silva, F. & Olivera, J. (2005). Análise da uniformidade de distribuição de água de um equipamento autopropelido. Irriga, Botucatu, Vol. 10 (No.1): pp. 96 – 106.
- Souza, A., Campos, R., Nobre, F., Furtado, N., De Campos, F. & Batista, M. (2014). Uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por autopropelido. Irriga, botucatu, Edicion especial 01: pp. 94 – 103.
- Sull, H., Dylla, A.S. (1979). Traveling boom sprinkler operation in wind. Transactions of the ASAE, Vol. 22 (No. 3): pp. 537 – 539.
- Tarjuelo, J. M. (2005). El riego por aspersión. Castilla-La Mancha, España: Centro Regional de Estudios del Agua (CREA).
- Tarjuelo, J.M. (1991). El riego por aspersión: diseño y funcionamiento. Albacete, España: Ediciones de la Universidad de Castilla – La Mancha.
- Tornés, N., Gómez, Y. & Boicet, T. (2013). Evaluación de la calidad del riego de la maquina con enrollador modelo IRROMOTOR. Ciencias Técnicas Agropecuarias. Vol. 22 (No. 1): pp. 39 – 44.
- Torres Aguas, J. (1995). *Riegos*. Tomado de: CENICAÑA (1995). El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia (pp. 193 – 210). Cali, Colombia: CENICAÑA.

Zúñiga Martínez, E. (2004). Diseño y evaluación del riego a presión. San José, Costa rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica.

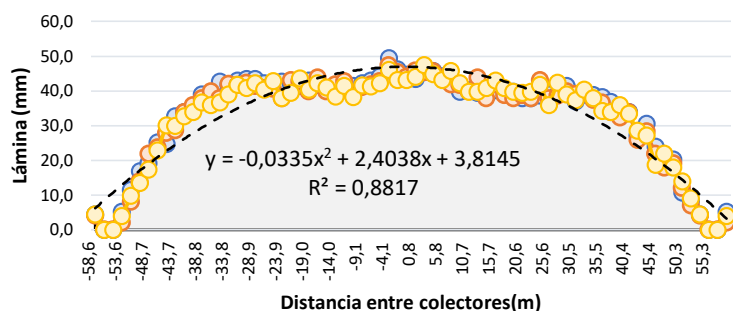
10. ANEXOS

10.1. Anexo A.

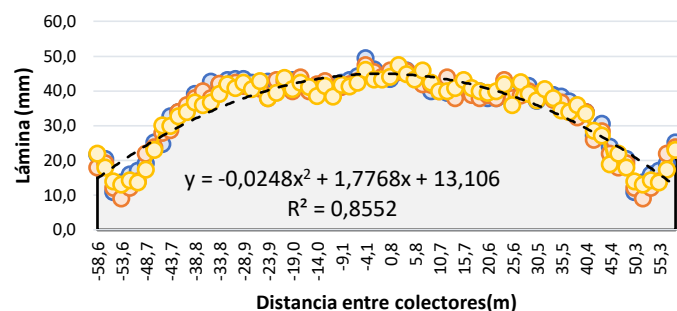
10.1.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 0 – 3 meses, en el horario de la mañana y una velocidad de 19 – 20 m/h.

Promedio
 —○— Línea 1
 —○— Línea 2
 —○— Línea 3
 - - - - Polinómica (Promedio)

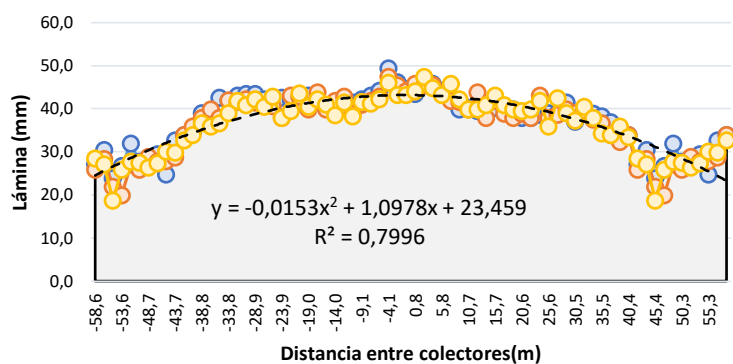
TRASLAPE 10 %



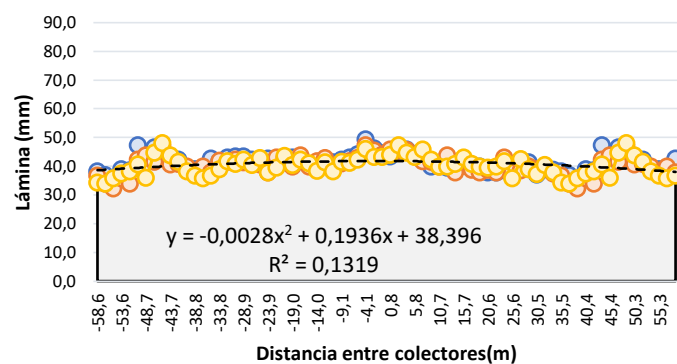
TRASLAPE 20 %



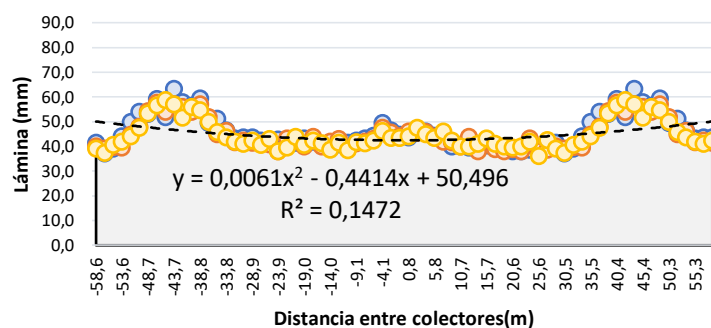
TRASLAPE 30 %



TRASLAPE 40 %



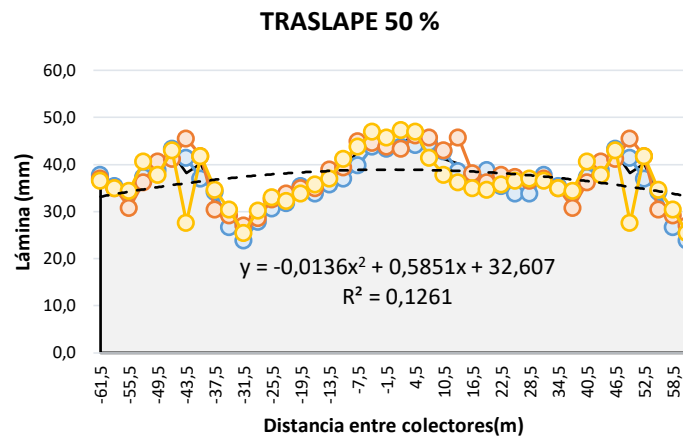
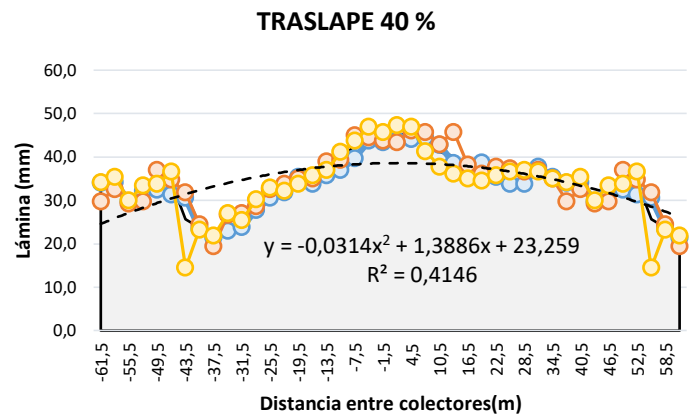
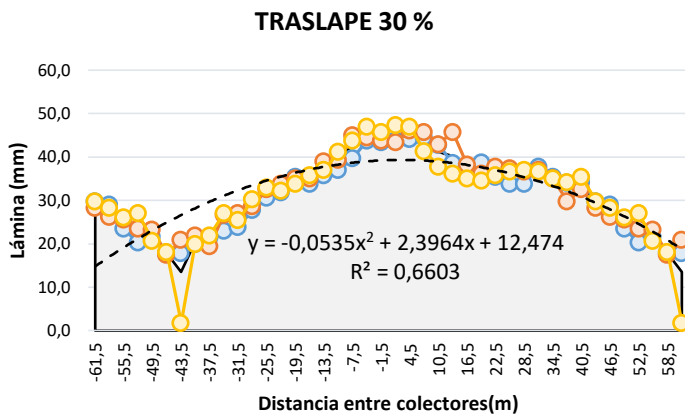
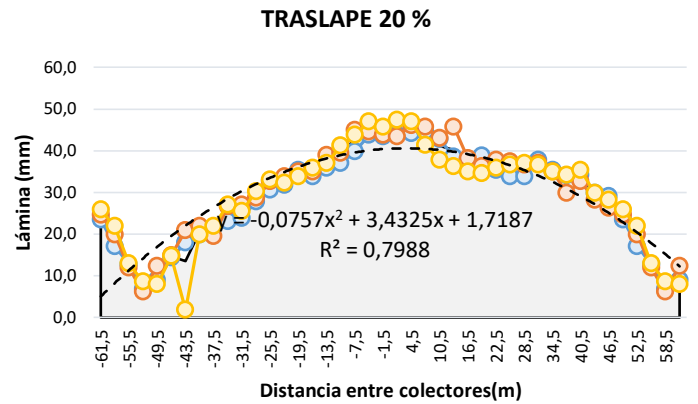
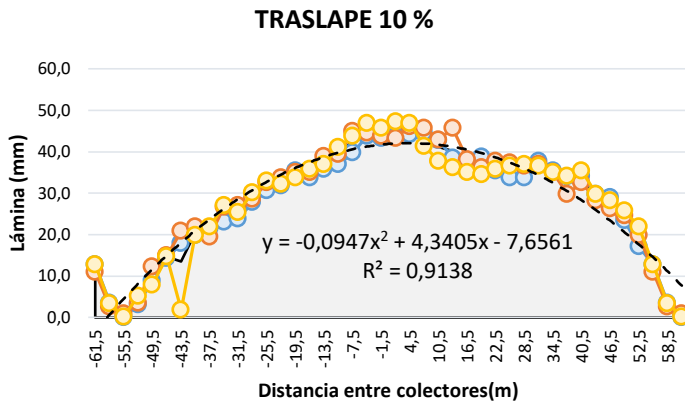
TRASLAPE 50 %



10.2. Anexo B.

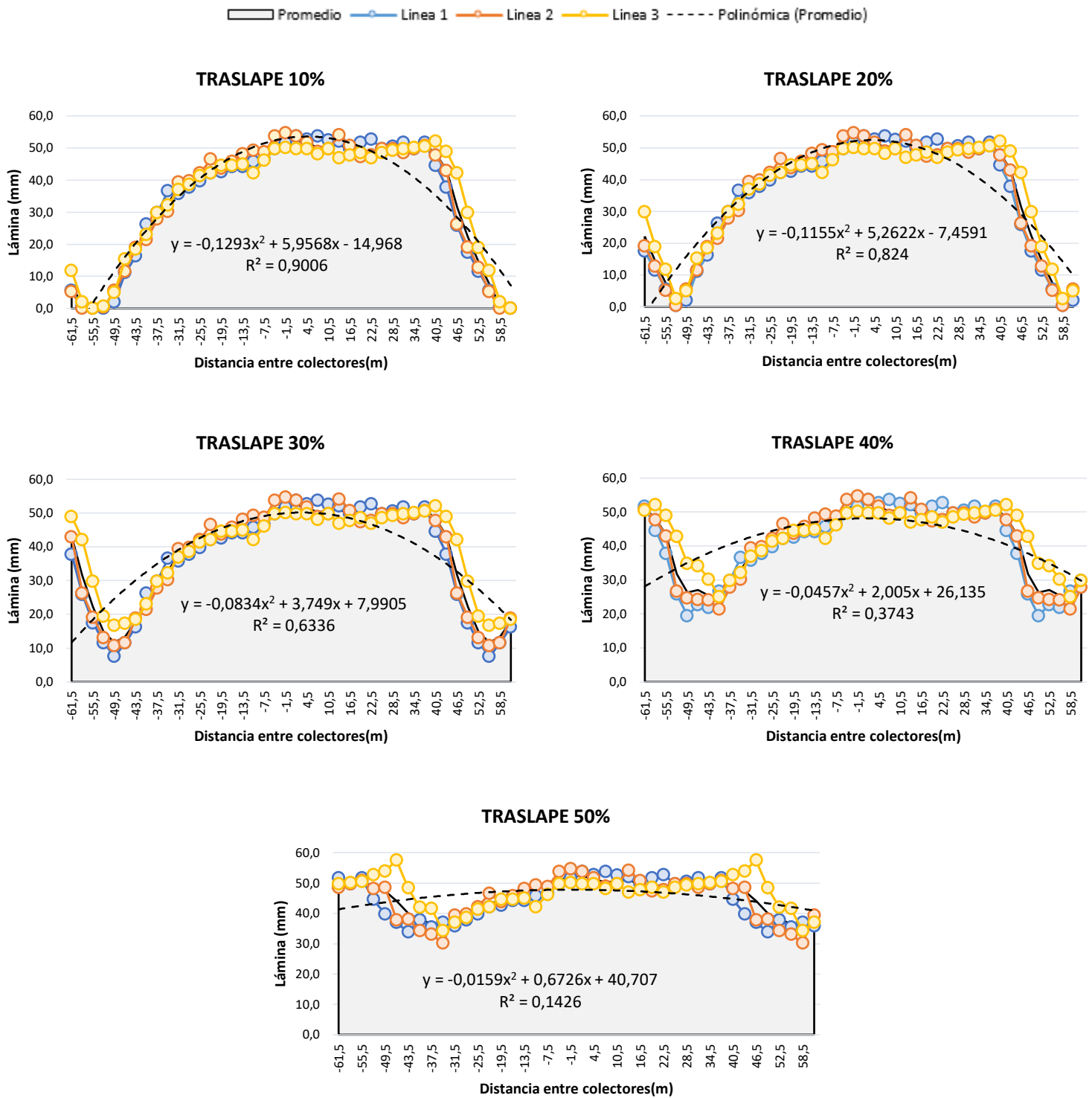
10.2.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 0 – 3 meses, en el horario de inicio tarde y una velocidad de 19 – 20 m/h.

Promedio
 —●— Línea 1
 —●— Línea 2
 —●— Línea 3
 - - - - Polinómica (Promedio)



10.3. Anexo C.

10.3.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 0 – 3 meses, en el horario de final de la tarde y una velocidad de 19 – 20 m/h.

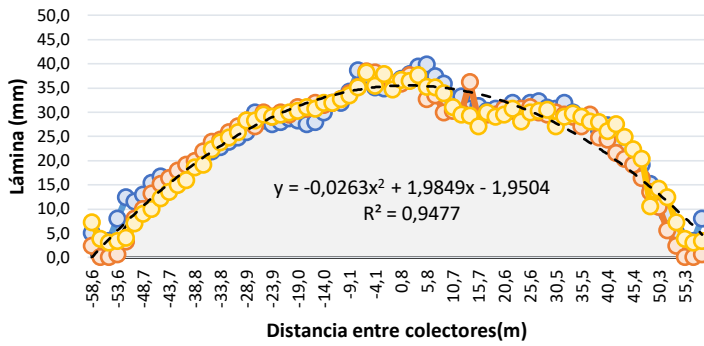


10.4. Anexo D.

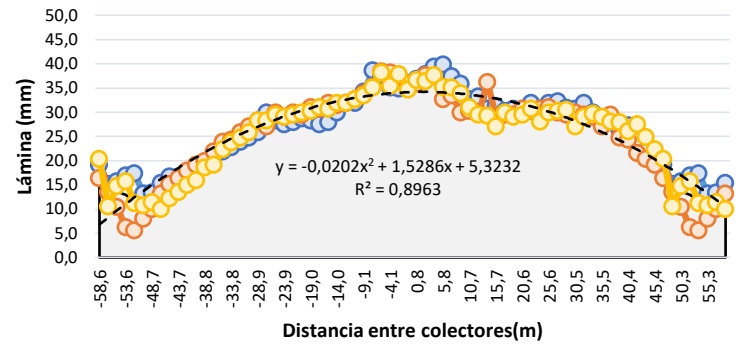
10.4.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 0 – 3 meses, horario de la mañana y una velocidad de 24 – 28 m/h.

Promedio
 Línea 1
 Línea 2
 Línea 3
 Polinómica (Promedio)

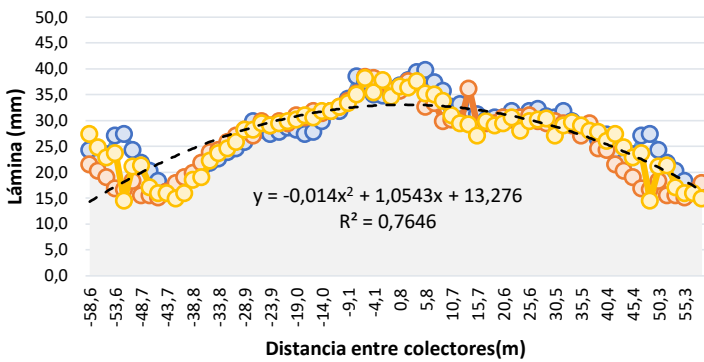
TRASLAPE 10%



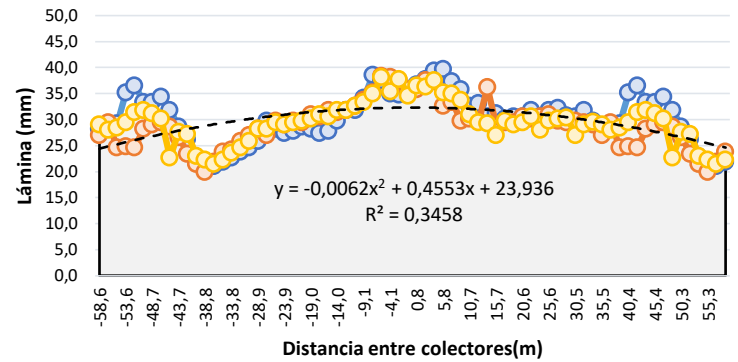
TRASLAPE 20%



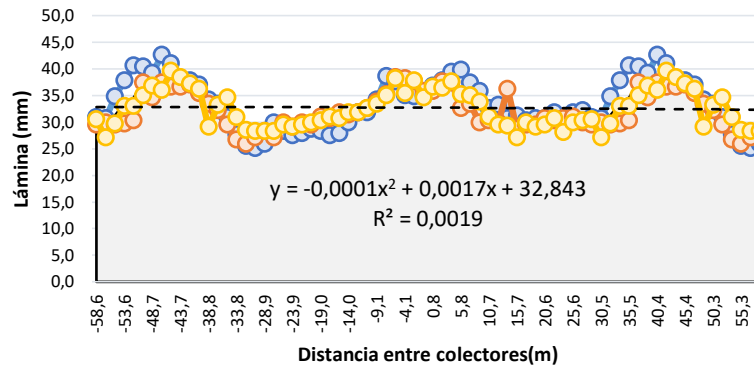
TRASLAPE 30%



TRASLAPE 40%



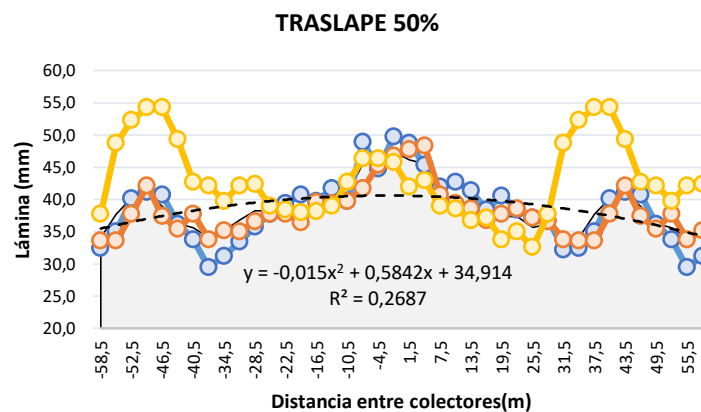
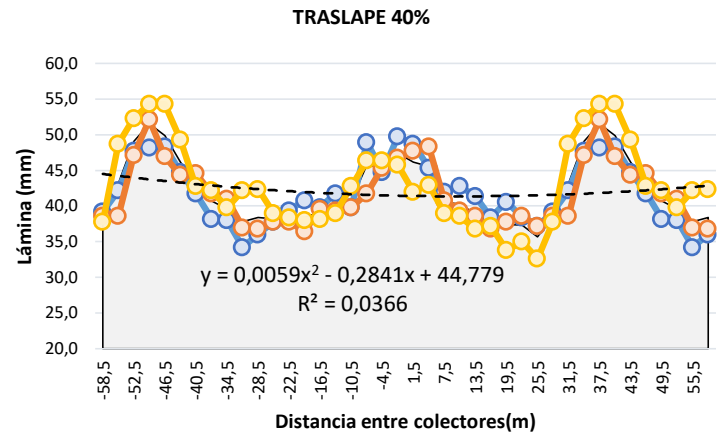
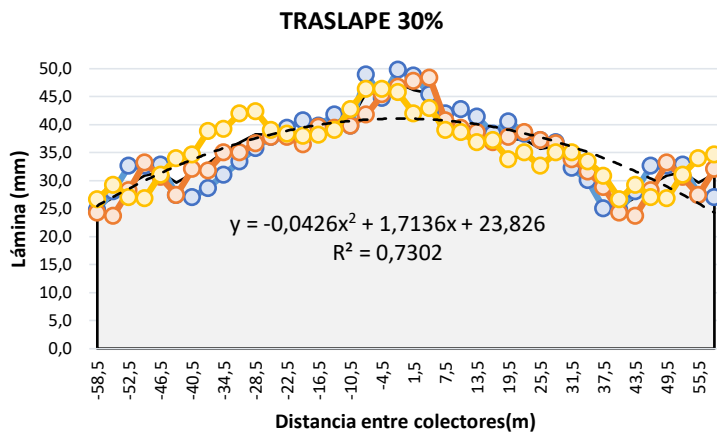
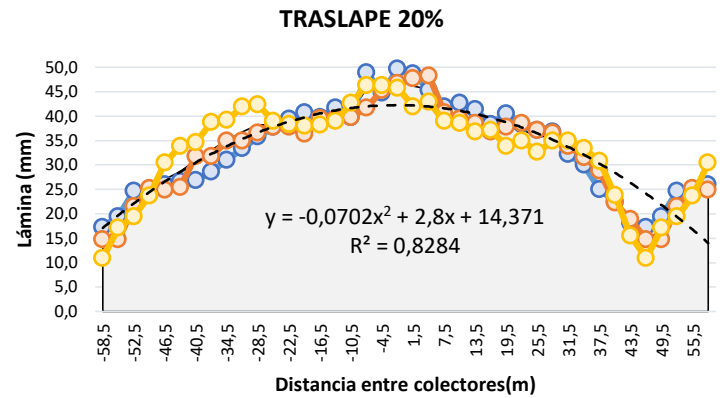
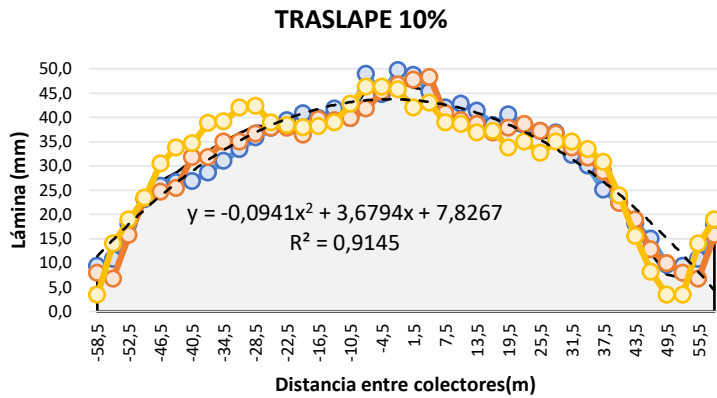
TRASLAPE 50%



10.5. Anexo E.

10.5.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 0 – 3 meses, horario del inicio tarde y una velocidad de 24 – 28 m/h.

Promedio
 —○— Línea 1
 —○— Línea 2
 —○— Línea 3
 - - - - Polinómica (Promedio)

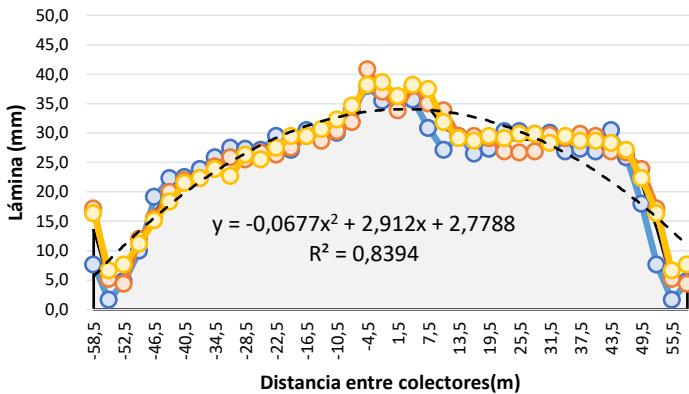


10.6. Anexo F.

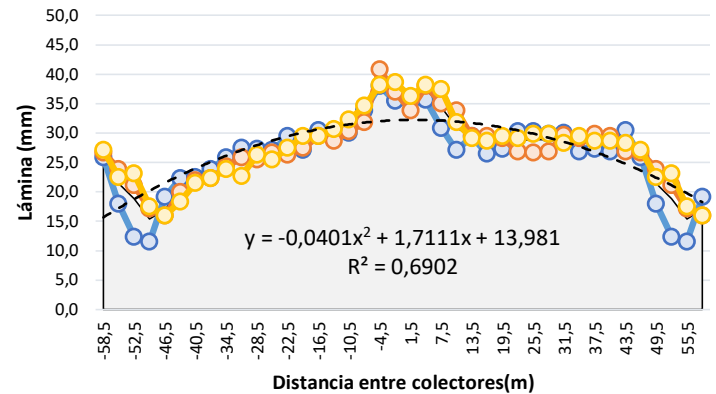
10.6.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 0 – 3 meses, horario final de la tarde y una velocidad de 24 – 28 m/h.

Promedio
 —●— Línea 1
 —●— Línea 2
 —●— Línea 3
 - - - Polinómica (Promedio)

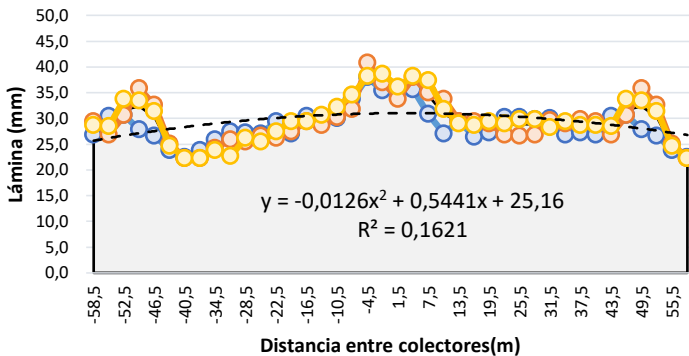
TRASLAPE 10%



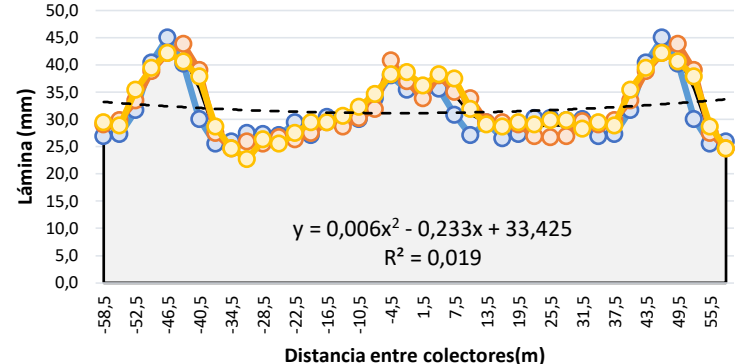
TRASLAPE 20%



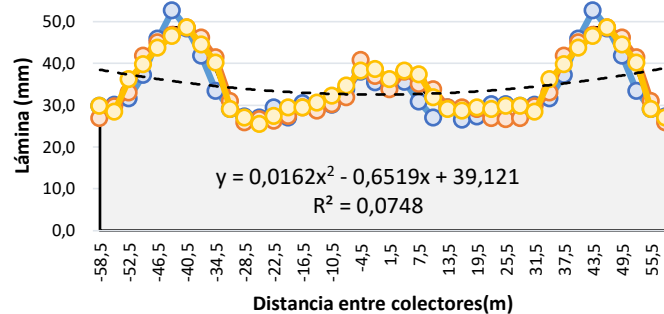
TRASLAPE 30%



TRASLAPE 40%



TRASLAPE 50%

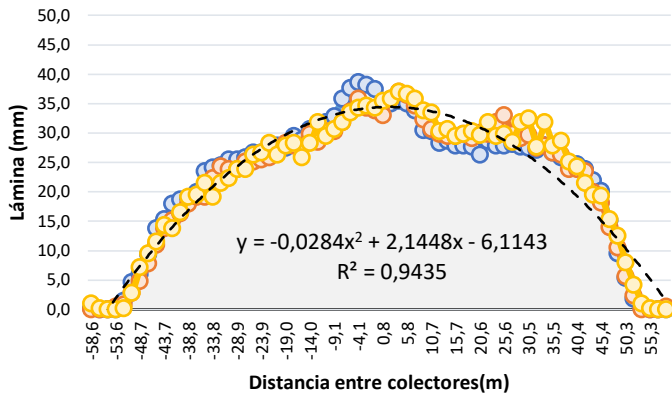


10.7. Anexo G.

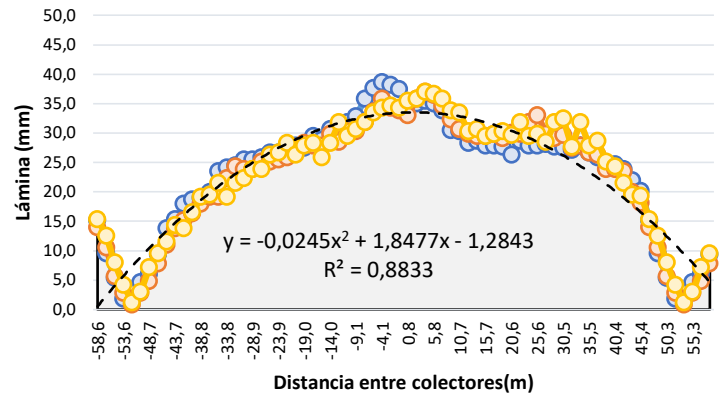
10.7.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 0 – 3 meses, horario de la mañana y una velocidad de 29 – 30 m/h.

Promedio
 —○— Línea 1
 —○— Línea 2
 —○— Línea 3
 - - - - Polinómica (Promedio)

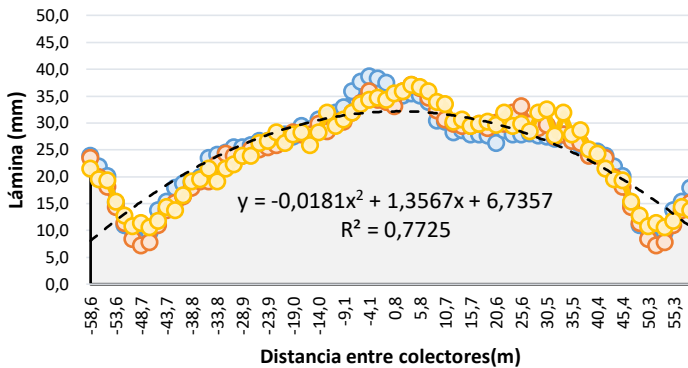
TRASLAPE 10%



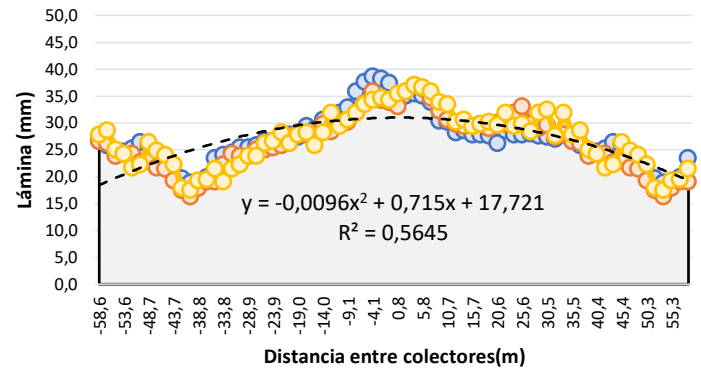
TRASLAPE 20%



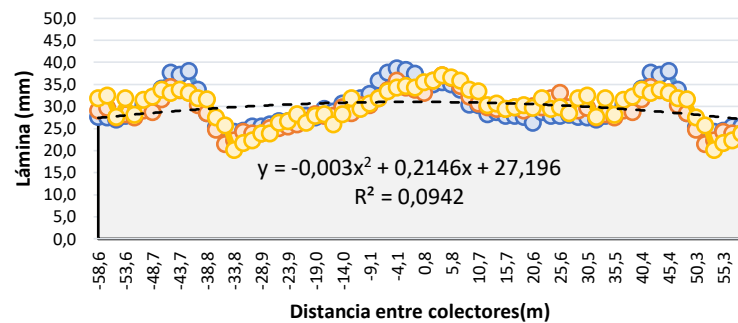
TRASLAPE 30%



TRASLAPE 40%



TRASLAPE 50%

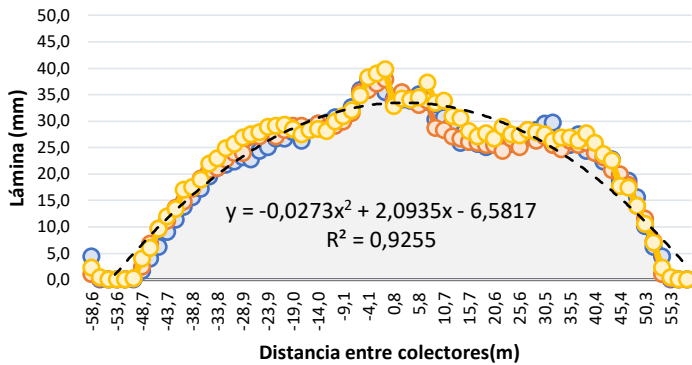


10.8. Anexo H.

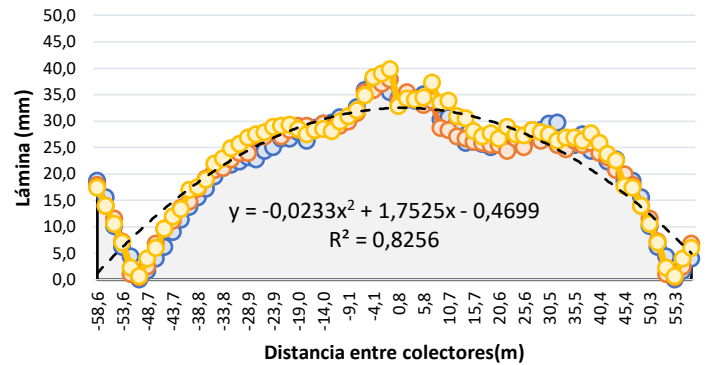
10.8.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 0 – 3 meses, horario inicio tarde y una velocidad de 29 – 30 m/h.

Promedio
 —○— Línea 1
 —○— Línea 2
 —○— Línea 3
 - - - - Polinómica (Promedio)

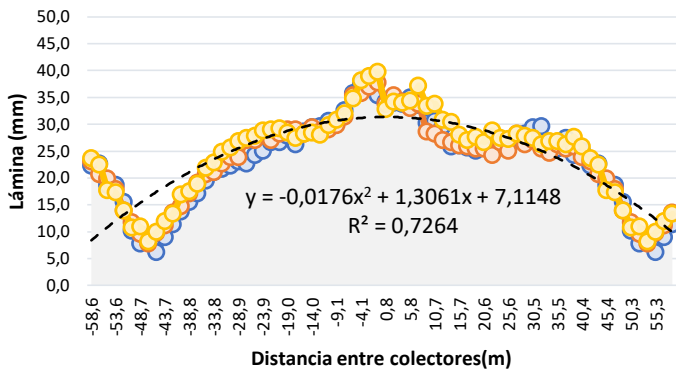
TRASLAPE 10%



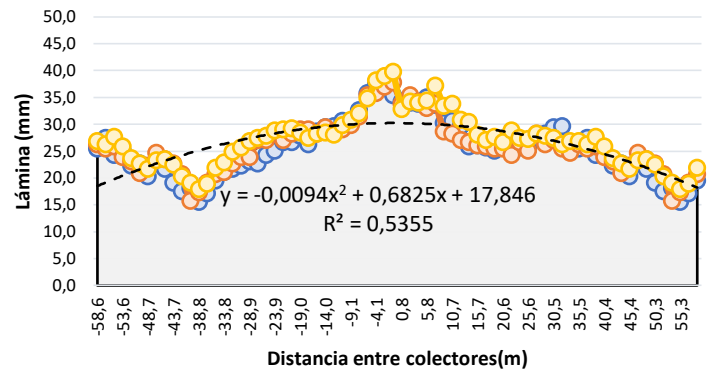
TRASLAPE 20%



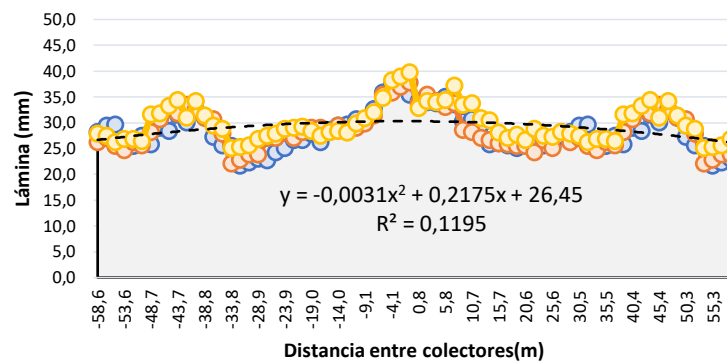
TRASLAPE 30%



TRASLAPE 40%



TRASLAPE 50%

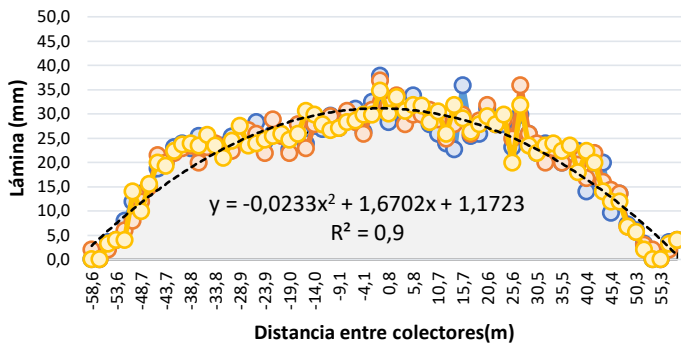


10.9. Anexo I.

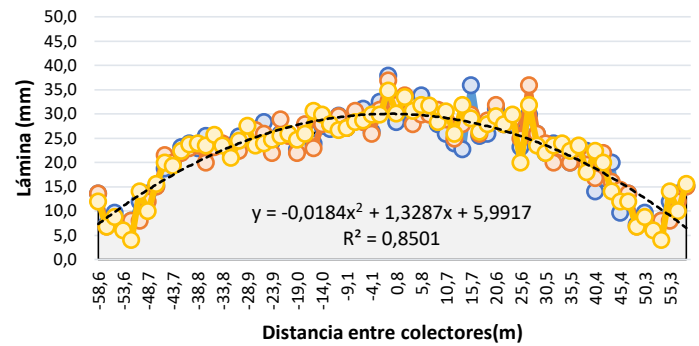
10.9.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 0 – 3 meses, horario fin tarde y una velocidad de 29 – 30 m/h.

Promedio
 —●— Línea 1
 —●— Línea 2
 —●— Línea 3
 - - - - Polinómica (Promedio)

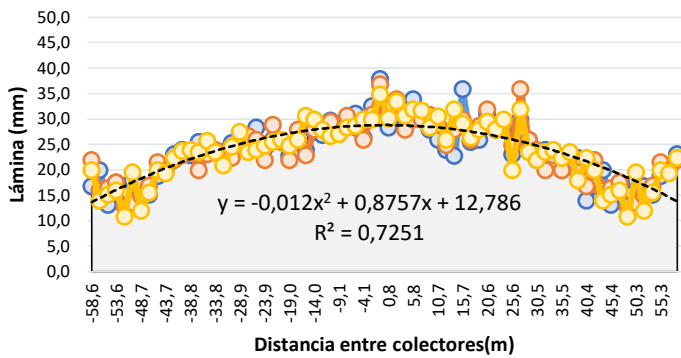
TRASLAPE 10%



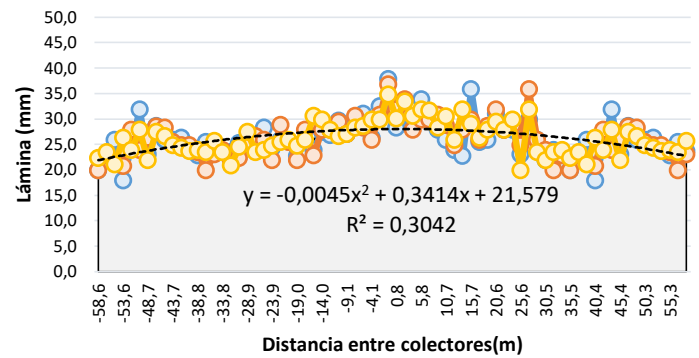
TRASLAPE 20%



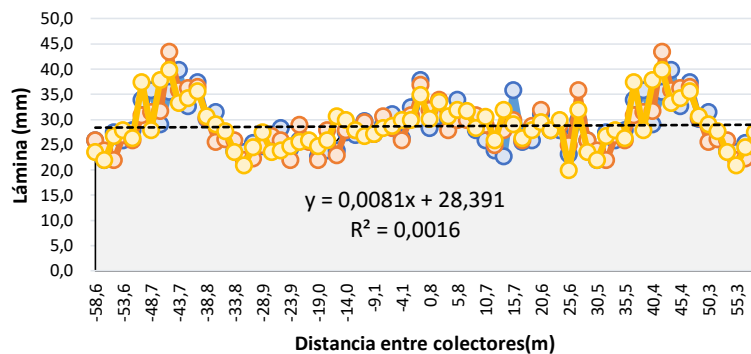
TRASLAPE 30%



TRASLAPE 40%



TRASLAPE 50%

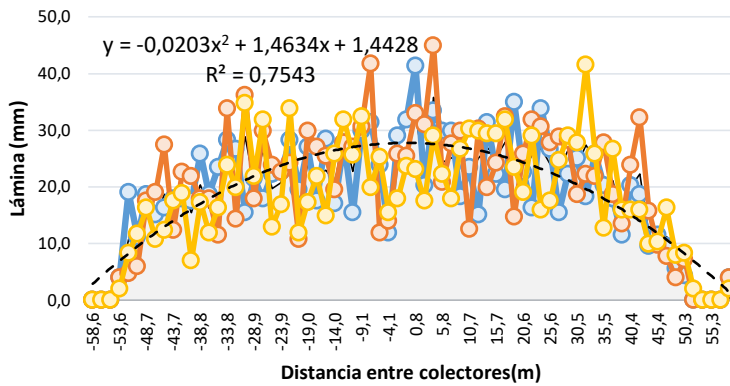


10.10. Anexo J.

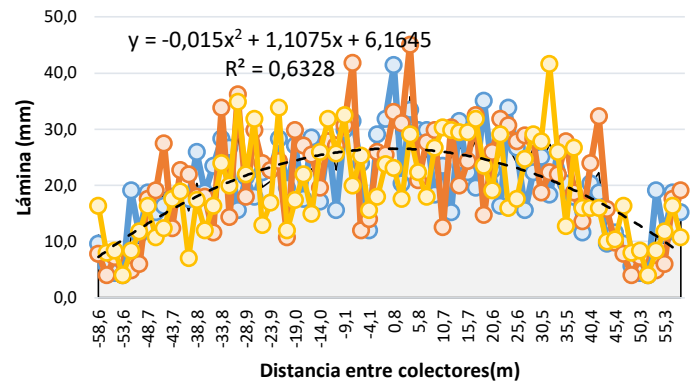
10.10.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 3 – 6 meses, horario mañana y una velocidad de 19 – 20 m/h.

Promedio
 —●— Línea 1
 —●— Línea 2
 —●— Línea 3
 - - - - - Polinómica (Promedio)

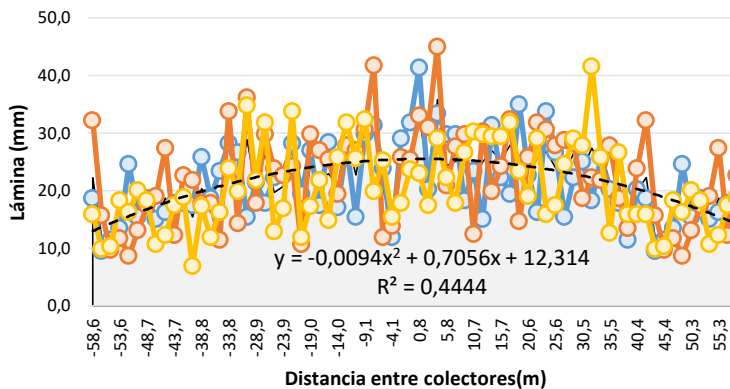
TRASLAPE 10%



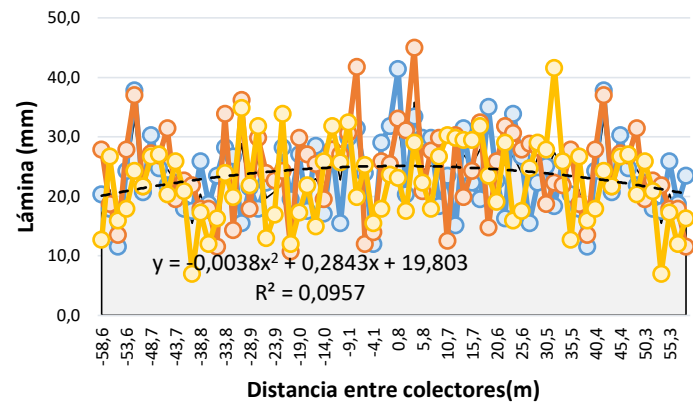
TRASLAPE 20%



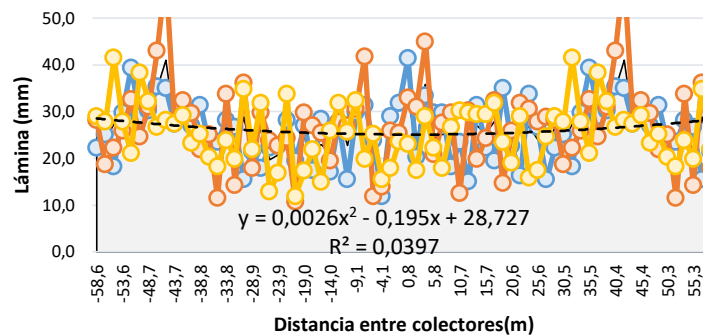
TRASLAPE 30%



TRASLAPE 40%



TRASLAPE 50%

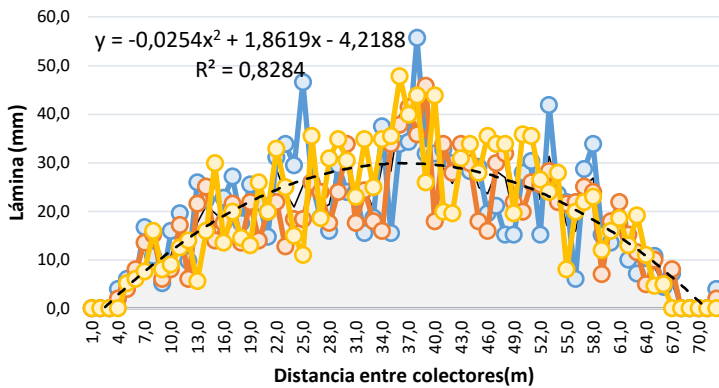


10.11. Anexo K.

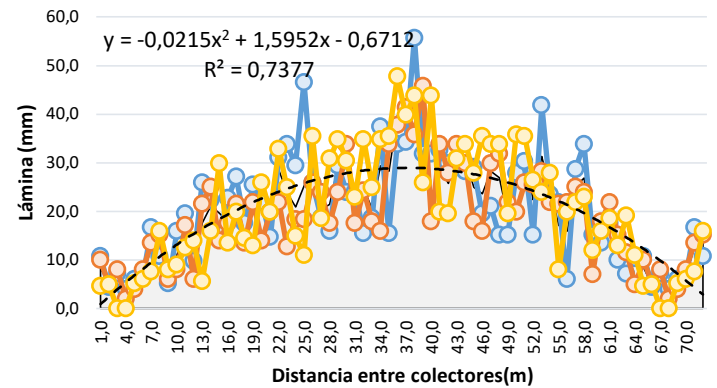
10.11.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 3 – 6 meses, horario inicio tarde y una velocidad de 19 – 20 m/h.

Promedio
 —●— Línea 1
 —●— Línea 2
 —●— Línea 3
 - - - - - Polinómica (Promedio)

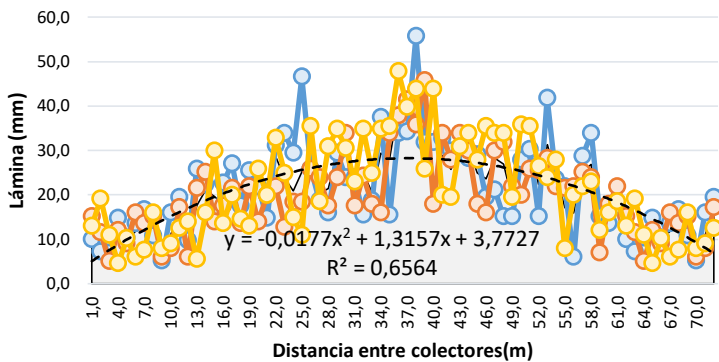
TRASLAPE 10%



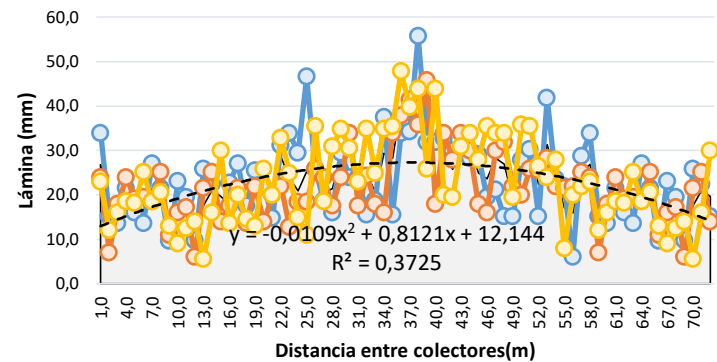
TRASLAPE 20%



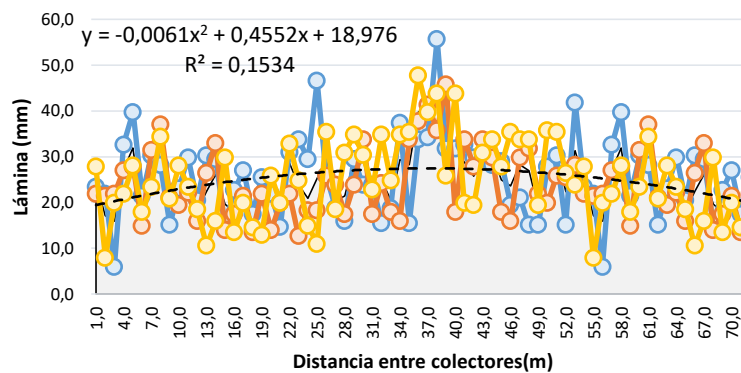
TRASLAPE 30%



TRASLAPE 40%



TRASLAPE 50%

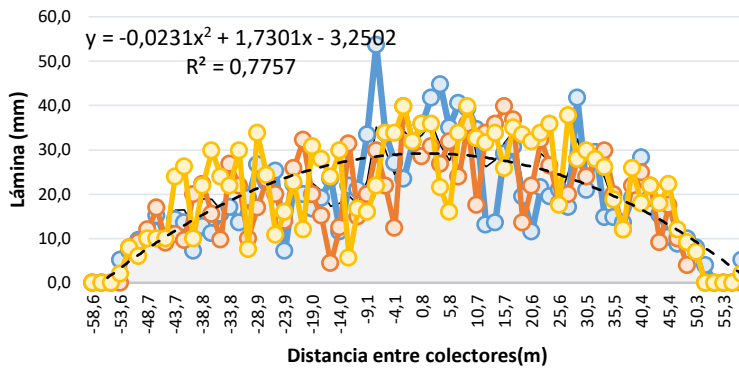


10.12. Anexo L.

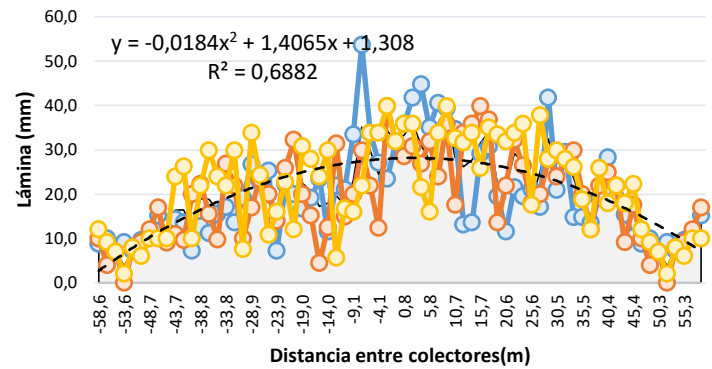
10.12.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 3 – 6 meses, horario final de la tarde y una velocidad de 19 – 20 m/h.

Promedio
 —●— Línea 1
—●— Línea 2
—●— Línea 3
- - - - Polinómica (Promedio)

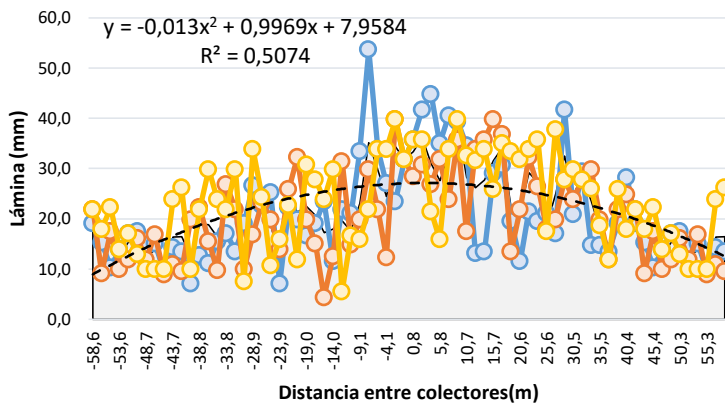
TRASLAPE 10%



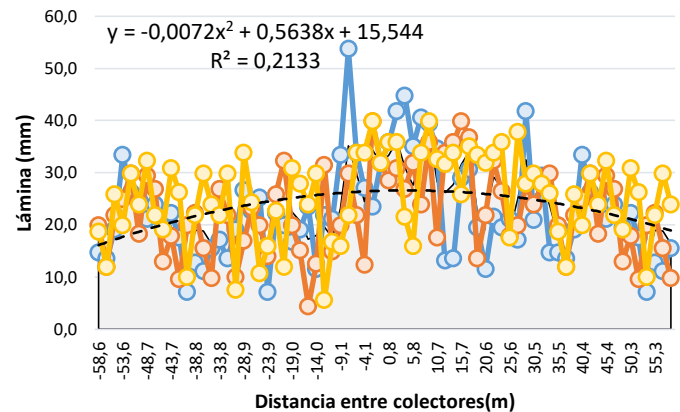
TRASLAPE 20%



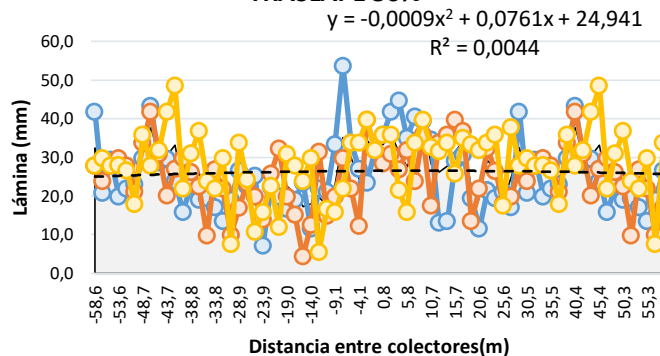
TRASLAPE 30%



TRASLAPE 40%



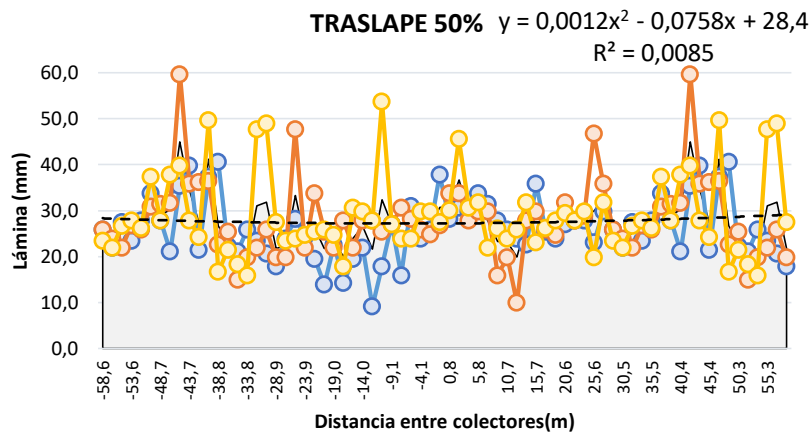
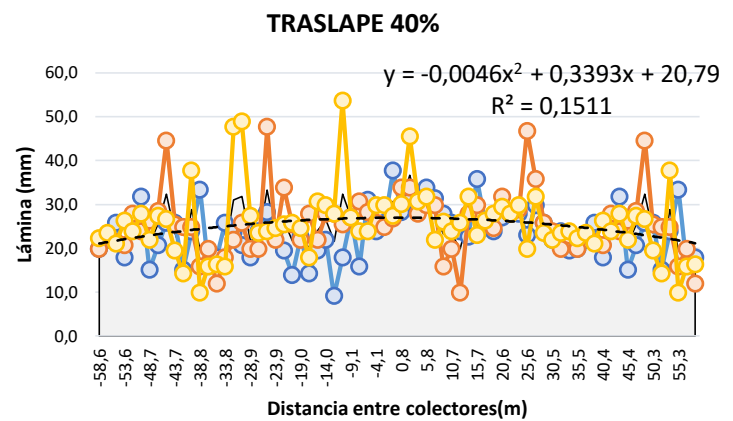
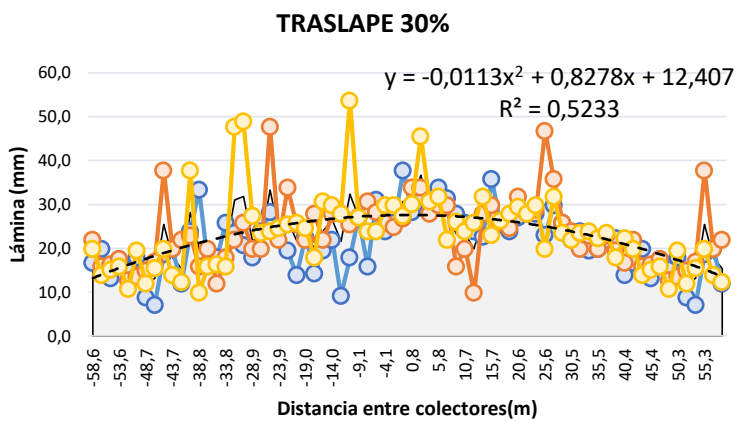
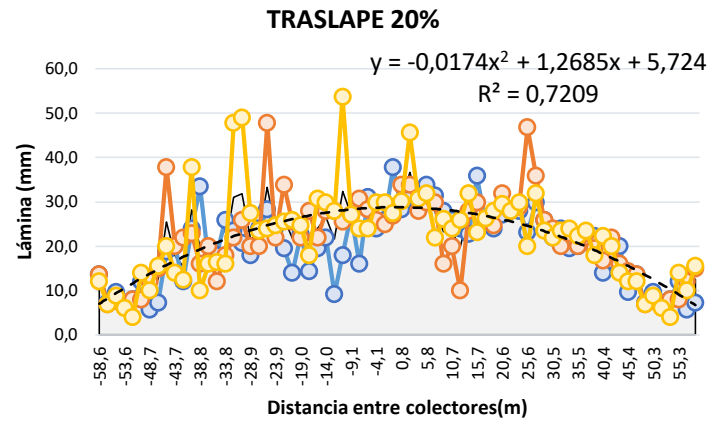
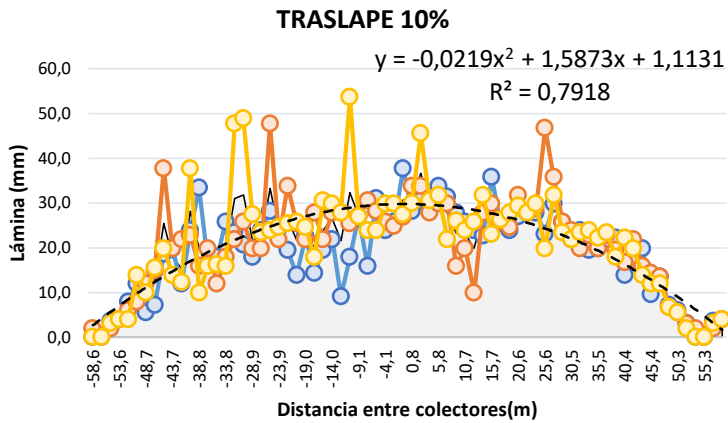
TRASLAPE 50%



10.13. Anexo M.

10.13.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 3 – 6 meses, horario de la mañana y una velocidad de 24 – 28 m/h.

Promedio
 —●— Línea 1
—●— Línea 2
—●— Línea 3
- - - - - Polinómica (Promedio)

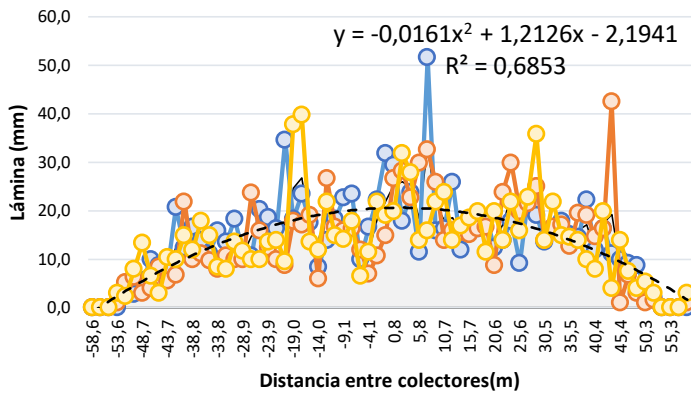


10.14. Anexo N.

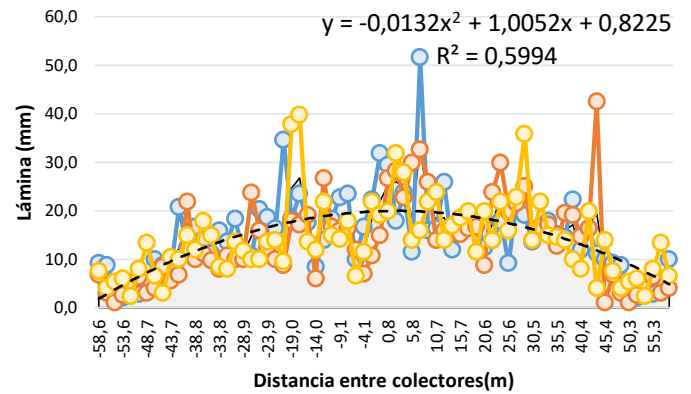
10.14.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 3 – 6 meses, horario inicio tarde y una velocidad de 24 – 28 m/h.

Promedio
 —○— Línea 1
 —○— Línea 2
 —○— Línea 3
 - - - - Polinómica (Promedio)

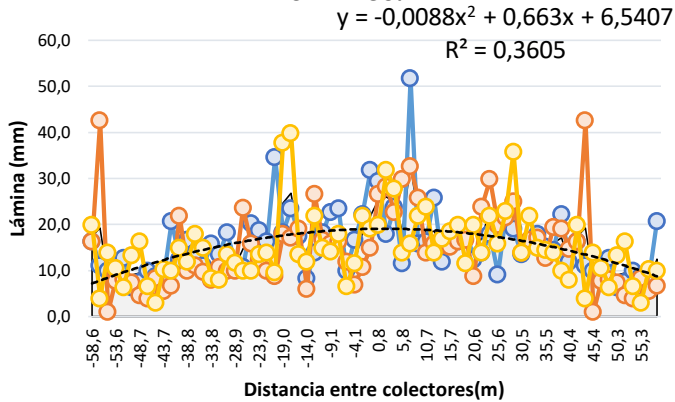
TRASLAPE 10%



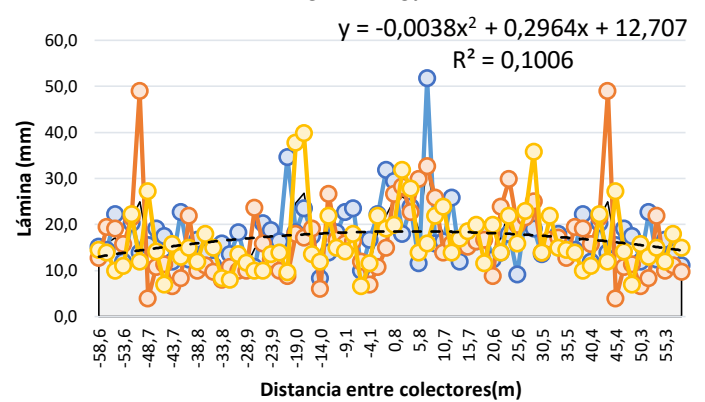
TRASLAPE 20%



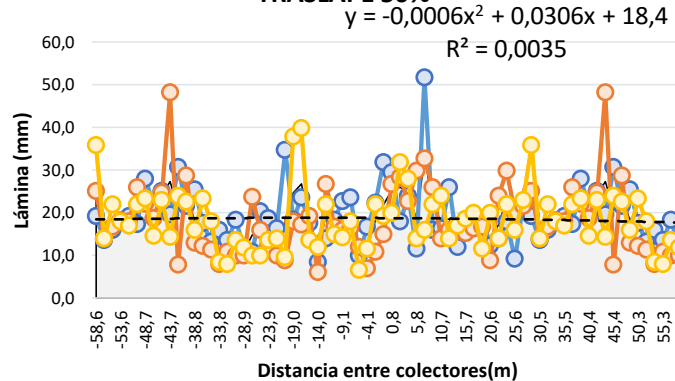
TRASLAPE 30%



TRASLAPE 40%



TRASLAPE 50%

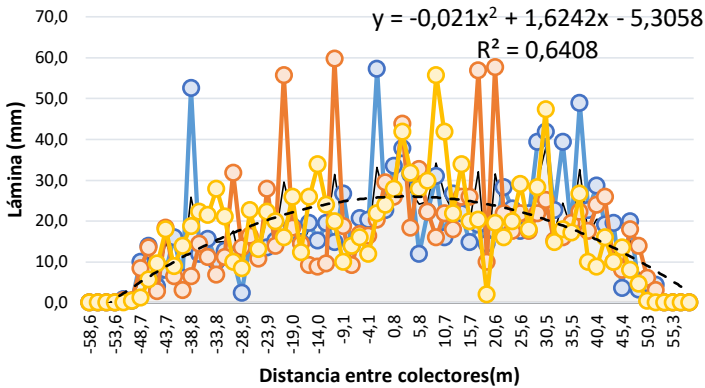


10.15. Anexo O.

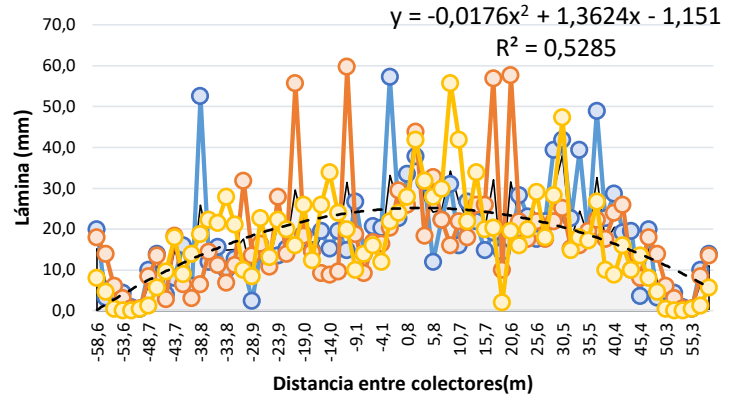
10.15.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 3 – 6 meses, horario final de la tarde y una velocidad de 24 – 28 m/h

Promedio
 —●— Línea 1
 —●— Línea 2
 —●— Línea 3
 - - - - - Polinómica (Promedio)

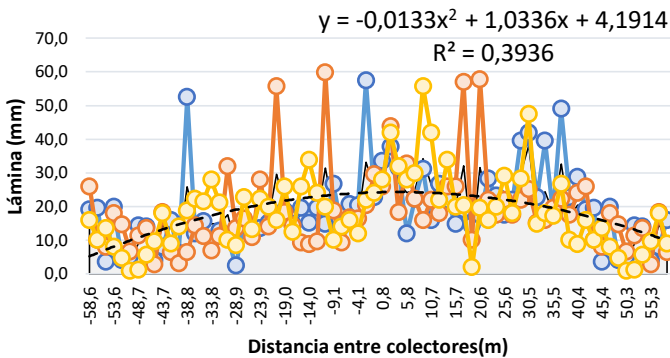
TRASLAPE 10%



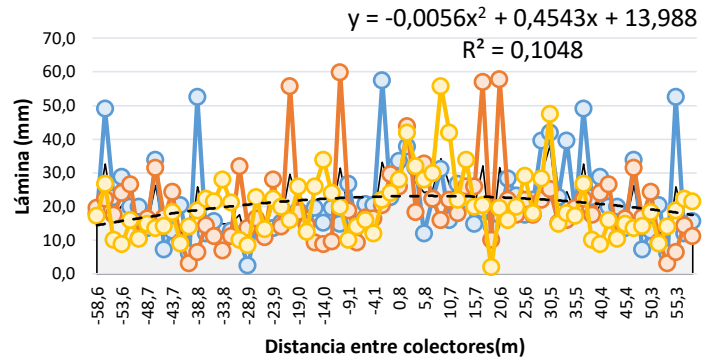
TRASLAPE 20%



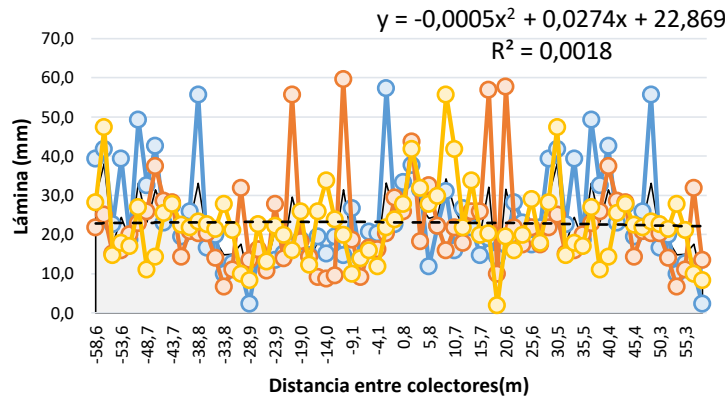
TRASLAPE 30%



TRASLAPE 40%



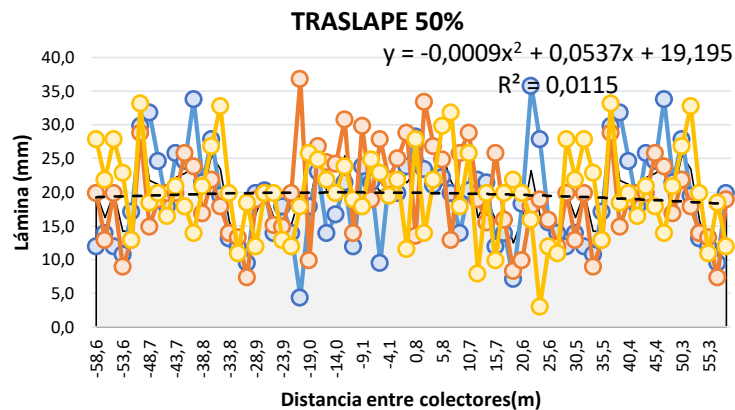
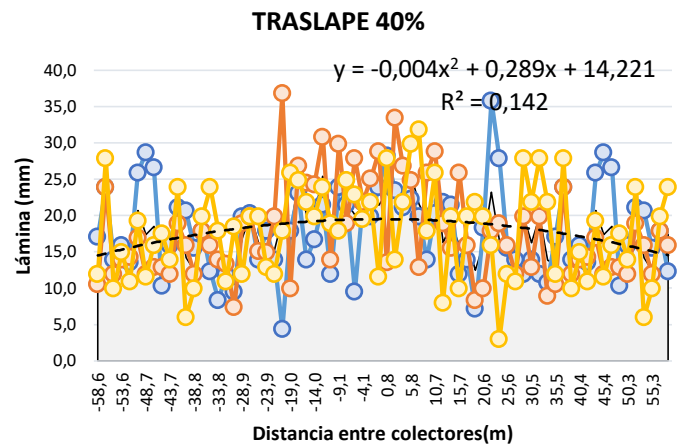
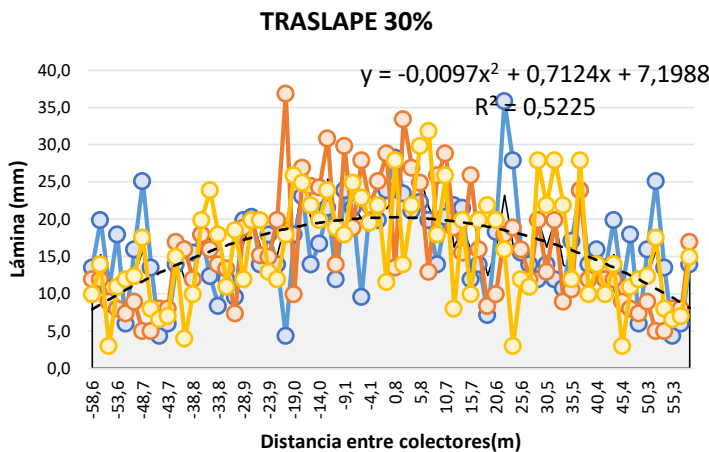
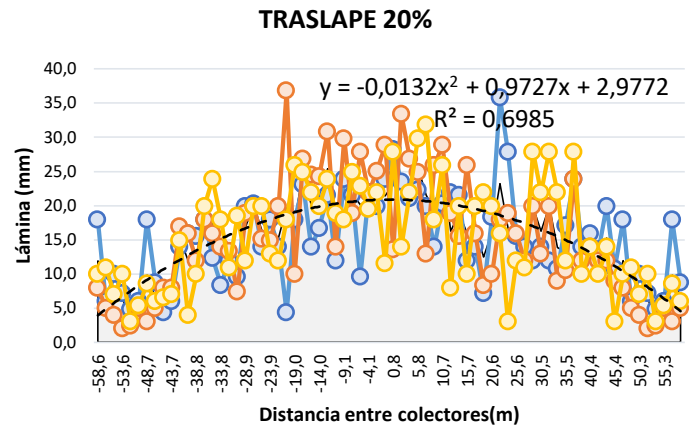
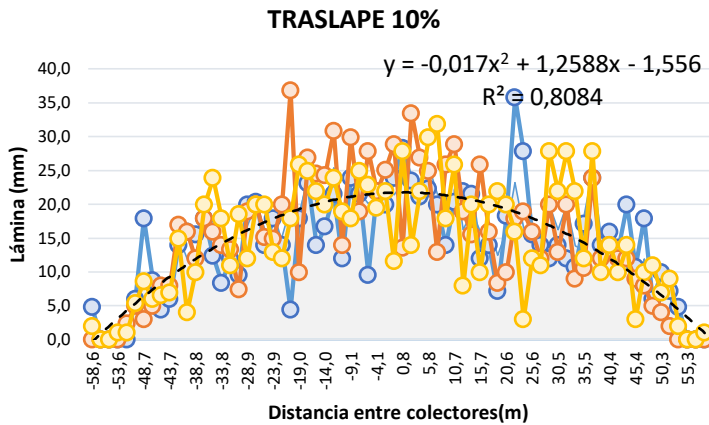
TRASLAPE 50%



10.16. Anexo P.

10.16.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 3 – 6 meses, horario de la mañana y una velocidad de 29 – 30 m/h

Promedio
 —●— Línea 1
 —●— Línea 2
 —●— Línea 3
 - - - - - Polinómica (Promedio)

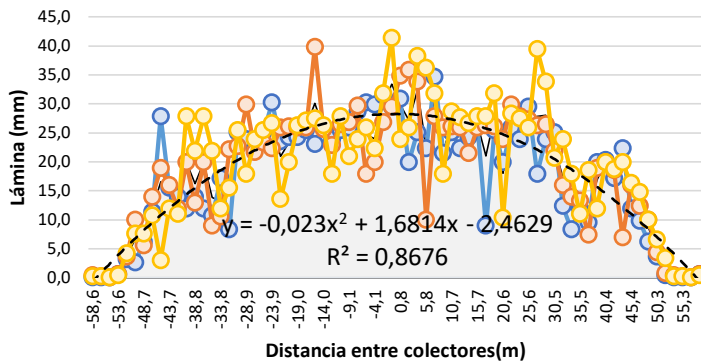


10.17. Anexo Q.

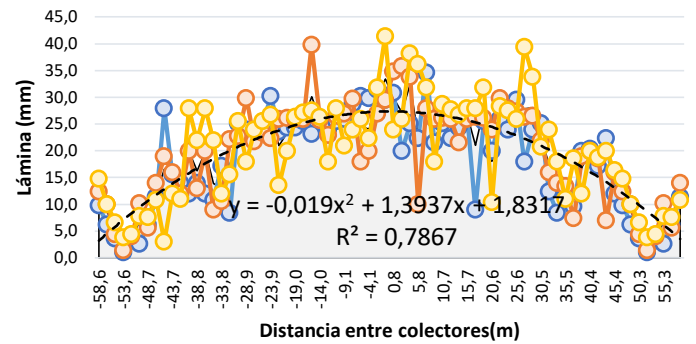
10.17.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 3 – 6 meses, horario de la inicio tarde y una velocidad de 29 – 30 m/h

Promedio
 —●— Línea 1
 —●— Línea 2
 —●— Línea 3
 - - - - Polinómica (Promedio)

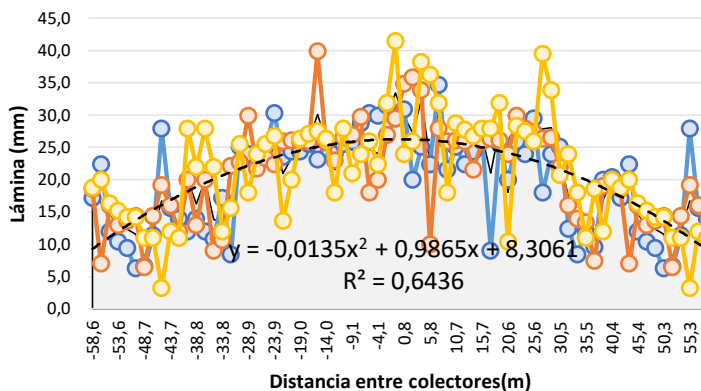
TRASLAPE 10%



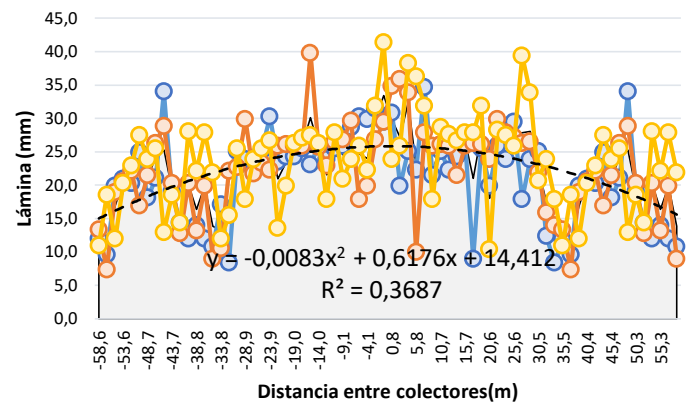
TRASLAPE 20%



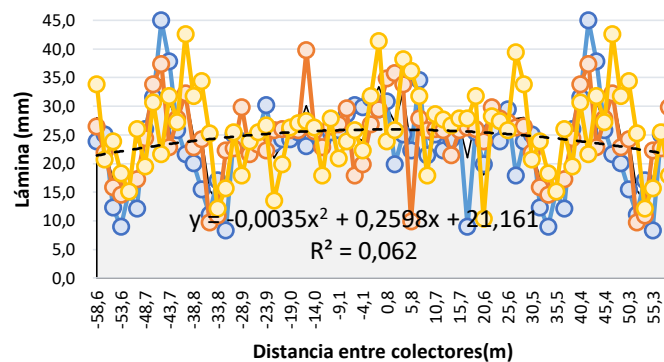
TRASLAPE 30%



TRASLAPE 40%



TRASLAPE 50%

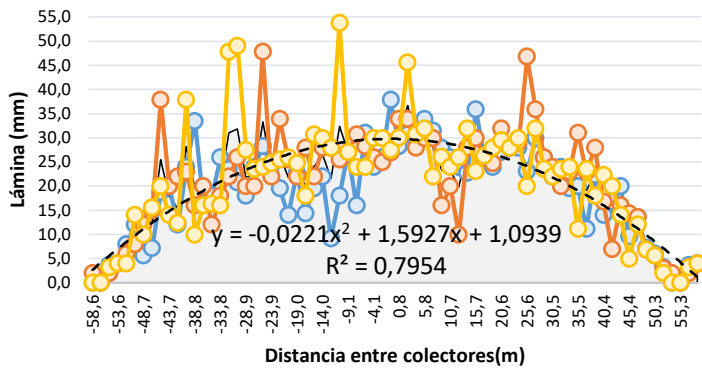


10.18. Anexo R.

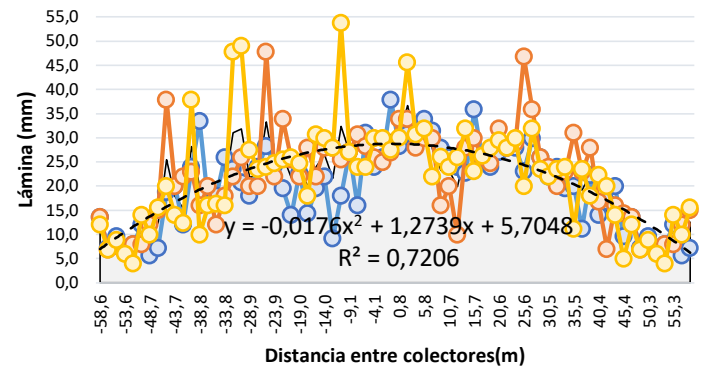
10.18.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 3 – 6 meses, horario final de la tarde y una velocidad de 29 – 30 m/h

Promedio
 —○— Línea 1
 —○— Línea 2
 —○— Línea 3
 - - - - Polinómica (Promedio)

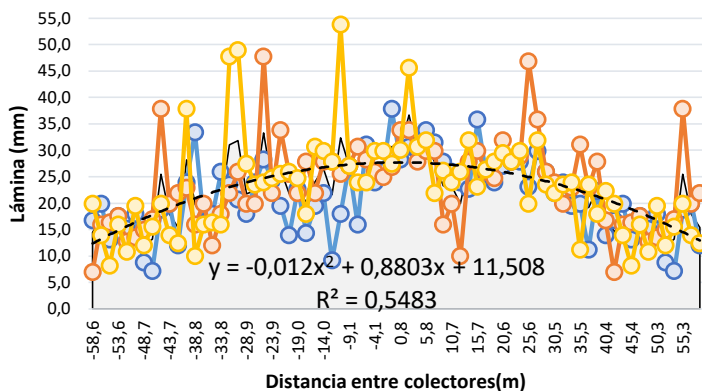
TRASLAPE 10%



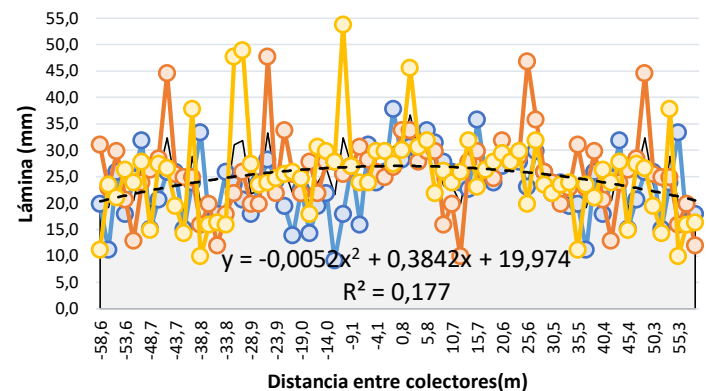
TRASLAPE 20%



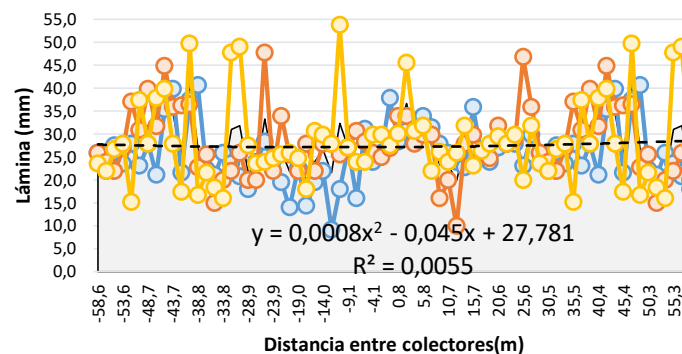
TRASLAPE 30%



TRASLAPE 40%



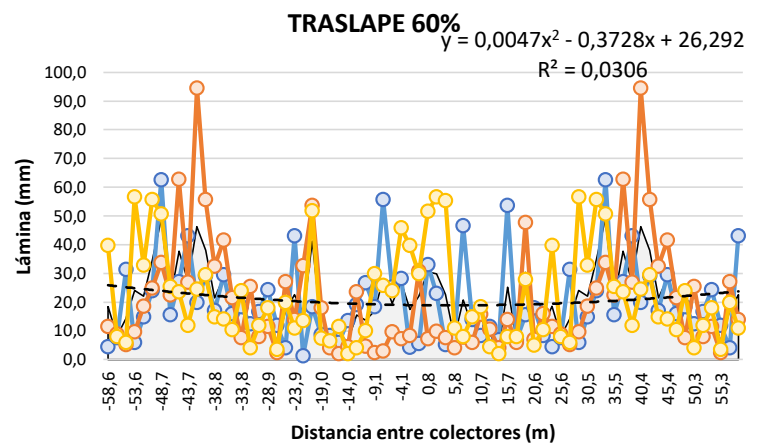
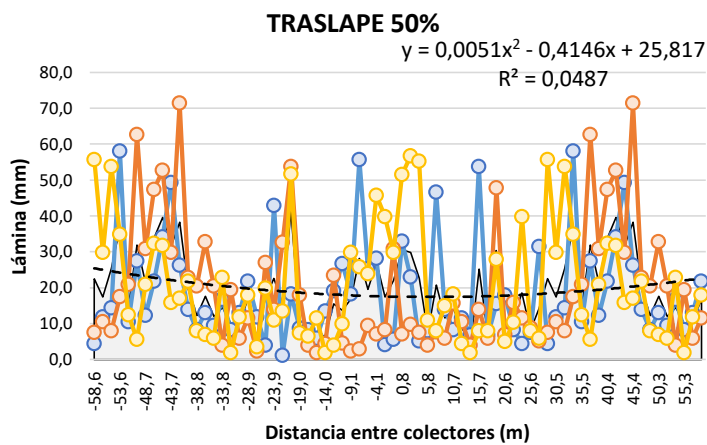
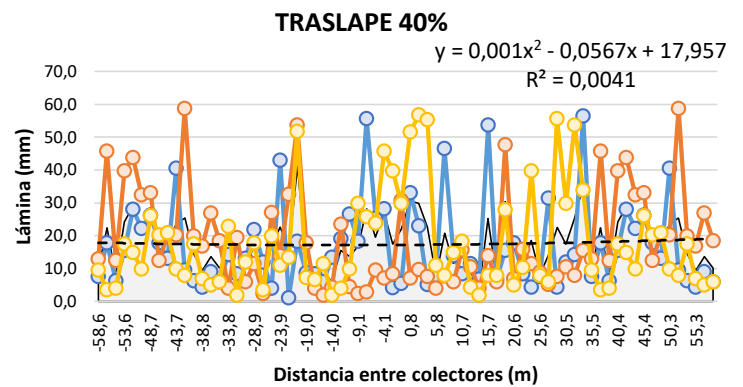
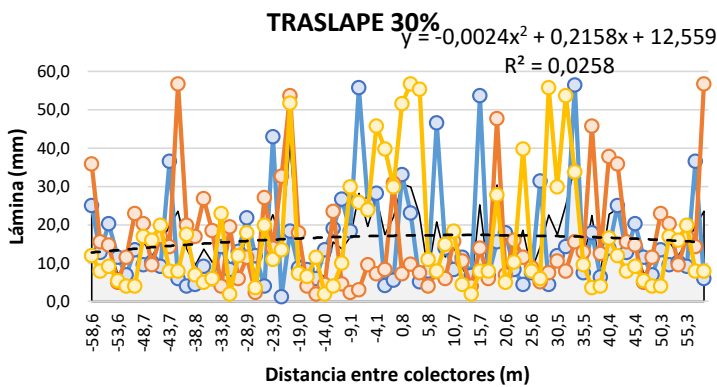
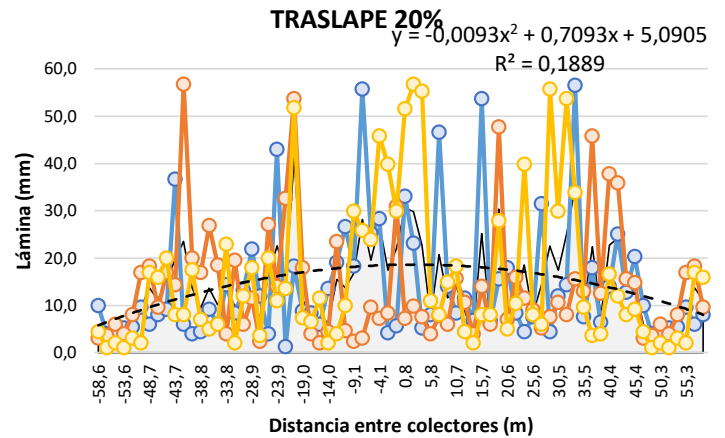
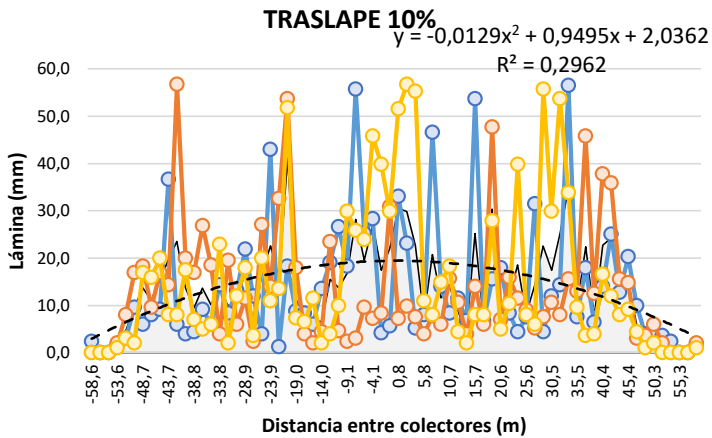
TRASLAPE 50%

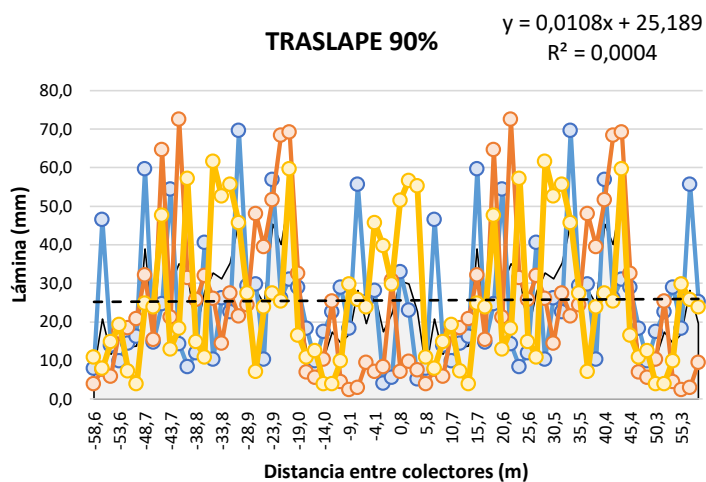
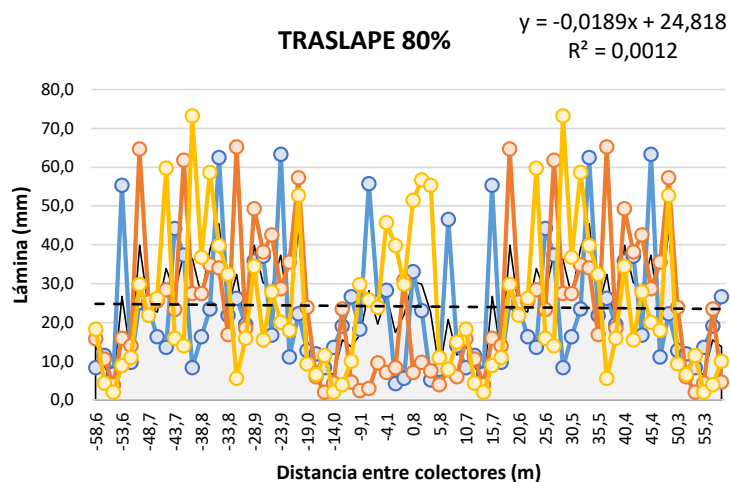
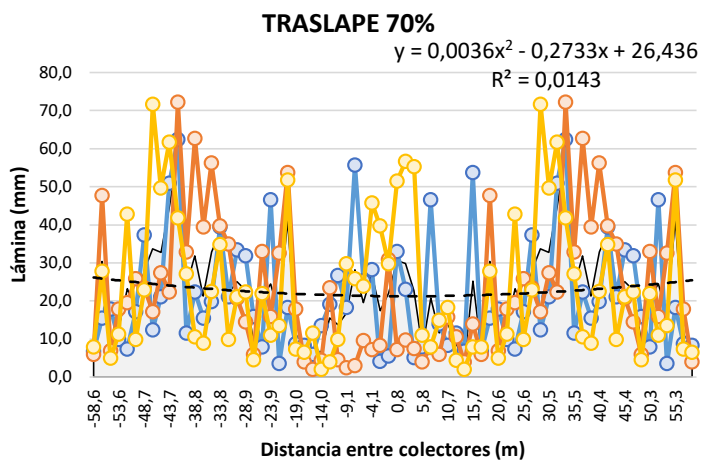


10.19. Anexo S.

10.19.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 6 – 9 meses, horario mañana y una velocidad de 19 – 20 m/h

Promedio
 Línea 1
 Línea 2
 Línea 3
 - - - - - Polinómica (Promedio)

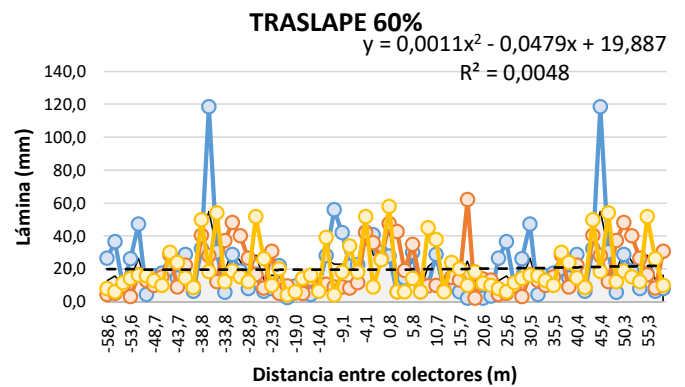
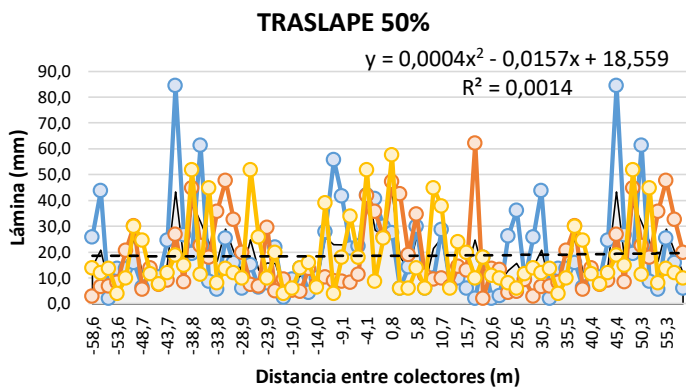
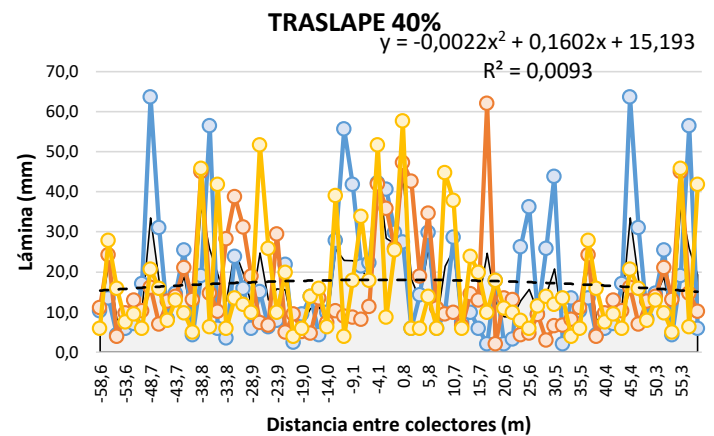
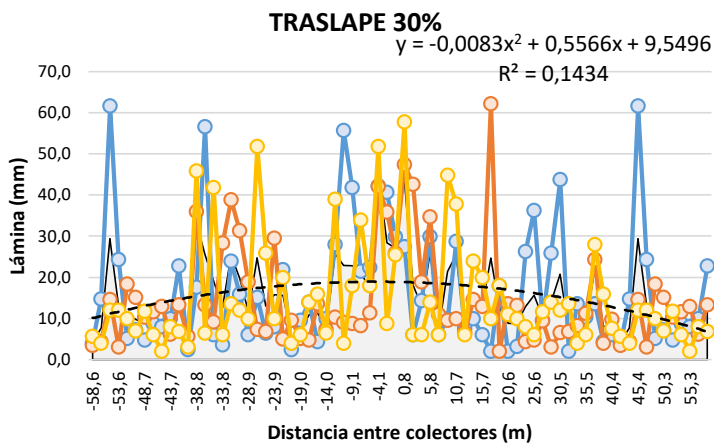
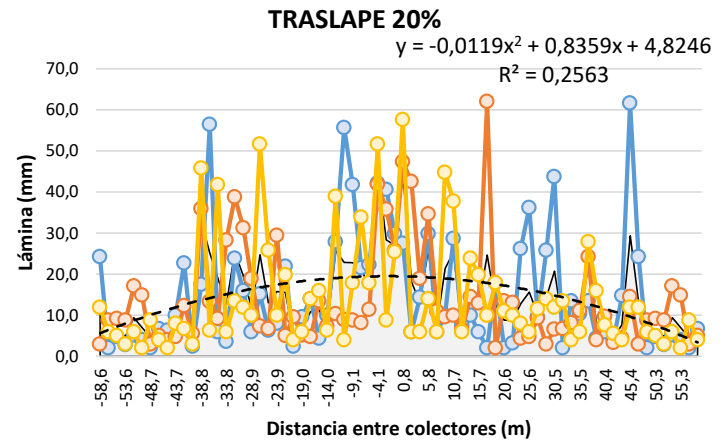
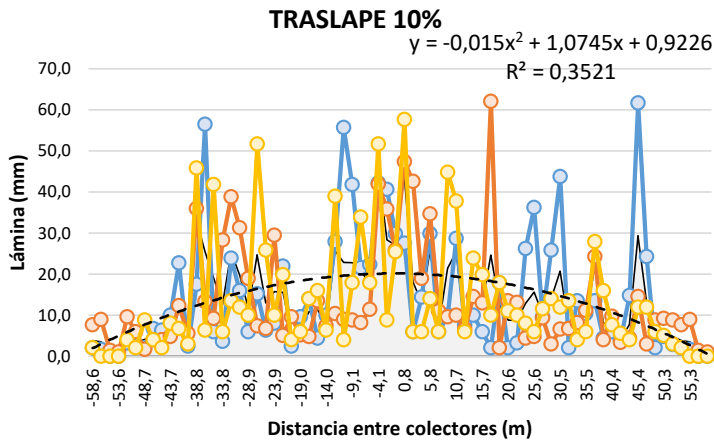




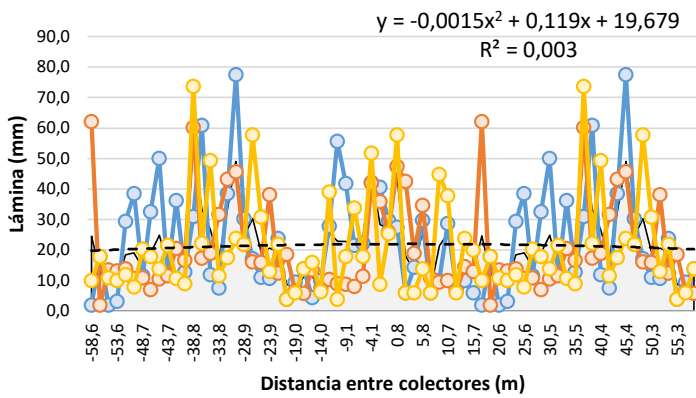
10.20. Anexo T.

10.20.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 6 – 9 meses, horario inicio de la tarde y una velocidad de 19 – 20 m/h

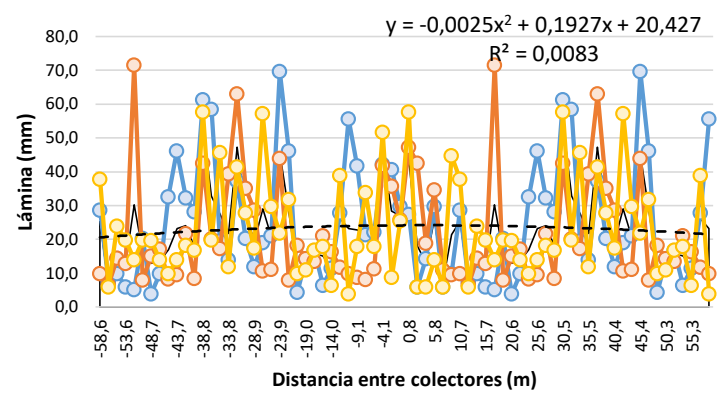
Promedio
 —●— Línea 1
 —●— Línea 2
 —●— Línea 3
 - - - - Polinómica (Promedio)



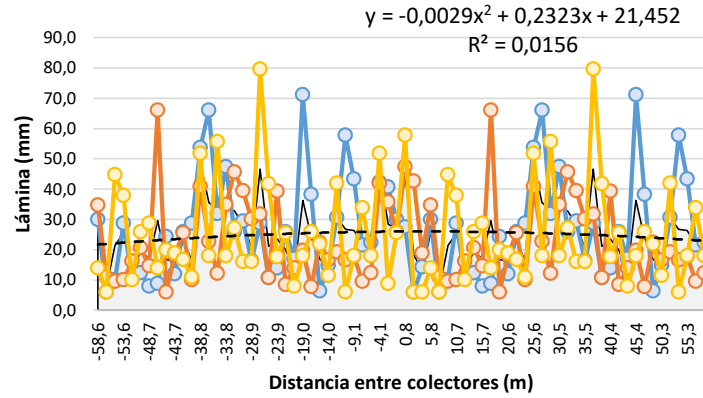
TRASLAPE 70%



TRASLAPE 80%



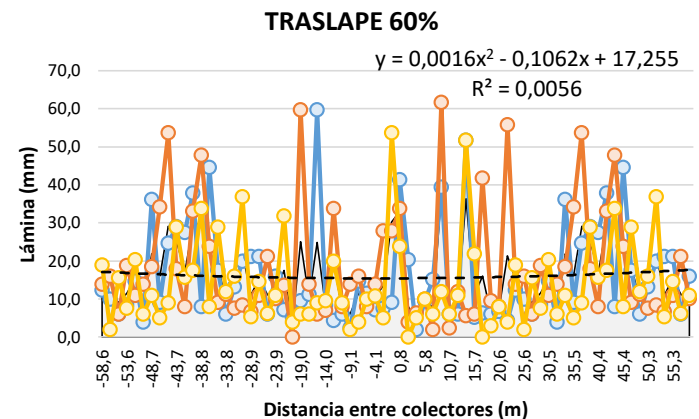
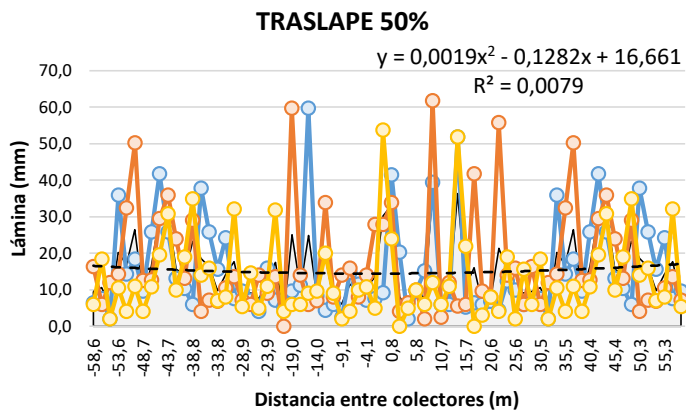
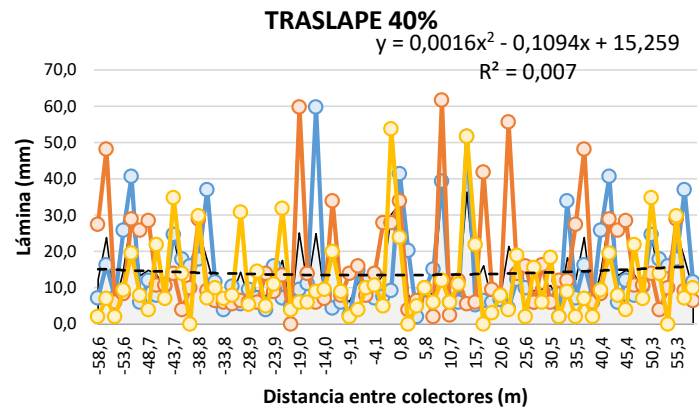
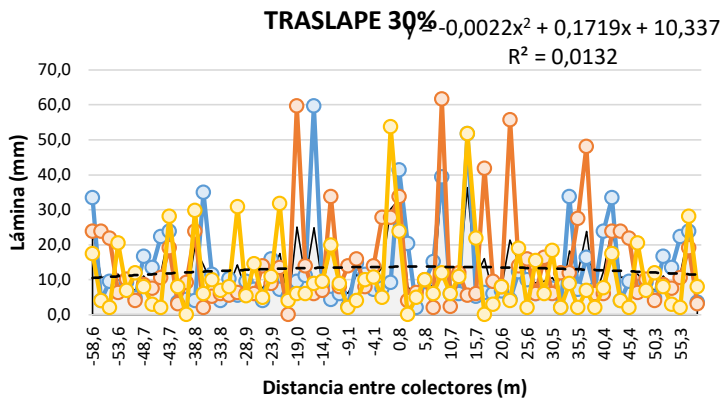
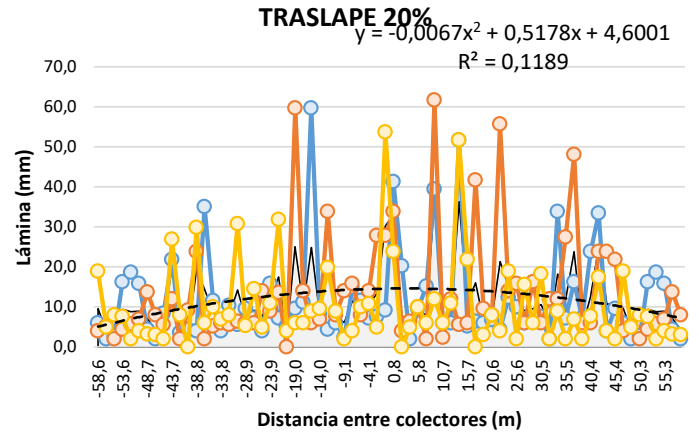
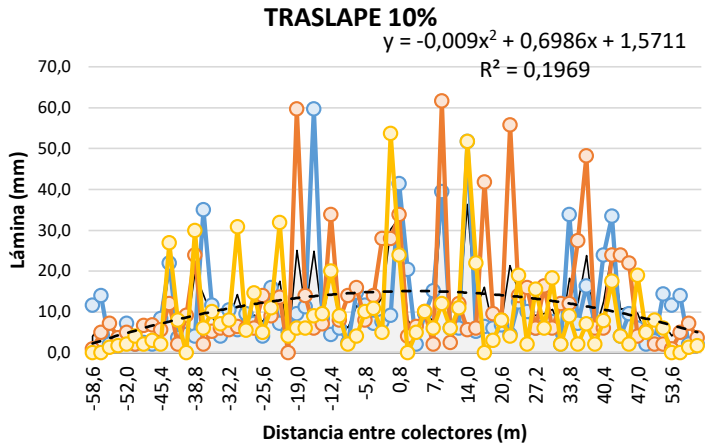
TRASLAPE 90%



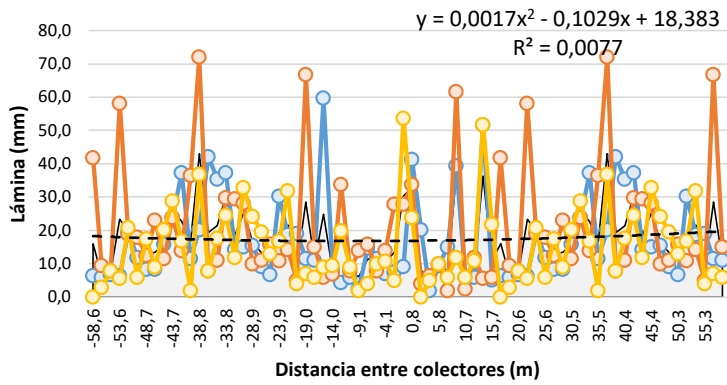
10.21. Anexo U.

10.21.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 6 – 9 meses, horario final de la tarde y una velocidad de 19 – 20 m/h

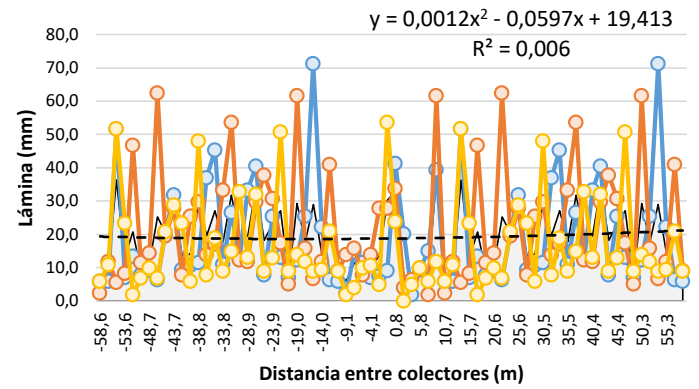
Promedio
 —●— Línea 1
 —●— Línea 2
 —●— Línea 3
 - - - - Polinómica (Promedio)



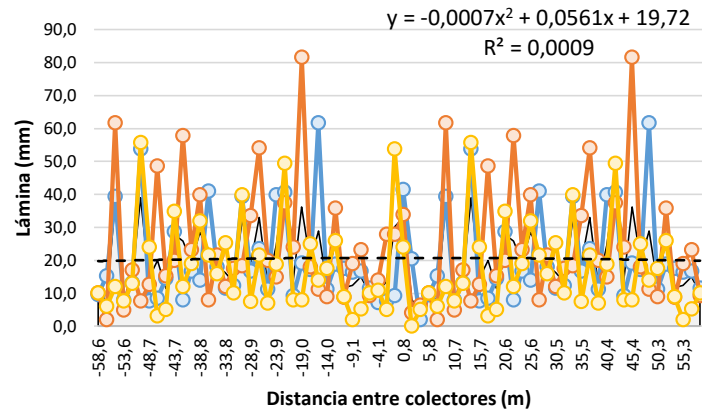
TRASLAPE 70%



TRASLAPE 80%



TRASLAPE 90%

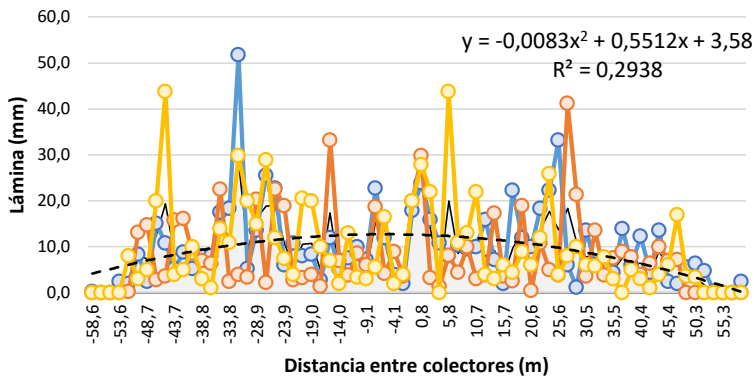


10.22. Anexo V.

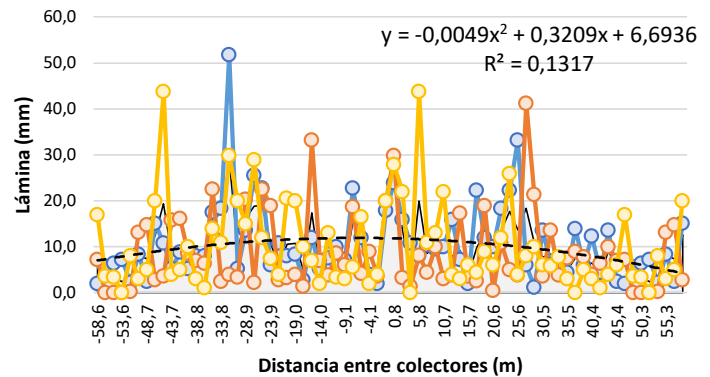
10.22.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 6 – 9 meses, horario de la mañana y una velocidad de 24 – 28 m/h

Promedio
 —●— Línea 1
 —●— Línea 2
 —●— Línea 3
 - - - - Polinómica (Promedio)

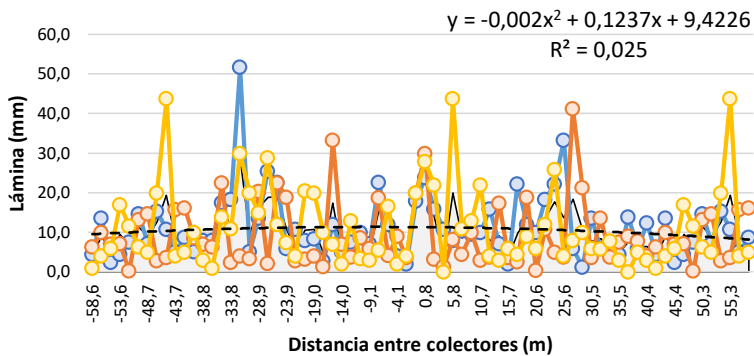
TRASLAPE 10%



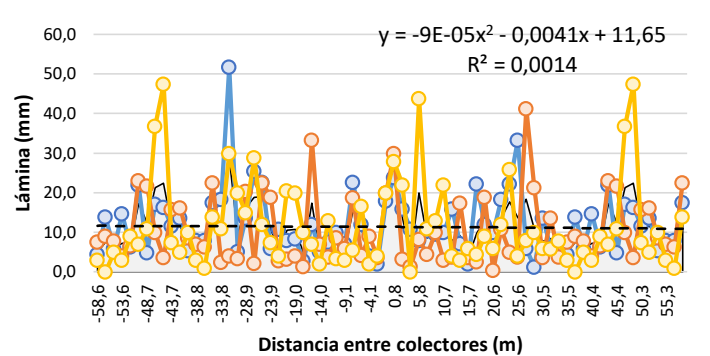
TRASLAPE 20%



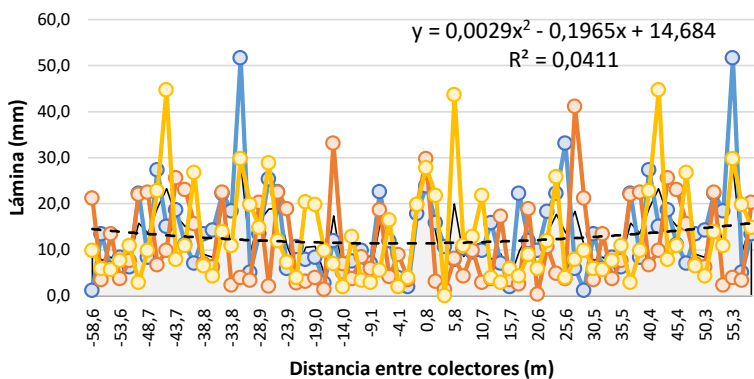
TRASLAPE 30%



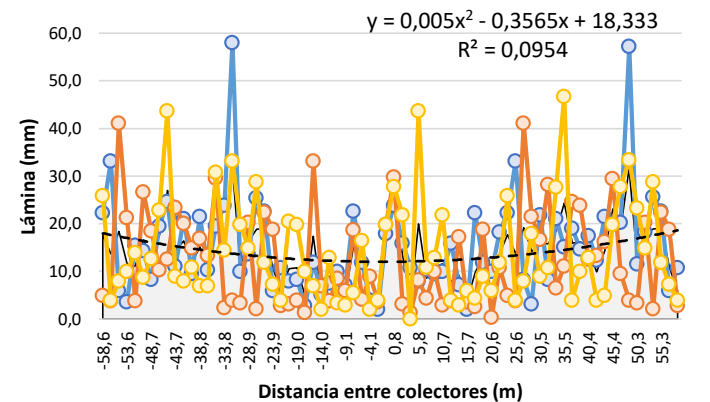
TRASLAPE 40%



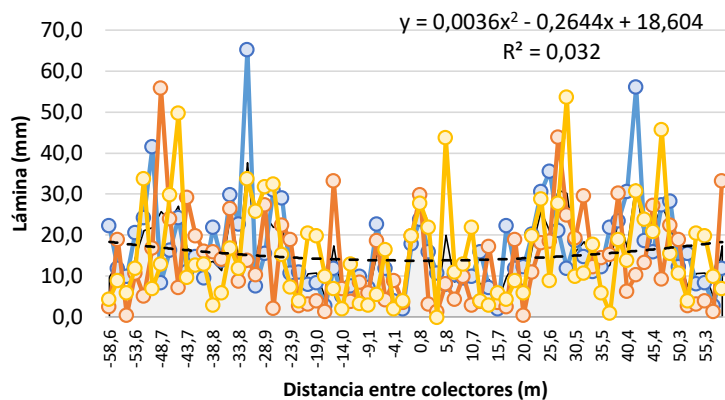
TRASLAPE 50%



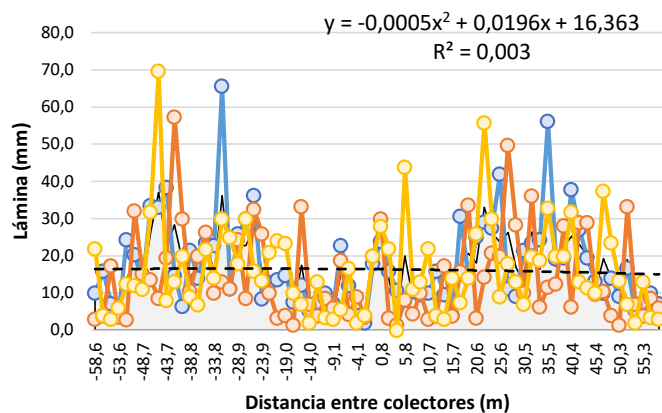
TRASLAPE 60%



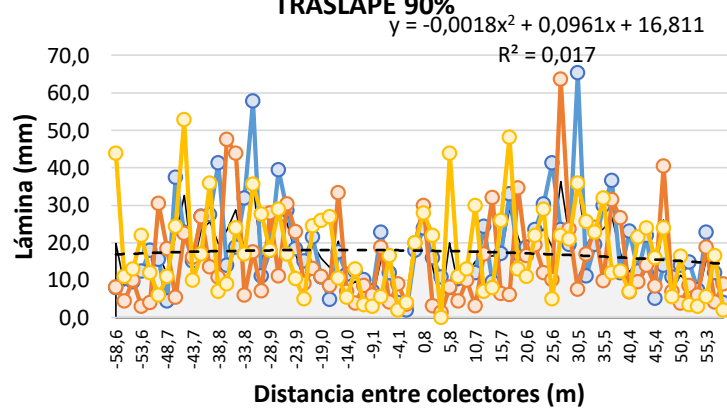
TRASLAPE 70%



TRASLAPE 80%



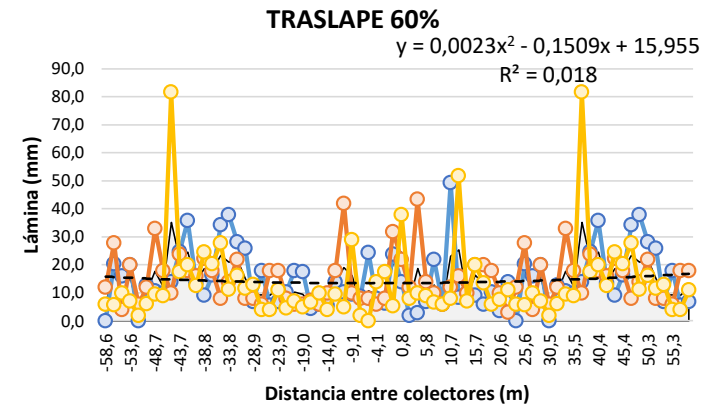
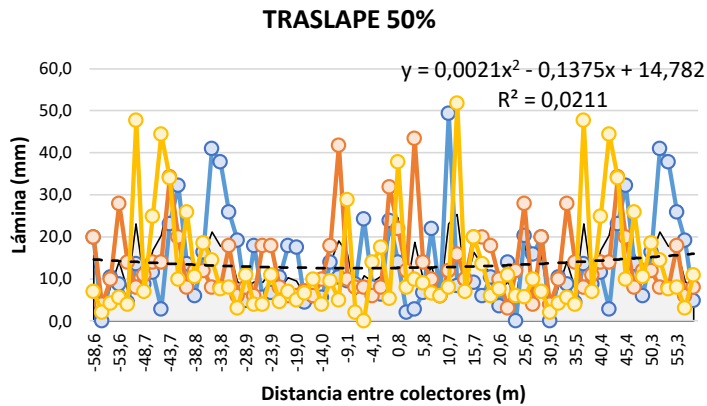
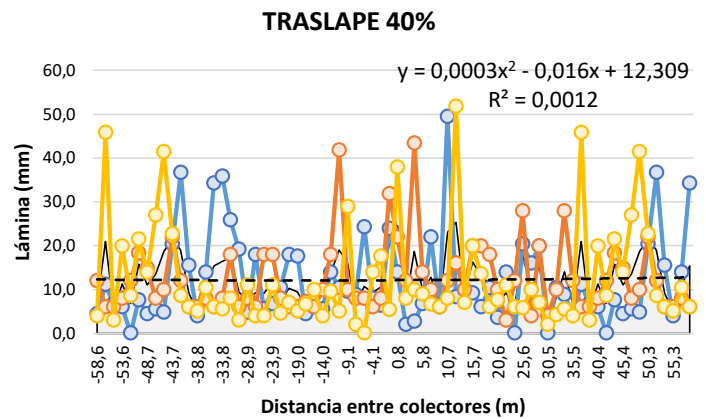
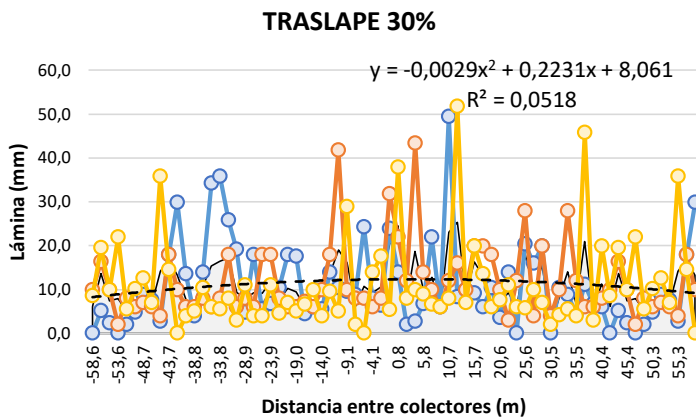
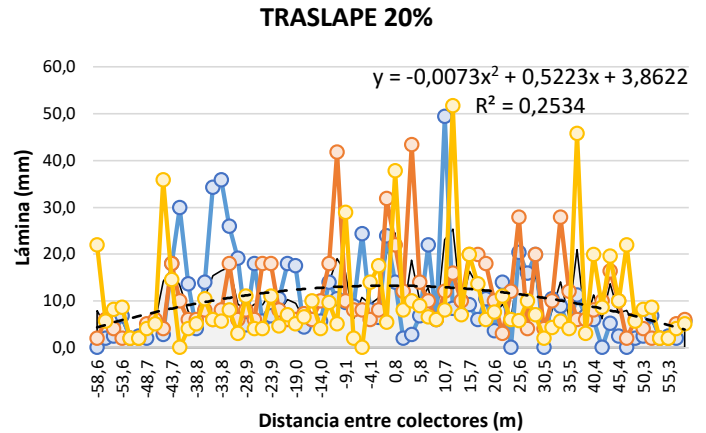
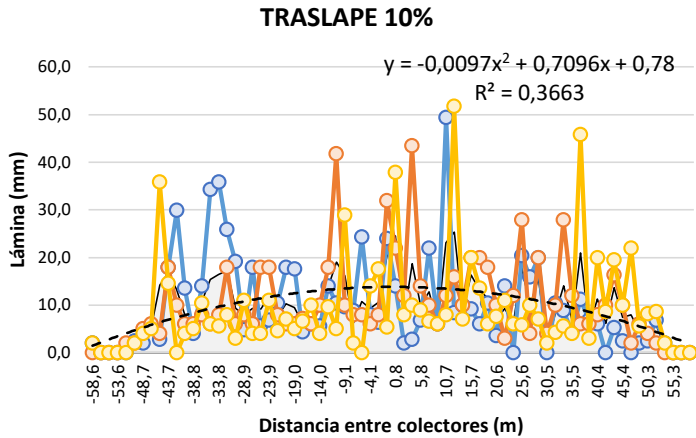
TRASLAPE 90%



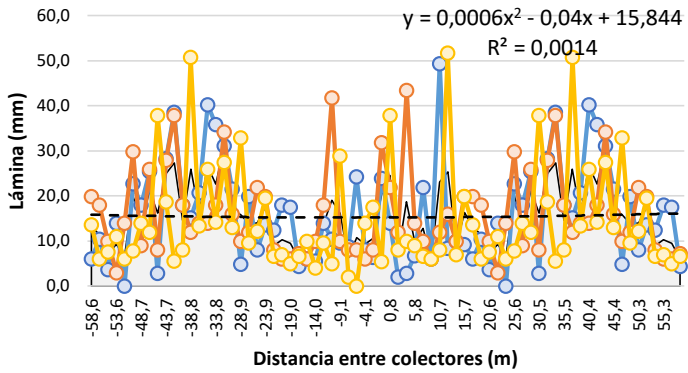
10.23. Anexo W.

10.23.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 6 – 9 meses, horario inicio de la tarde y una velocidad de 24 – 28 m/h

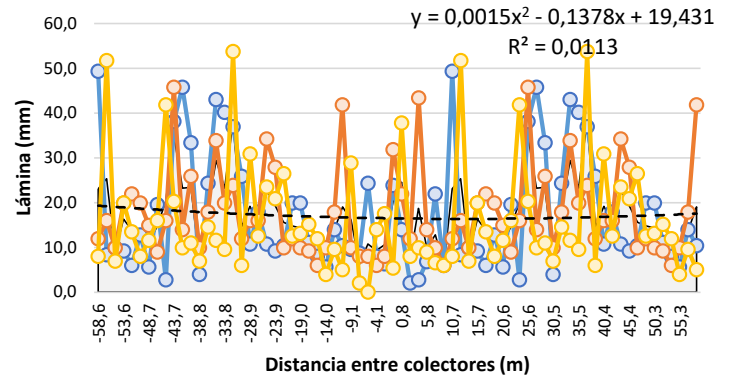
Promedio
 —○— Línea 1
 —○— Línea 2
 —○— Línea 3
 - - - - Polinómica (Promedio)



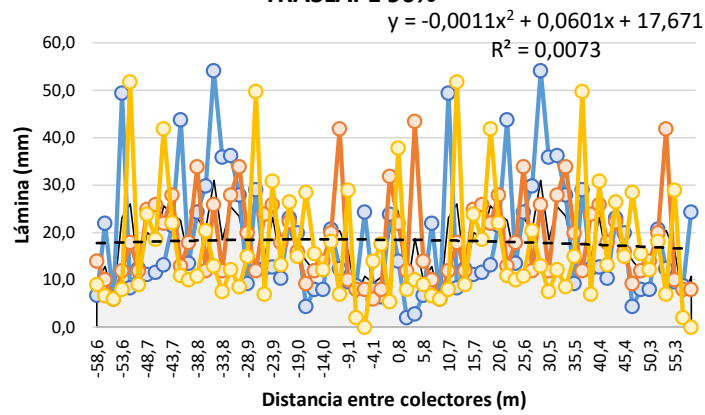
TRASLAPE 70%



TRASLAPE 80%



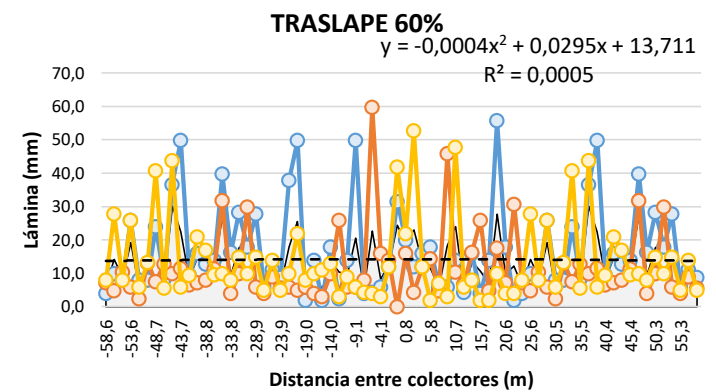
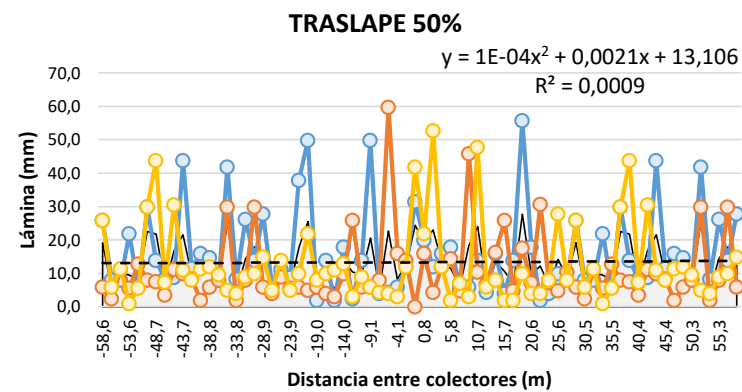
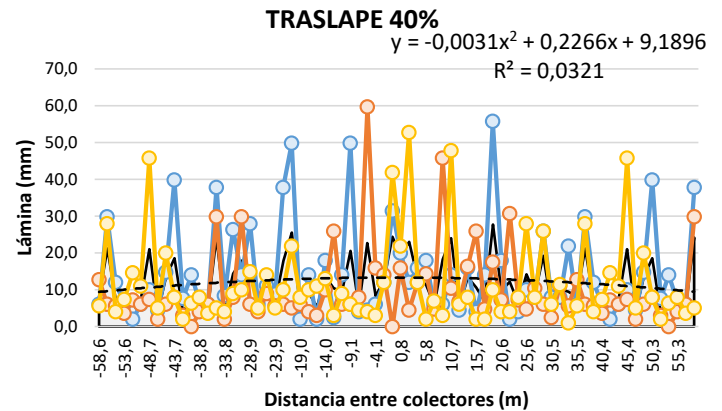
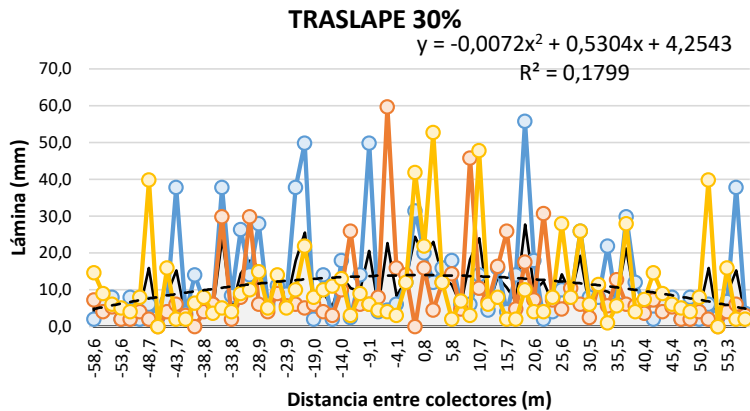
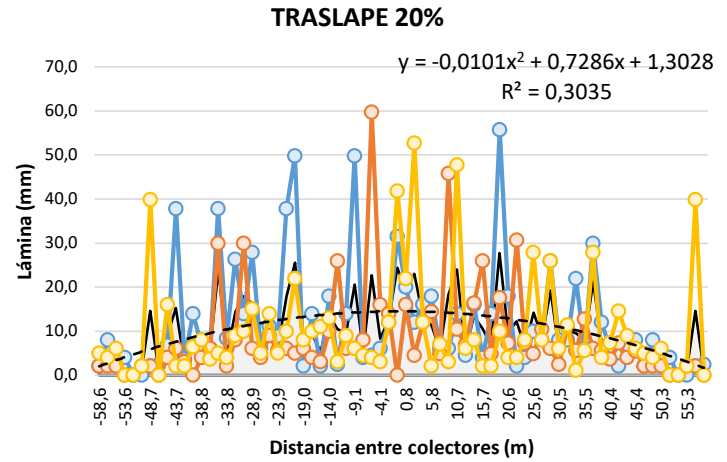
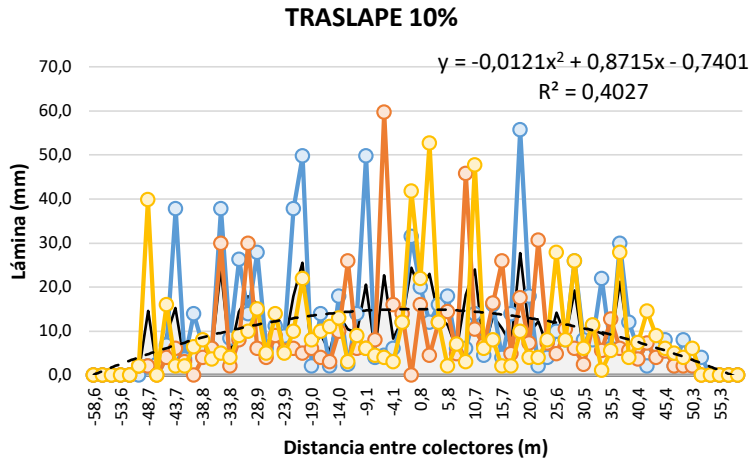
TRASLAPE 90%

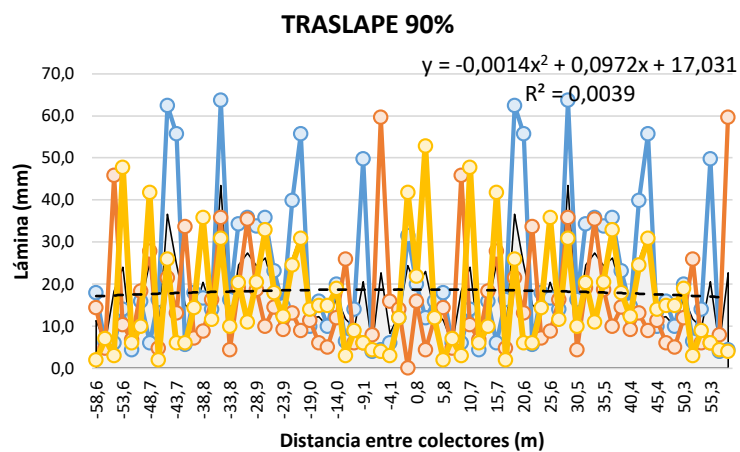
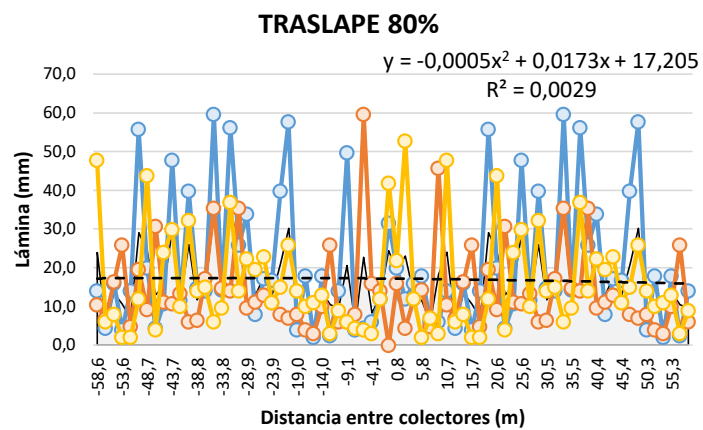
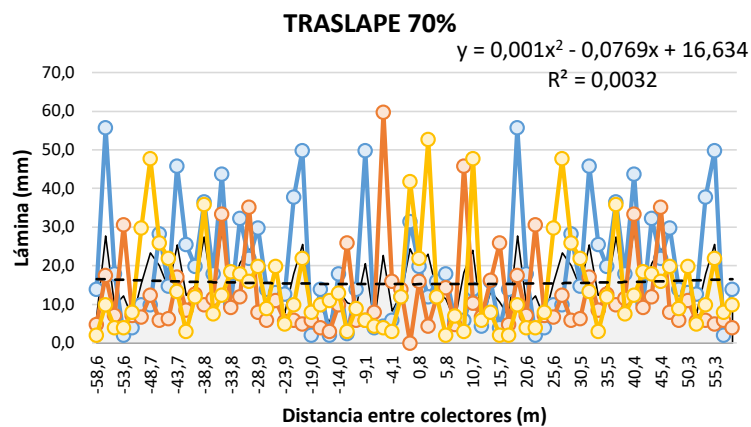


10.24. Anexo X.

10.24.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 6 – 9 meses, horario final de la tarde y una velocidad de 24 – 28 m/h

Promedio
 —●— Línea 1
 —●— Línea 2
 —●— Línea 3
 - - - - Polinómica (Promedio)

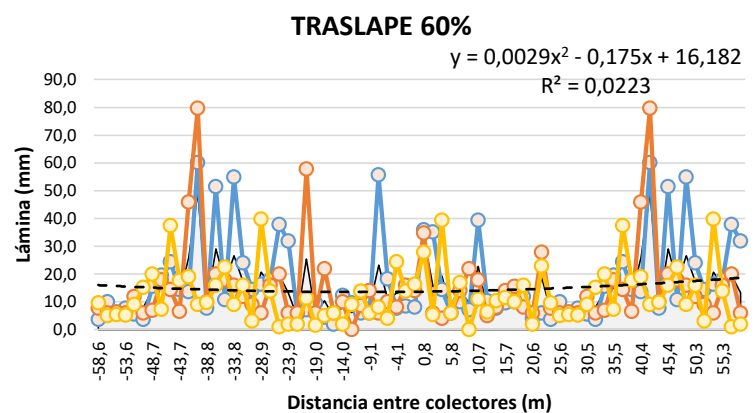
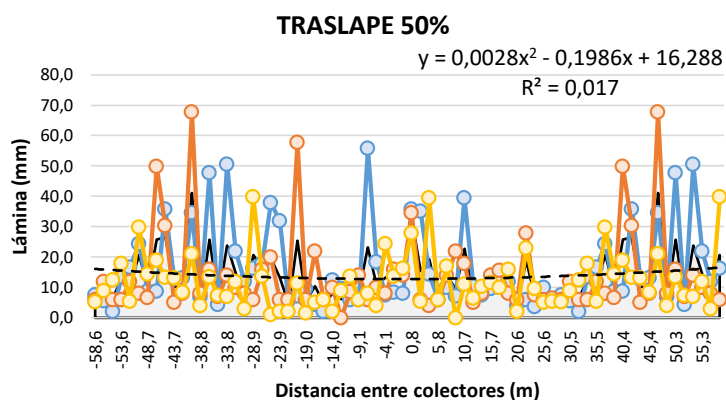
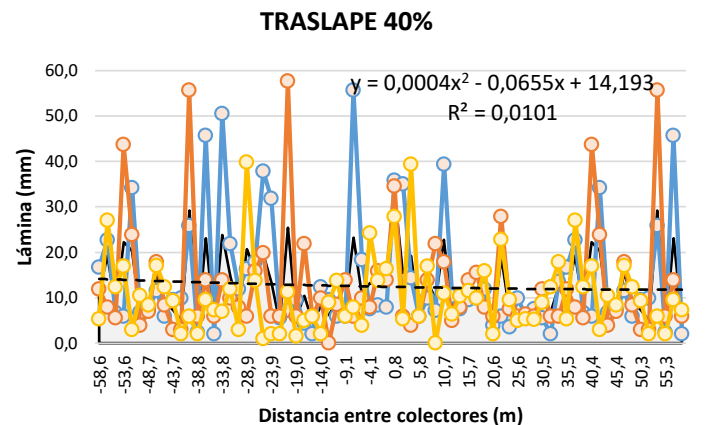
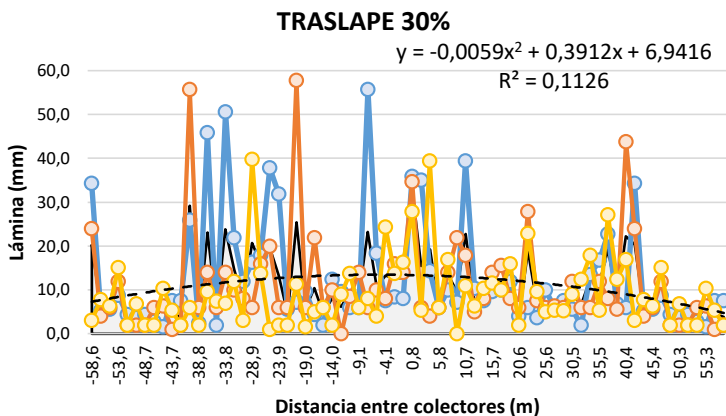
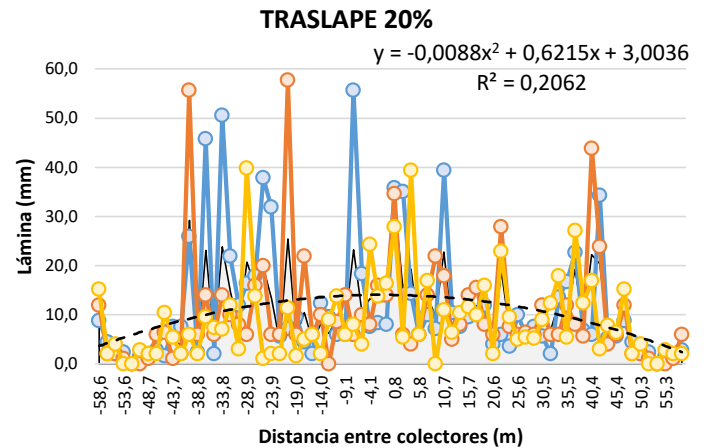
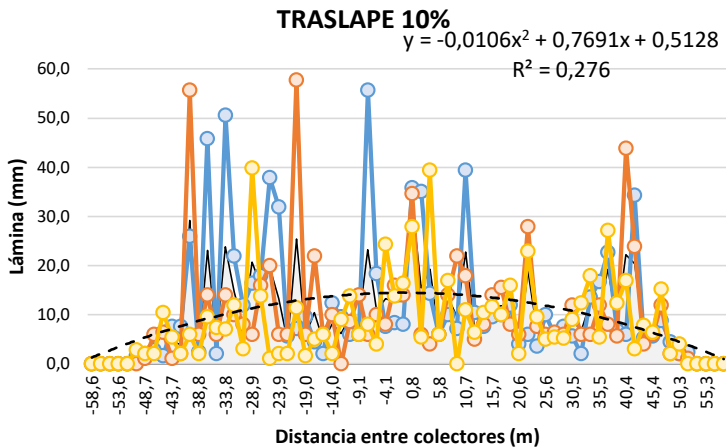




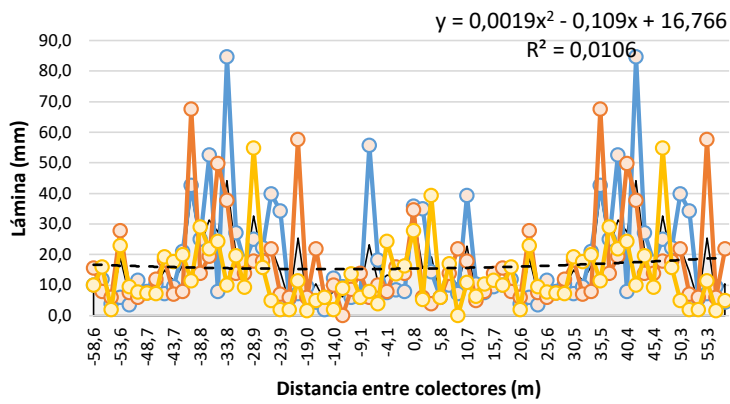
10.25. Anexo Y.

10.25.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 6 – 9 meses, horario de la mañana y una velocidad de 29 – 30 m/h

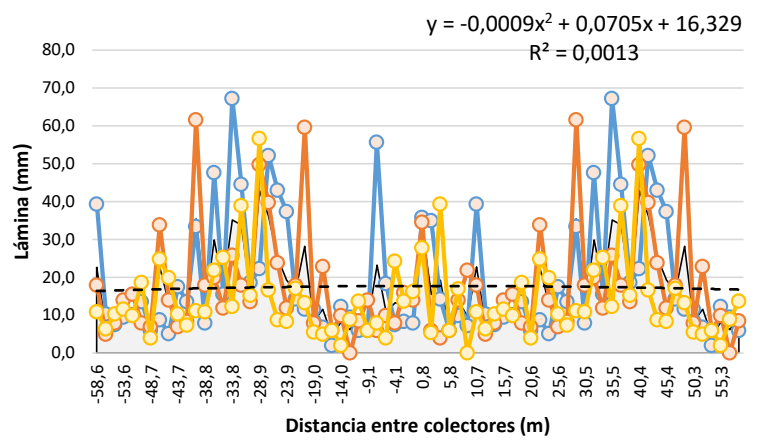
Promedio
 — Linea 1
— Linea 2
— Linea 3
- - - - Polinómica (Promedio)



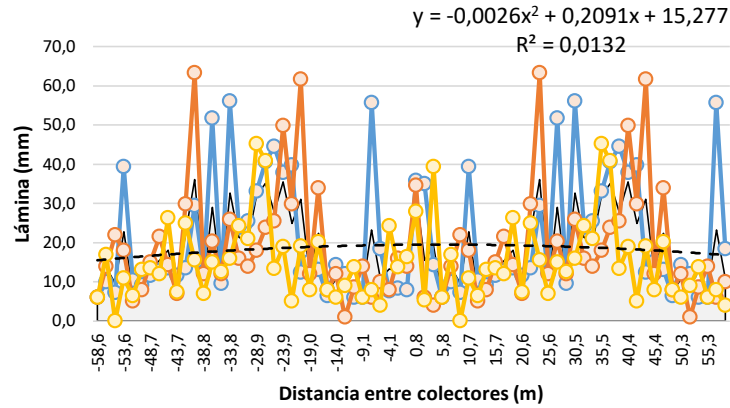
TRASLAPE 70%



TRASLAPE 80%



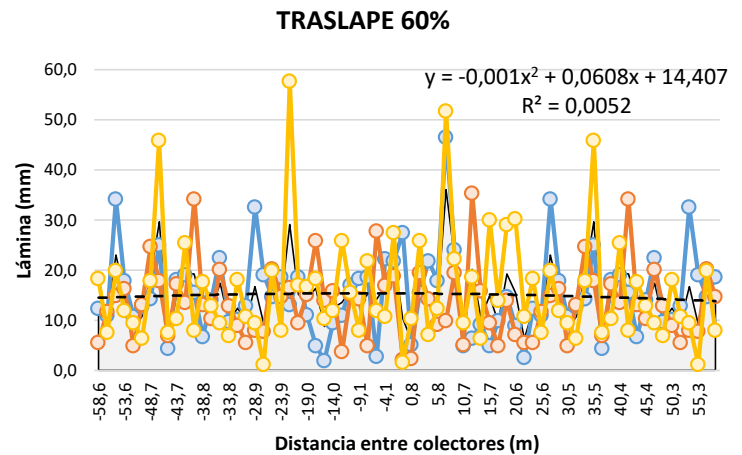
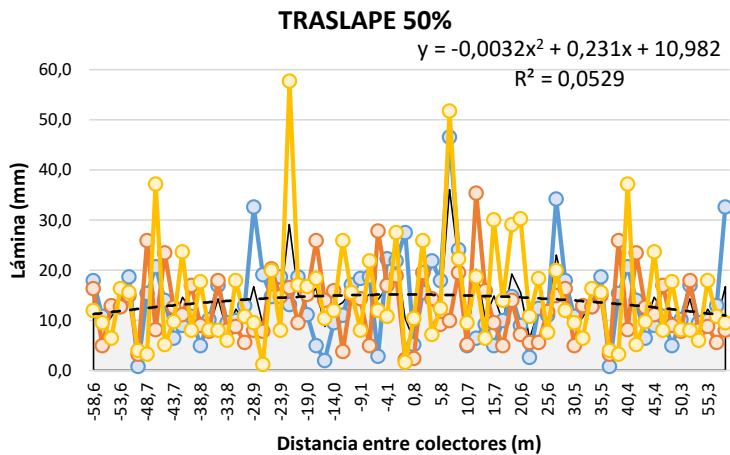
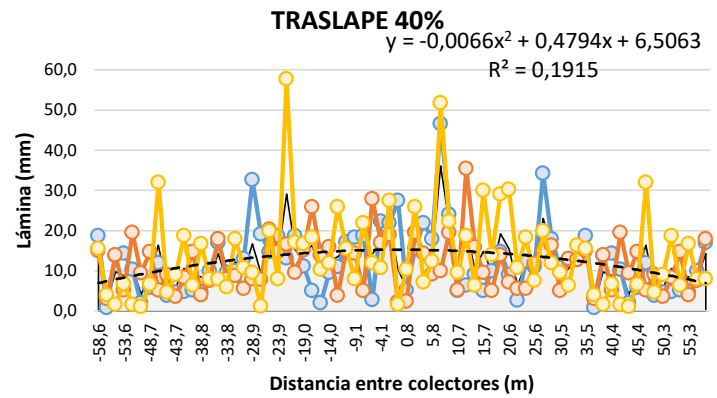
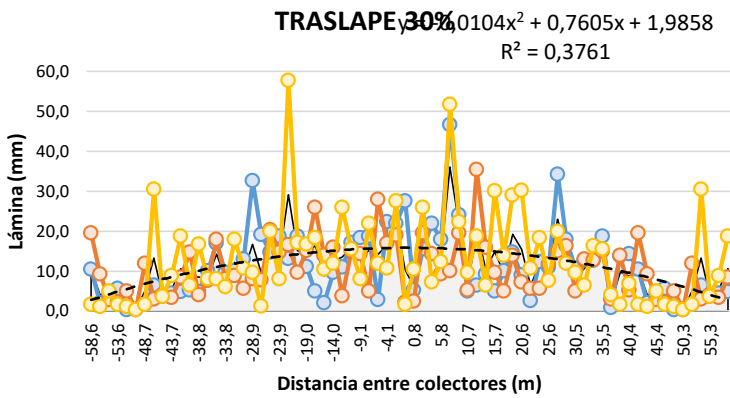
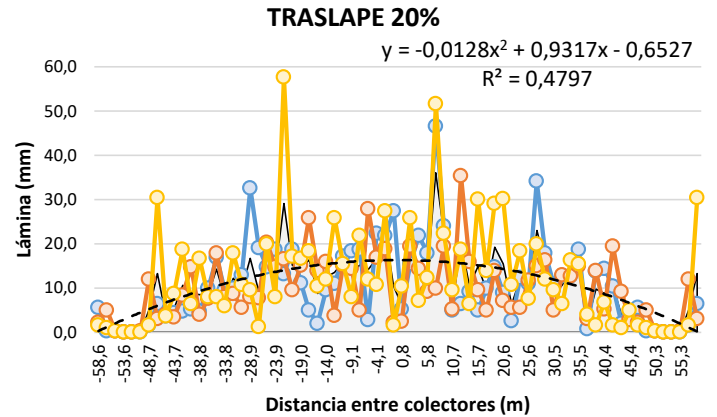
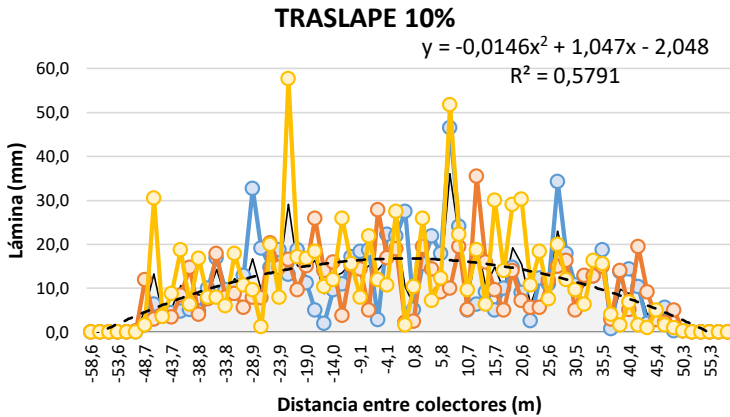
TRASLAPE 90%

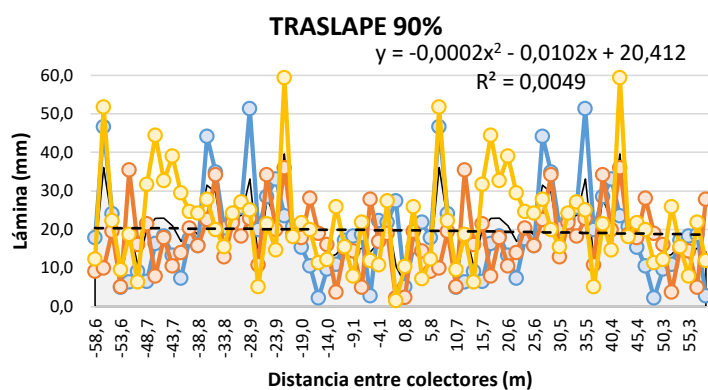
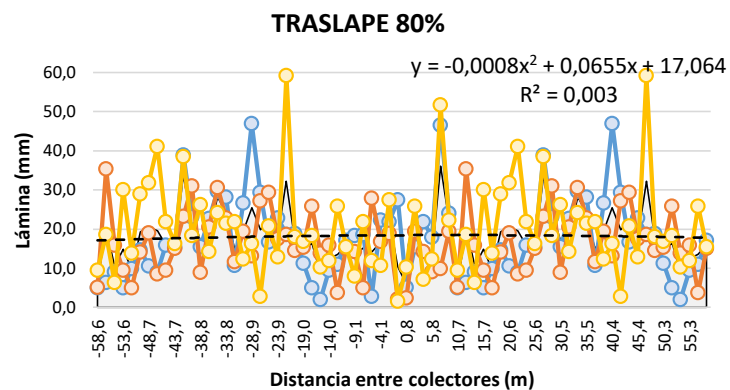
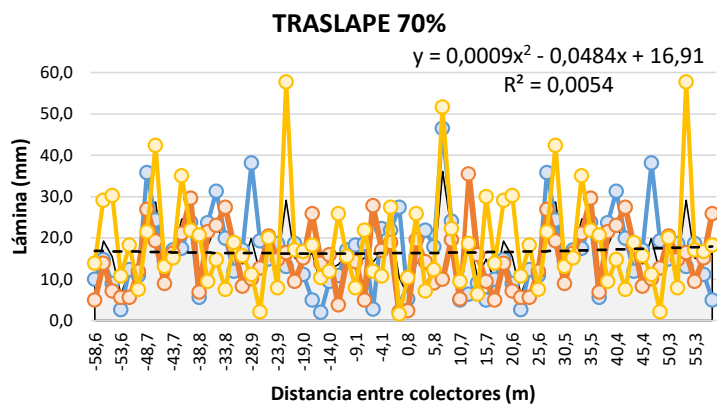


10.26. Anexo Z.

10.26.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 6 – 9 meses, horario inicio de la tarde y una velocidad de 29 – 30 m/h

Promedio
 — Linea 1
— Linea 2
— Linea 3
- - - - Polinómica (Promedio)



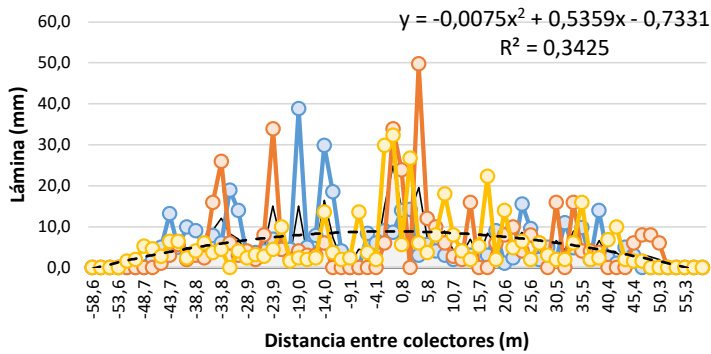


10.27. Anexo AA.

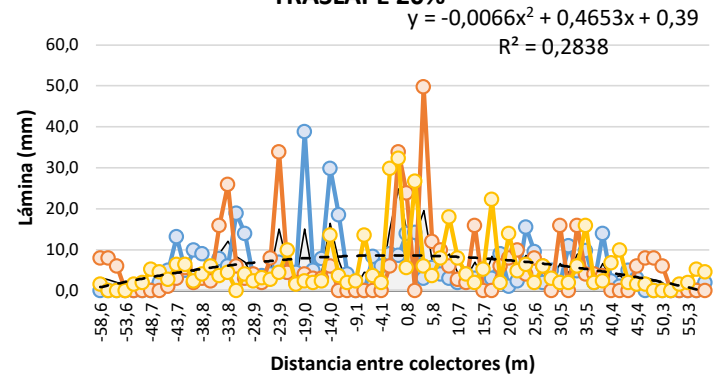
10.27.1. Simulaciones del perfil de distribución de agua por el cañón viajero en condiciones de edad de 6 – 9 meses, horario final de la tarde y una velocidad de 29 – 30 m/h

Promedio
 —●— Línea 1
 —●— Línea 2
 —●— Línea 3
 - - - - Polinómica (Promedio)

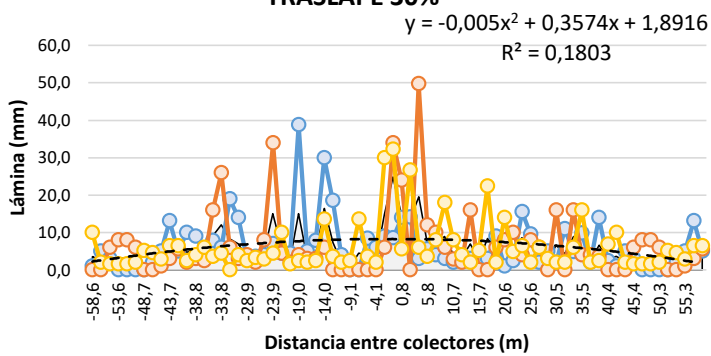
TRASLAPE 10%



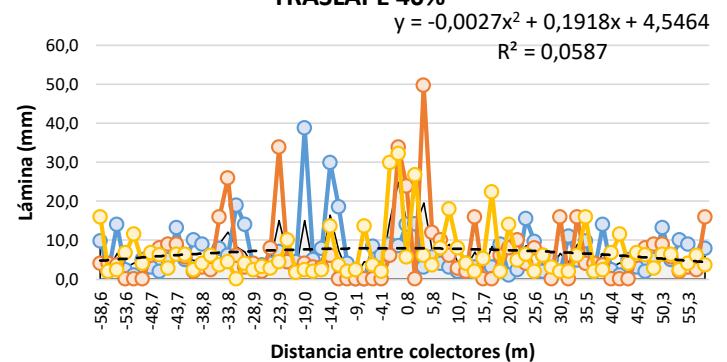
TRASLAPE 20%



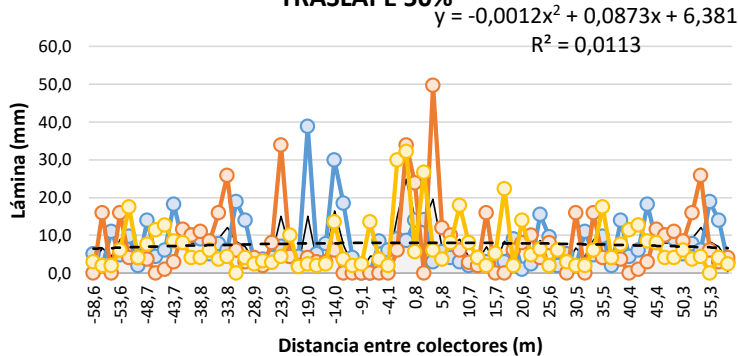
TRASLAPE 30%



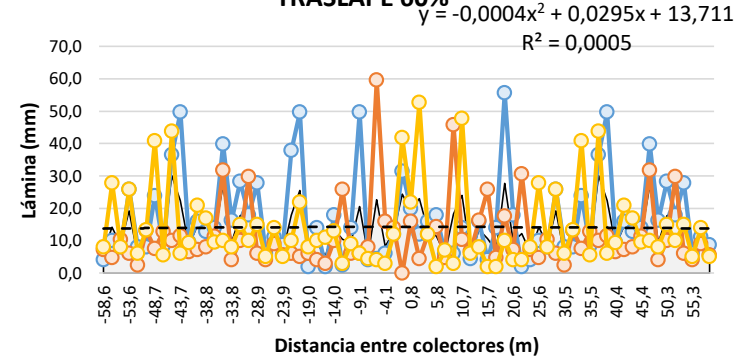
TRASLAPE 40%



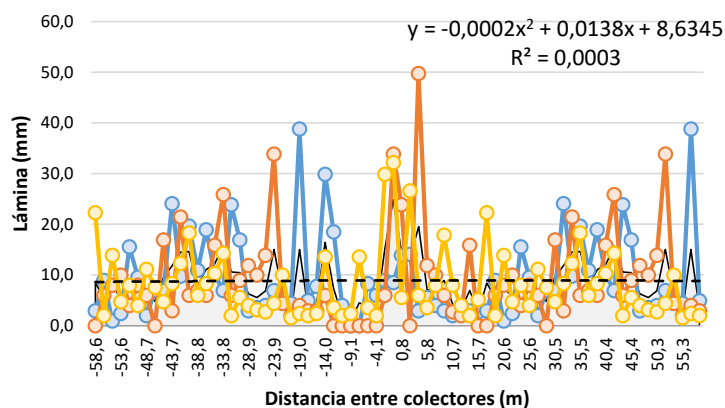
TRASLAPE 50%



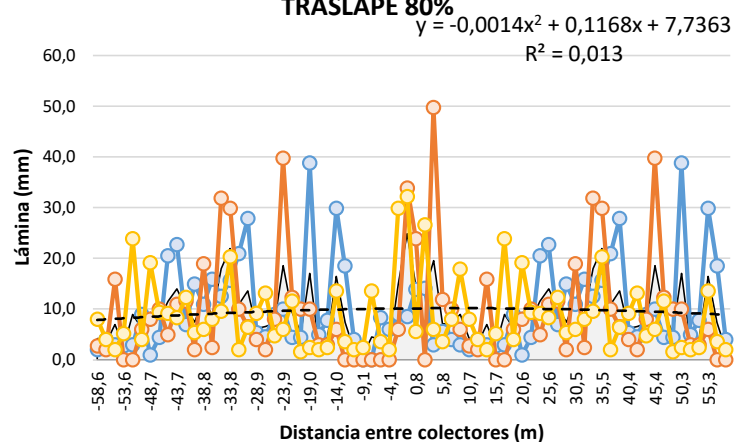
TRASLAPE 60%



TRASLAPE 70%



TRASLAPE 80%



TRASLAPE 90%

