

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO**

**EVALUACIÓN DE UN DISPOSITIVO ANTINEBLINA EN RIEGO POR
MICROASPERSIÓN**

JUAN PABLO CORRALES JARA

**Santiago, Chile
2011**

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

**EVALUACIÓN DE UN DISPOSITIVO ANTINEBLINA EN RIEGO POR
MICROASPERSIÓN**

EVALUATION OF A ANTIMIST DEVICE IN MICROSPRINKLER IRRIGATION

JUAN PABLO CORRALES JARA

Santiago, Chile
2011

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**EVALUACIÓN DE UN DISPOSITIVO ANTINEBLINA EN RIEGO POR
MICROASPERSIÓN**

Memoria para optar al título profesional
de: Ingeniero Agrónomo

Mención: Manejo de Suelos y Aguas

Juan Pablo Corrales Jara

PROFESORES GUÍA	Calificaciones
Julio Haberland A. Ingeniero Agrónomo PhD.	6,5
Cristián Kremer F. Ingeniero Agrónomo, PhD.	6,0
PROFESORES EVALUADORES	
Ian Homer B. Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,0
Werther Kern F. Ingeniero Agrónomo, MBA.	6,5

Santiago, Chile
2011

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi profesor guía, el señor Julio Haberland por sus consejos, apoyo y paciencia durante el desarrollo de este trabajo.

A Don Raul, por su ayuda en todo momento.

A mis padres y amigos por su apoyo incondicional.

INDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
MATERIALES Y MÉTODOS	6
Materiales	6
Metodología	7
Procedimiento y variables a medir	7
Determinación del caudal y su uniformidad de emisión	7
Determinación de los parámetros de aplicación de agua	9
Análisis estadístico	12
RESULTADOS Y DISCUSION	13
Determinación de la uniformidad de emisión de caudales	13
Análisis de los parámetros de aplicación de agua	14
Coeficiente de uniformidad de Christiansen	15
Uniformidad de distribución	18
Diámetro de mojado	20
Distribución de las precipitaciones	21
Patrón de mojado	21
Curvas de distribución	26
CONCLUSIONES	28
BIBLIOGRAFÍA	29
APÉNDICES	31
Apéndice I	31
Apéndice II	33
Apéndice III	35
Apéndice IV	37
Apéndice V	39

RESUMEN

La evaluación de la descarga y uniformidad de aplicación del agua, en riego por microaspersión con el uso de dispositivos antineblina, tiene por propósito, entregar información técnica, del comportamiento de estos, para obtener resultados de uso satisfactorios, tanto por el usuario como por el diseñador de un sistema de riego que considere necesaria su utilización. Por lo cual, los objetivos de esta investigación fueron evaluar el funcionamiento y la calidad de fabricación de los dispositivos antineblina y comparar los parámetros de uniformidad de aplicación del agua en microaspersores con o sin su uso.

Siguiendo la normativa internacional (normas ISO y ASAE), se determinó el caudal real y la uniformidad de emisión para tres microaspersores marca NaanDan, modelo Modular, con un caudal nominal de 35, 43 y 70 l h⁻¹, con su respectivo dispositivo antineblina, calculando la descarga para cada uno de ellos, a presiones de 2 y 3 bar en ausencia y presencia del dispositivo antineblina, estableciéndose cuatro tratamientos en total. Posteriormente estos microaspersores fueron sometidos a prueba, bajo condiciones de laboratorio, donde se determinó el patrón de mojamiento, el coeficiente de uniformidad (CUc) y la uniformidad de distribución (UD) en función de tres situación distintas de traslape.

Los resultados obtenidos muestran una alta uniformidad de la tasa de emisión de caudales, el efecto del dispositivo antineblina se basaría en la reducción del caudal entregado para los casos evaluados a presión máxima (3 bar), ajustándolo a una situación nominal de prueba (2 bar, sin dispositivo). Respecto a los coeficientes de uniformidad, uniformidad de distribución y patrón de mojamiento, los microaspersores que arrojaron mejores resultados, fueron los que no utilizaron el dispositivo y fueron evaluados a presión nominal, no obstante las diferencias registradas con los emisores que utilizaron esta pieza y fueron evaluados a presiones mayores, podrían considerarse como marginales.

En consecuencia el uso del dispositivo antineblina es efectivo, no altera el patrón de mojamiento del microaspersor y para los índices evaluados, los resultados obtenidos a una presión máxima de prueba se asemejan bastante a una situación nominal de prueba.

Palabras Clave

- ✓ Dispositivo antineblina
- ✓ Microaspersión
- ✓ Riego tecnificado

ABSTRACT

The purpose of evaluating the discharge and uniformity water application in irrigation using microsprinklers along with antimist devices is to gather technical information about how these devices perform so the designer of an irrigation system and the user can get the very best results. Whereby the primary objectives of this research were to evaluate the functioning and manufacturing quality of the antimist devices; and also to compare the uniformity parameters of water application in microsprinklers with or without its use.

Following international standards (ISO and ASAE) the real flow and emission uniformity was determined of three NaanDan Modular microsprinklers, with a flow rate of 35, 43 and 70 l h⁻¹ and its respective antimist device. After calculating the discharge of each and one of them at pressures of 2 and 3 bar with and without antimist devices, establishing four treatments overall. Subsequently the same microsprinklers were tested under laboratory conditions where their spray coverage pattern, uniformity coefficient (UC) and distribution uniformity (DU) were determined under three different overlapping situations.

The results show a considerable uniformity in the flow emission rate, the effect provoked by the antimist devices would be based on the flow reduction in the cases evaluated at the maximum pressure (3 bar), adjusting them to a 2 bar pressure situation. In relation to the uniformity coefficients, distribution uniformity and spray coverage pattern the microsprinklers that perform better were those that did not use the device and were evaluated at a nominal pressure; nevertheless the differences observed in the gadgets using this piece were evaluated at higher pressures therefore they could be considered marginal.

As a result the use of the antimist device is effective; does not alter the spray coverage pattern of the microsprinklers and for the rates evaluated, the outcomes obtained at a maximum test pressure are quite similar to a nominal test situation.

Key Words

- ✓ Antimist device.
- ✓ Microsprinklers.
- ✓ Technical irrigation system.

INTRODUCCIÓN

El sistema de riego por microaspersión es un método de riego localizado de alta frecuencia o RLAF (Pizarro, 1990). Tuvo su origen en Sudáfrica alrededor de 1970, desde donde se llevó a California (Estados Unidos) para regar huertos de paltos y cítricos, luego presentó un fuerte desarrollo en Florida (Estados Unidos) y otras regiones tropicales y subtropicales del planeta a partir de 1980 (Post *et al*, 1986).

Este método de riego consiste en la aplicación del agua de riego como una lluvia de gotas finas a baja altura (CIREN-CORFO, 1996), se caracteriza, según Post *et al* (1986), por una presión de operación menor a 2,5 bar, una descarga de 18 a 230 l h⁻¹ y un diámetro de mojamiento de 1,5 a 5 m. Debido a estas dos últimas propiedades, la microaspersión se perfila como la tecnología a utilizar en cultivos con sistemas radiculares superficiales o en suelos delgados, con texturas gruesas o pedregosidad excesiva (Maldonado, 2001), ofreciendo un mayor volumen de suelo a explorar bajo condiciones óptimas de contenido de agua.

En la actualidad, los sistemas de RLAF son diseñados en función de la disponibilidad de los distintos componentes que se encuentran en el mercado. Así, la elección entre los equipos e implementos de riego, depende principalmente de la información entregada por el fabricante y por las empresas proveedoras. En este contexto, la información y las especificaciones técnicas indicadas pueden ser incompletas y por esto puede que no se obtengan los resultados esperados tanto por el usuario como por el diseñador del sistema.

Machuca (1995), al igual que diversos autores, señala que, para lograr buenos resultados en el diseño de cualquier sistema RLAF se deben cumplir los siguientes requisitos:

- Sistema económico.
- Un coeficiente de uniformidad que garantice una altura de aplicación uniforme en superficie.
- Cubrir las necesidades de evapotranspiración máxima de las plantas.
- Humedecer un determinado porcentaje del volumen de raíces.
- La velocidad de aplicación de agua debe ser igual o menor a la velocidad de infiltración estabilizada del suelo a regar.
- Debe ser un sistema simple de manejar.

Sin embargo, uno de los principales problemas que ofrece la microaspersión, es una relativa desuniformidad en el patrón de mojamiento por una concentración de las precipitaciones alrededor del emisor, debido a la nebulización que se genera en éste, la cual está relacionada con la presión a la cual el emisor opera y la calidad de éste (Meza, 1993). Otro factor que afecta la uniformidad de distribución es el viento, lo que determina la deriva de agua nebulizada fuera del perfil de mojamiento, incidiendo directamente en la eficiencia del sistema de riego (Armoni, 1989).

Para remediar este problema se ha ideado un dispositivo antineblina o “anti-mist”, que corresponde a una pieza plástica instalada en la base de la boquilla, la cual crea una cámara antes de ésta, que disminuye la velocidad y uniformiza el flujo del agua, evitando la nebulización y por ende la deriva de las gotas de agua, reduciendo la concentración de las precipitaciones alrededor del vástago¹.

El “anti-mist” es un dispositivo adicional que permite el uso de emisores no autocompensados, teniendo la ventaja de actuar directamente sobre la emisión de este, constituyendo una las tecnologías que permiten aumentar la uniformidad del riego cuando la presión de operación del emisor excede a la presión de diseño¹.

Para evaluar el riego localizado de alta frecuencia (RLAF), se analizan parámetros directamente relacionados a la eficiencia de riego, como el coeficiente de uniformidad, la uniformidad de distribución, el coeficiente de variación y otros (Armoni, 1989).

El coeficiente de uniformidad (CU) consiste en un análisis estadístico del patrón de mojamiento del riego desarrollado por Christiansen (1942), que en la práctica es un valor agronómico que interviene en el diseño del sistema de riego, pues afecta el cálculo de las necesidades totales de agua. En función del CU se define los límites entre los que se permite que varíen los caudales de los distintos microemisores (Pizarro, 1990). Este coeficiente es uno de los parámetros más ampliamente usados para el estudio de la uniformidad del riego (Burt *et al.*, 1997).

Para los RLAF, por ser sistemas de riego de mayor tecnología, el CU debiera ser superior al 90%, dependiendo de la calidad de los microemisores, existencia de traslape y otros, y principalmente se elige comparando el costo del consumo de agua y la inversión inicial en la instalación (Armoni, 1989; Pizarro, 1990).

Cuanto mayor es el valor de CU, mas cara resulta la instalación del riego, debido a que si se busca una menor dispersión de caudales, el régimen de presiones debe ser más uniforme. Esto exige mayores diámetros en tuberías, laterales más cortos, mayor inversión en reguladores de presión y otros, lo que se justifica para cultivos de alto valor (Pizarro, 1990).

Por su parte, la uniformidad de distribución (UD) de Merriam y Keller (1978) es un parámetro utilizado para asignar un valor numérico a la uniformidad de aplicación de agua (USDA, 1983), el cual representa la igualdad espacial del agua aplicada en un área determinada. Matemáticamente se define como el resultado entre la media de las alturas de agua más bajas obtenidas en una medición respecto al promedio de alturas acumuladas (Burt *et al.*, 1997). El sentido de mínimo lo proporciona la media de las menores alturas interceptadas en una fracción concreta de una zona con planta. La media del 25% menor es una de las más utilizadas (Merriam y Keller, 1978; Burt *et al.*, 1997; USDA, 1997). No obstante, la utilización de las alturas de agua más altas en un riego para la obtención de la UD es igualmente valida si el cultivo en cuestión presenta sensibilidad a situación de excesos de agua (Burt *et al.*, 1997).

¹ Julio Haberland A., Ing. Agrónomo PhD, Universidad de Chile. (Comunicación personal)

Los objetivos generales de esta investigación son:

- Evaluar el funcionamiento del dispositivo antineblina, en comparación a un microaspersor sin esta pieza.
- Comparar los parámetros de uniformidad de aplicación de agua en microaspersores con y sin el uso del dispositivo antineblina.

MATERIALES Y MÉTODO

El estudio se realizó el primer semestre del año 2011 en el Laboratorio de Hidráulica del Departamento de Ingeniería y Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

Materiales

El emisor de riego evaluado se divide en dos componentes: el microaspersor y el dispositivo antineblina. Se utilizaron 3 tipos de microaspersores, que entregan caudales de 35, 43 y 70 l h⁻¹, operados a 2 bar cada uno, además de su respectivo dispositivo antineblina (Figura 1). El modelo de microaspersor corresponde al tipo modular, marca NaanDan, al igual que los dispositivos antineblina.

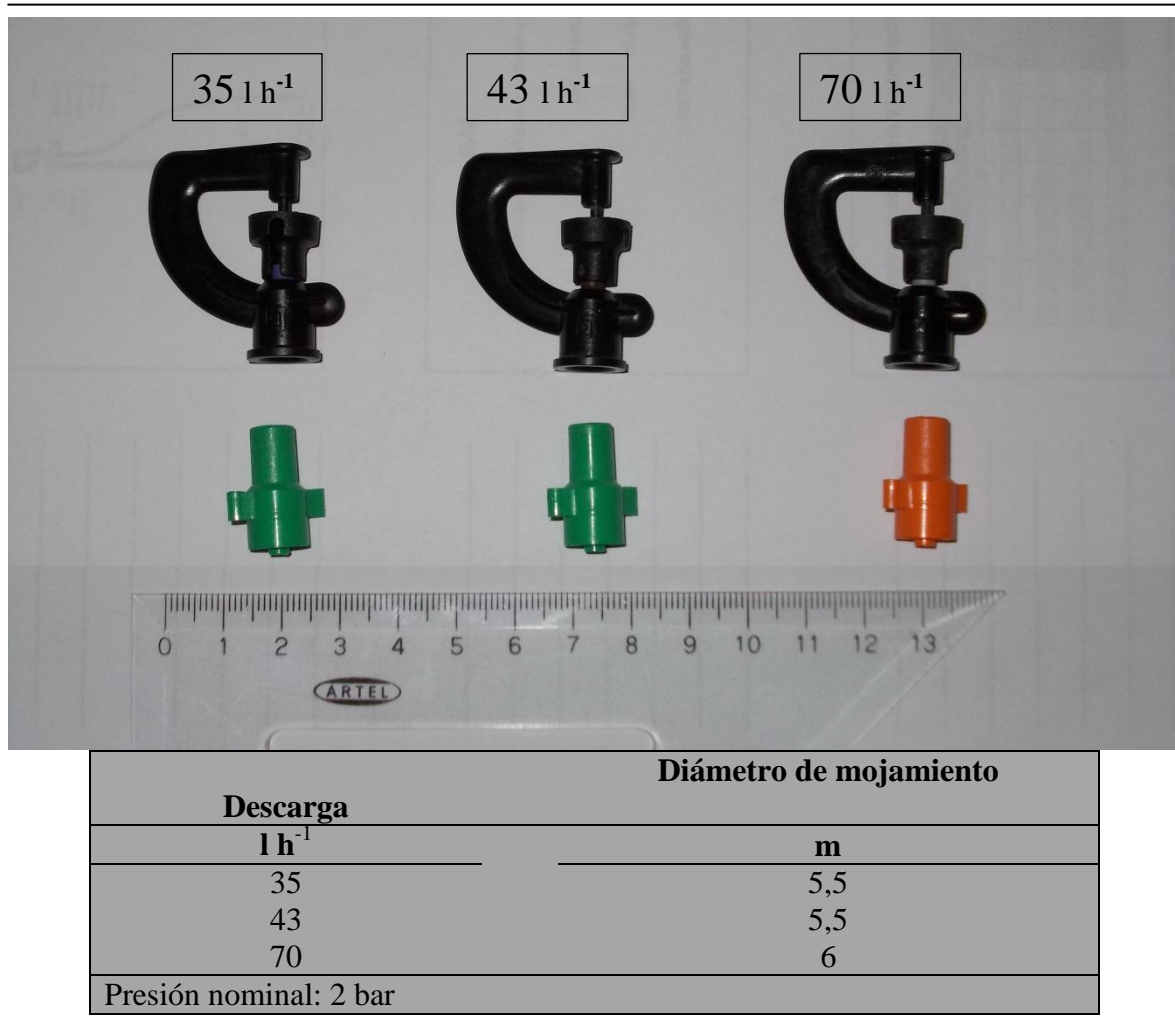


Figura 1: Tipos de antineblina y microaspersores utilizados (foto) y datos especificados por el fabricante (cuadro).

Método

Tratamientos y diseño de experimentos.

Se realizaron 3 ensayos, conforme a los 3 emisores evaluados (35, 43 y 70 l h⁻¹), posteriormente, cada boquilla fue sometida a 4 tratamientos, combinando la presencia del dispositivo antineblina y 2 presiones de operación (Cuadro 1). Además se realizaron 3 repeticiones por tratamiento.

Cuadro 1: Diseño experimental prueba con los microaspersores.

Ensayo	Tratamiento	Presión (Bar)	Presencia (P) / Ausencia (A) dispositivo antineblina
1	1	2	A
	2	2	P
	3	3	A
	4	3	P
2	1	2	A
	2	2	P
	3	3	A
	4	3	P
3	1	2	A
	2	2	P
	3	3	A
	4	3	P

Procedimiento y variables a medir.

Las condiciones generales de prueba se realizaron según la normativa ANSI/ASAE e ISO vigente para microaspersores (Rojas, 2003), las que se detallan a continuación:

Determinación del caudal y su uniformidad de emisión. (ISO 9260: 1991)

La unidad de muestra comprendió un tramo de tubería de polietileno en que se insertaron por medio de un microtubo de 4 mm de diámetro y 60 cm de largo, 6 microaspersores y su respectivo dispositivo antineblina según la condición de prueba, los cuales se aforaron durante 10 minutos, y luego se calculó la descarga usando la siguiente ecuación:

$$Pa = Pf - Pi \quad (\text{Ecuación 1}).$$

Dónde:

Pa = Masa de la descarga de agua (g).

Pf = Masa final del colector (g).

Pi = Masa inicial del colector (g).

Luego:

$$V = M * D^{-1} \quad (\text{Ecuación 2}).$$

Dónde:

V = Volumen de la descarga (m^3).

M = Masa de la descarga (kg).

D = Densidad del agua. ($kg\ m^{-3}$).

Dado que los emisores se clasifican de acuerdo a su uniformidad de emisión, éstos se agrupan en dos categorías:

- Categoría A: emisores con una alta uniformidad de su tasa de emisión y una baja desviación respecto a su flujo nominal.
- Categoría B: emisores con una baja uniformidad de su tasa de emisión y una alta desviación respecto a su flujo nominal.

Se determinó la descarga media (q_{prom}), la desviación estándar (Sq) y el coeficiente de variación (Cv). Los valores obtenidos se evaluaron siguiendo las tolerancias requeridas por la norma (ISO 9260: 1991), la cual define:

La tasa de emisión promedio, q_{prom} , de los emisores de prueba no puede tener una desviación respecto del flujo nominal, q_n , superior a un 5 % para emisores pertenecientes a la categoría A y no más de un 10 % para emisores pertenecientes a la categoría B.

El coeficiente de variación, Cv, de la tasa de emisión de los emisores de prueba no debe ser mayor a un 5 % para los emisores pertenecientes a la categoría A y un 10 % para emisores pertenecientes a la categoría B.

Para la norma **ASAE EP405.1 FEB03**, la variabilidad en la descarga del emisor es debido a la presión y cambios de temperatura, coeficiente de variación de fabricación, obturaciones y envejecimiento. Una guía general para clasificar valores de Cv según norma ASAE EP405.1 FEB03, se muestra en la cuadro 2.

Cuadro 2. Clasificación recomendada para coeficiente de variación de fabricación.

Tipo emisor	Rango de Cv	Clasificación
	< 0.05	excelente
	0.05 a 0.07	promedio
Point source	0.07 a 0.11	marginal
	0.11 a 0.15	pobre
	> 0.15	inaceptable

Fuente: ASAE EP405.1 FEB03

Determinación de los parámetros de uniformidad de aplicación del agua. (ISO 8026, 1995).

Según Armoni (1989), en el caso de los microaspersores se pueden distinguir tres niveles críticos de operación:

1. Presión mínima: Se define como la mínima presión de trabajo que permite una distribución adecuada del agua de riego.
2. Presión nominal: Es la presión estándar de referencia para todos los microemisores, la cual es informada por el fabricante.
3. Presión máxima: Se define como el límite superior de la presión de trabajo que permite aún mantener el diámetro de las gotas producidas dentro de un marco aceptable y también alcanzar el diámetro de cobertura deseado. A presiones más elevadas se produce una nebulización excesiva, lo que produce una reducción del diámetro de cobertura, una alteración en la distribución del agua y se reduce la vida útil de las tuberías y microemisores.

Es por esto, que el análisis de los parámetros de uniformidad de aplicación del agua en microaspersores, se realizó en función de dos presiones de operación: presión nominal y máxima presión de prueba (50% incremento de la presión nominal). Ambas para tres microaspersores diferentes como lo señala el Cuadro 1. No se realizó la prueba para el rango de presión mínima, ya que el objetivo contempla presiones de operación mayores.

Se dividió el área de prueba en cuadrados con una dimensión máxima de sus lados de 0,5 m. en consecuencia, los colectores se localizaron en las esquinas de los cuadrados, mientras que el microaspersor de prueba quedo ubicado en el centro geométrico del área de prueba. La distancia vertical desde la boquilla del microaspersor de prueba a la boca de los colectores fue de 0,2 m (Figura 2 b).

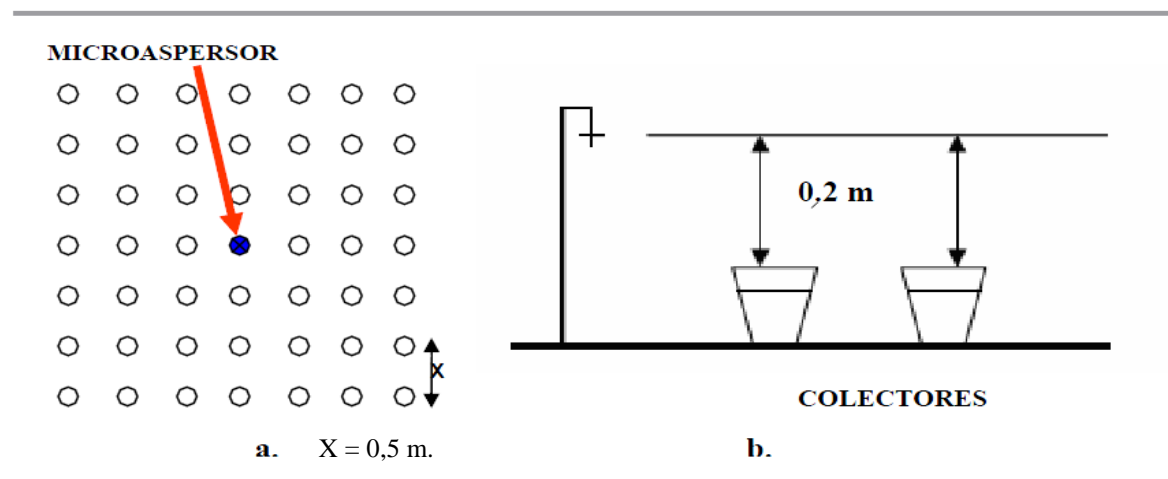


Figura 2. a) Distribución microaspersor - vasos colectores. **b)** distancia vertical desde la boquilla del microaspersor de prueba hasta la boca de los colectores.

Distribución de las precipitaciones. Se midió en dos radios, en ángulos de 180°, dentro del área de cobertura (Figura 3), para luego calcular la tasa de aplicación de agua (h) en $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$, según la siguiente ecuación:

$$h = V * 1000 * t^{-1} * A^{-1} \quad (\text{Ecuación 3}).$$

Dónde:

h = Tasa de aplicación (mm h^{-1})

V = Volumen de agua depositado en cada colector (m^3).

A = área de la apertura del colector (m^2).

t = duración de la prueba (h).

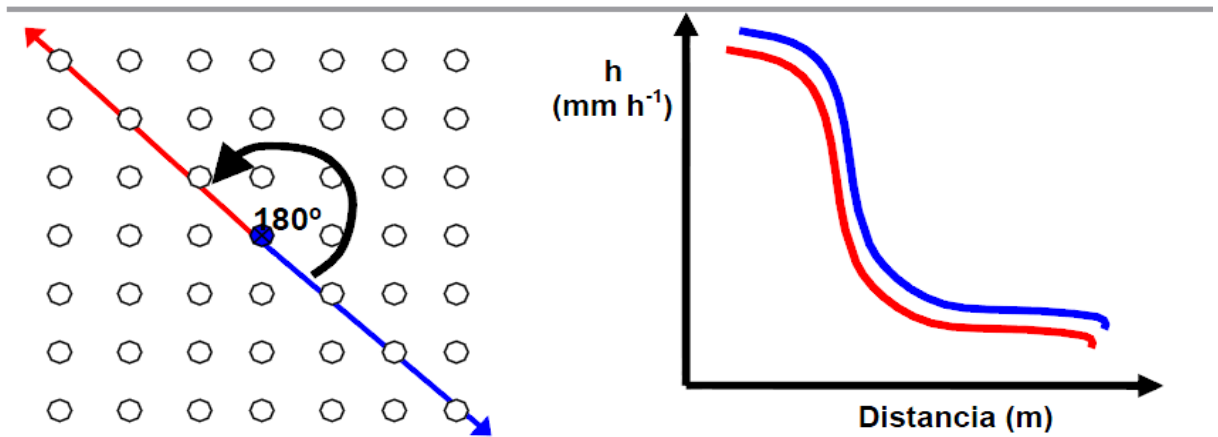


Figura 3. Distribución de agua.

Figura 4. Curvas de distribución de agua.

Se calcularon las curvas de distribución en función de la distancia de cada colector al microaspersor de prueba, en los dos radios evaluados (Figura 4). A partir de estas dos curvas, se graficó la curva de distribución promedio. Ésta, debe cumplir con los requerimientos del fabricante, con una desviación máxima de $\pm 15\%$.

Patrón de mojamiento. Para obtener el patrón de mojamiento, se utilizaron los datos recolectados a partir de la cantidad de agua acumulada en cada colector de prueba en el área de cobertura, donde se graficaron en tres dimensiones las curvas, interpolando puntos de igual tasa de recolección de agua o isoyetas.

Luego los parámetros de uniformidad de aplicación del agua calculados fueron: Coeficiente de uniformidad y uniformidad de distribución, los cuales se describen a través de las siguientes ecuaciones:

- Coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC): Determinado a partir de los resultados obtenidos de la prueba de distribución. El 100% representa una uniformidad perfecta a lo largo del campo de prueba. (ISO 7749-2, 1990)

$$CUc = \frac{1 - \sum |h_i - h_m|}{n * h_m} \quad \text{(Ecuación 4).}$$

Dónde:

CUc = Coeficiente de uniformidad de Christiansen.

h_i = lecturas individuales de cada colector.

h_m = Promedio de las lecturas.

n = Número de lecturas.

➤ Uniformidad de Distribución (UD) de Merriam y Keller (1978).

$$UD = I_{25} * I_{\bar{y}}^{-1} \quad \text{(Ecuación 5).}$$

Dónde:

UD = Uniformidad de distribución de Merriam y Keller (1978).

I_{25} = Promedio de las alturas infiltradas en el 25 % del área de menor infiltración.

$I_{\bar{y}}$ = Promedio de las alturas infiltradas en toda el área evaluada.

Los rangos de valores para clasificar los parámetros anteriormente descritos se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Valores aceptados de CUc y UD y su clasificación en función de la calidad de la distribución.

Clasificación	CUc (%)	UD (%)
Excelente	> 90	> 85
Buena	80 – 90	80 – 85
Regular	70 – 80	75 – 80
Pobre	< 70	< 70

Fuente: Merriam y Keller (1978); Keller y Bliesner (1990)

Análisis Estadístico.

El análisis estadístico utilizado, fue del tipo descriptivo, usando parámetros de posición y dispersión.

Para hallar diferencias significativas entre los tratamientos, las mediciones fueron sometidas a un análisis de varianza (ANDEVA) y cuando fue necesario se realizó un test de Tukey, transformando los parámetros porcentuales a grados Bliss.

Las normas internacionales tienen definidos los estándares de medición, los parámetros y rangos de clasificación de las distintas pruebas mencionadas en el presente documento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de la uniformidad de emisión de caudales

Para evaluar el funcionamiento y calidad de fabricación de los emisores y sus respectivos dispositivos antineblina se determinó el coeficiente de variación de fabricación (Cv) para cada uno de los tratamientos, además de la desviación del caudal promedio (Qd) respecto al flujo nominal cuando se contó con la información necesaria para realizar dicho análisis. El Cuadro 4 muestra un resumen de los valores obtenidos para los índices antes descritos.

Cuadro 4. Desviación del caudal promedio (Qd) respecto a un flujo nominal (Qn) y coeficiente de variación de fabricación (Cv) según ensayo y tratamiento de prueba.

Ensayo	Tratamiento	Qn	Qprom	Qd	Categoría*	Cv	Categoría*	
		l h ⁻¹				%		
1	1	35	35,5	0,014	A	1,1	A	
	2		29,9			1,1		
	3	43	42,6			0,009		1,4
	4		36			0,4		
2	1	43	45,6	0,060	A	2,1	A	
	2		35			0,9		
	3	55	54,6			0,007		0,4
	4		42,2			0,4		
3	1	70	72,4	0,034	A	0,4	A	
	2		59			1,1		
	3	86	85,9			0,001		0,9
	4		69,7			2,1		

*Categorías conforme a la norma ISO 9260 y ASAE EP405.1.FEB03.

Al analizar la desviación del caudal promedio, todos los ensayos y tratamientos de prueba caen dentro de la categoría de emisores Tipo A, según los parámetros dictados por la norma ISO 9260: 1991.

Al evaluar el Cv de fabricación obtenido para cada una de las pruebas realizadas bajo la norma ISO 9260: 1991, todas se clasifican como Tipo A, como consecuencia todos los ensayos quedan dentro del rango de emisores de RLAF por presentar Cv de fabricación inferior a un 10%.

Para la norma ASAE, la cual clasifica a los emisores según el Cv de fabricación (Cuadro 2) se obtiene que todos los ensayos son excelentes emisores, por lo tanto ambas normas coinciden en que todos los ensayos y condiciones de prueba² tienen un excelente comportamiento.

² Condiciones de prueba: Tratamiento 1 (2 bar, sin antineblina), Tratamiento 2 (2 bar, con antineblina), Tratamiento 3 (3 bar, sin antineblina), Tratamiento 4 (3 bar, con antineblina)

El Cuadro 5 presenta un resumen del análisis de Tukey realizado para los tres ensayos realizados y sus respectivos tratamientos de prueba. De este análisis se desprende que para los ensayos 2 y 3 existen diferencias significativas entre el caudal nominal y el caudal real (tratamiento 1), además se establece que no existen diferencias significativas entre el caudal nominal y el tratamiento 4. Comportamiento similar tiene el ensayo 1, ya que para este se evidencia una similitud entre el tratamiento 1 con el tratamiento 4 y con la condición nominal. El detalle de cada uno de estos análisis esta disponible en los apéndices I, II y III.

Por lo tanto el dispositivo antineblina tiende a disminuir el caudal asemejándolo al caudal nominal o real.

Cuadro 5. Resumen de análisis de Tukey para cada ensayo.

Ensayo	Tratamiento	Q prom $l\ h^{-1}$
1	Nominal	35 c
	1	35,5 b-c
	2	29,9 d
	3	42,6 a
	4	36 b
2	Nominal	43 c
	1	45,6 b
	2	35 d
	3	54,6 a
	4	42,2 c
3	Nominal	70 c
	1	72,4 b
	2	59 d
	3	85,9 a
	4	69,7 c

Según el Cuadro 4, se evidencia cierta semejanza entre los tratamientos 3 y 4 de los ensayos 1 y 2 respectivamente. Según el análisis de Tukey realizado entre estos tratamientos (Apendice IV) se establece que no existen diferencias significativas entre los caudales emitidos por ambas boquillas, por lo cual es factible permitir una mezcla de boquillas, considerando las virtudes y defectos de esta situación, dados ciertos requerimientos de diseño.

Análisis de los parámetros de aplicación de agua

A continuación se compara la descarga de agua con la utilización de microaspersores, en función de los parámetros de uniformidad de aplicación de ésta (Coeficiente de uniformidad, Uniformidad de Distribución, Patrón de Mojamiento y Distribución Característica).

Las características de distribución y uniformidad del agua, además del comportamiento de los microemisores, se analizaron a partir de dos situaciones bien definidas de traslape: Aplicación de agua por los cuatro costados y aplicación de agua sobre la banda, ambos casos con un porcentaje de traslape de 100%.

Coficiente de uniformidad de Christiansen

En general, la uniformidad de las precipitaciones entregadas por el microaspersor tiende a comportarse mejor al simular un traslape por los cuatro costados respecto a un traslape sobre la banda o un microaspersor sin traslape. Además se observa que el microaspersor con dispositivo antineblina a presión de 2 bar, junto con el microaspersor con dispositivo antineblina a 3 bar, presentan CUc superiores respecto al microaspersor sin dispositivo antineblina a 3 bar.

A continuación se presenta un análisis acabado según ensayo.

Ensayo 1. Se observan mejores índices de uniformidad en el traslape por los cuatro costados, respecto a las otras situaciones analizadas (Figura 5), dentro de este tipo de traslape se observa un mejor comportamiento para la situación nominal (tratamiento 1), vale decir una prueba a 2 bar sin dispositivo antineblina, siendo los tratamientos 2 y 4 levemente inferiores. Como era de esperar el tratamiento 3 fue el de peor comportamiento conforme lo descrito por Armoni (1989). Comportamiento similar, pero con índices de uniformidad menores se observan para los tratamientos analizados bajo un traslape en banda.

Para los tratamientos analizados sin traslape, los índices obtenidos son mucho menores, además para el tratamiento 4 no se logra obtener índices similares a una situación nominal de prueba.

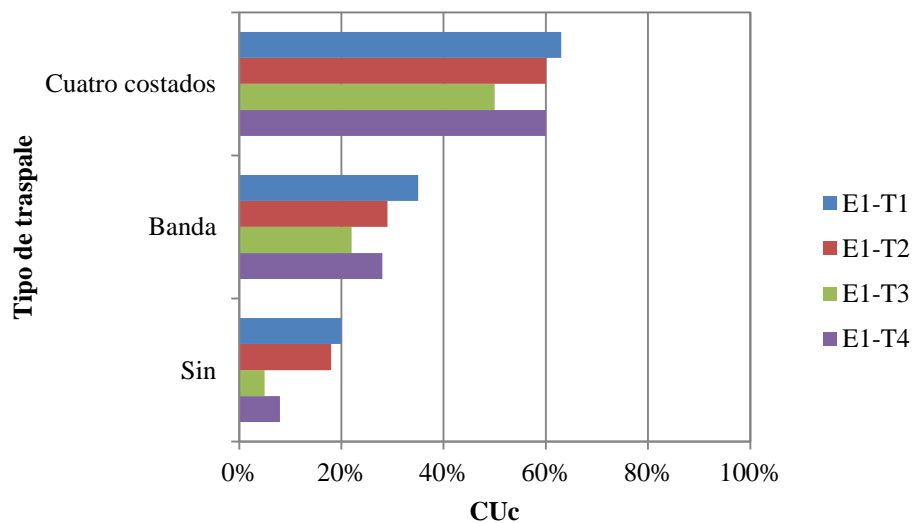


Figura 5. Coeficiente de uniformidad promedio para el Ensayo 1, según tipo de traslape.

Es evidente que las uniformidades más altas se obtuvieron de los microaspersores sin dispositivo antineblina a 2 bar, lo cual corresponde al CUC nominal (por operar a la presión recomendada por el fabricante) y dado que el índice de uniformidad obtenido en la prueba con el microaspersor usando el dispositivo antineblina a 3 bar se asemeja al CUC nominal existe una disminución de la nebulización en menor grado al esperado, ya que si el efecto fuese 100%, se hubiese obtenido un CUC idéntico o muy similar al CUC nominal.

No obstante todos los coeficientes de uniformidad obtenidos son pobres según la clasificación de valores aceptados para este propuesto por Merriam y Keller (1978) presentado en el Cuadro 3.

Ensayo 2. Se observan mejores coeficientes de uniformidad en los tratamientos analizados bajo un traslape por los cuatro costados, obteniéndose coeficientes idénticos para el tratamiento 1 (nominal) y el tratamiento 4, similar es el comportamiento para el tratamiento 2 respecto a las situaciones antes nombradas y nuevamente el tratamiento 3 obtiene el peor índice de uniformidad (Figura 6). Para los tratamientos analizados bajo un traslape en banda se obtienen menores índices y un comportamiento distinto para estos, ya si bien entre los tratamientos 1 y 4 se obtienen coeficientes idénticos, el tratamiento 2 presenta un índice superior, situación que se replica en los tratamientos analizados sin traslape. Dicho comportamiento se explicaría a través del perfil de mojamiento que presenta el tratamiento 2 (Figura 10), el que muestra una amplia zona de estabilización de las precipitaciones, incidiendo directamente en la uniformidad de este, cuyo efecto incidiría en menor grado, conforme aumenta la condición de traslape.

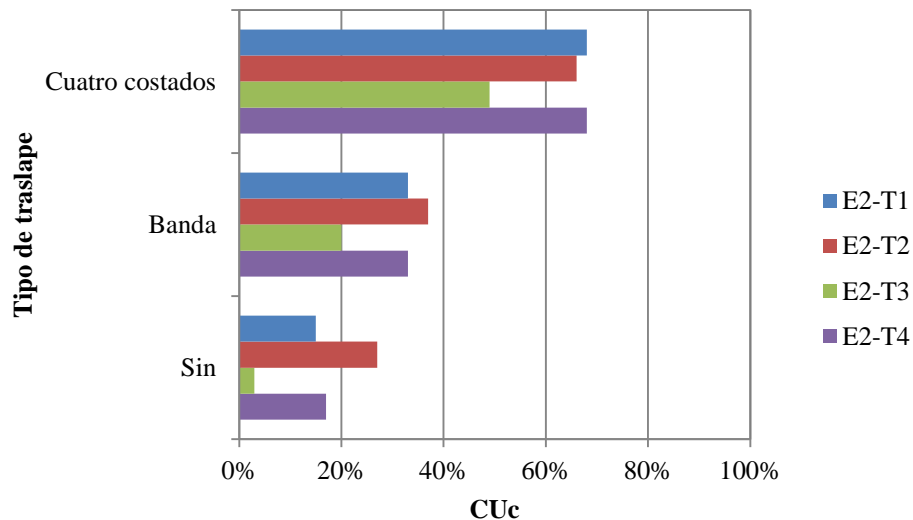


Figura 6. Coeficiente de uniformidad promedio para el Ensayo 2, según tipo de traslape.

Para este ensayo existiría una óptima disminución de la nebulización, ya que para todas las situaciones de traslape se obtienen coeficientes de uniformidad idénticos o muy similares

entre los tratamientos 1 y 4. Sin embargo todos los coeficientes de uniformidad obtenidos son pobres según la clasificación de valores aceptados para este propuesto por Merriam y Keller (1978) presentado en el Cuadro 3.

Ensayo 3. Los mejores resultados se observan en los tratamientos analizados bajo un traslape por los cuatro costados, obteniéndose índices similares entre los tratamientos 1, 2 y 4 (Figura 7). Para la situación de traslape en banda se obtienen menores coeficientes de uniformidad y el tratamiento 2 se presenta con el mejor índice dentro de este grupo, siendo este similar al resultado de la prueba hecha bajo condiciones nominales (tratamiento 1). Los resultados obtenidos para una condición de ausencia de traslape son muy inferiores, obteniéndose el mejor resultado para una situación nominal de prueba, cuyo índice es muy superior a los tratamientos que utilizaron el dispositivo antineblina. Según esto se infiere que no existe un correcto funcionamiento de esta pieza considerando los resultados obtenidos para el traslape en banda y ausencia de traslape, sin embargo, si se analizan los coeficientes obtenidos para el traslape por los cuatro costados, se evidencia una similitud entre los resultados del tratamiento 1 y 4, lo cual indica cierta corrección del mal funcionamiento del dispositivo antineblina según aumenta la condición de traslape.

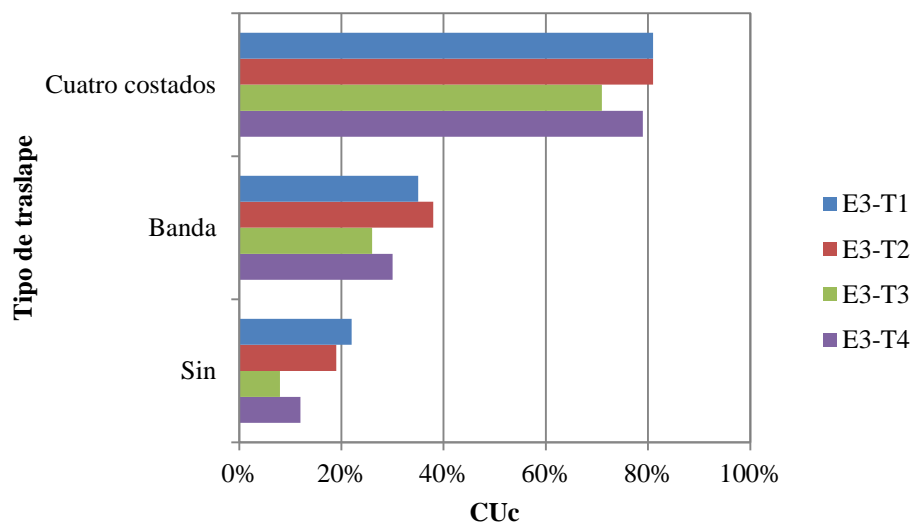


Figura 7. Coeficiente de uniformidad promedio para el ensayo 3, según tipo de traslape.

Se establece que los coeficientes de uniformidad obtenidos son regulares para la situación bajo un traslape por los cuatro costados y pobres para las situaciones restantes, según la clasificación de valores aceptados para este propuesto por Merriam y Keller (1978) presentado en el Cuadro 3.

Por lo tanto para todos los ensayos y tratamientos evaluados, los CUc obtenidos son muy bajos para las situaciones de traslape en banda y ausencia de traslape y aceptables para un traslape por los cuatro costados, no obstante, la tendencia de diseño en riego por

microaspersión busca preferentemente condiciones de traslape para favorecer la uniformidad, y, si bien, se deben procurar coeficientes de uniformidad sobre el 90% (Pizarro, 1990), debe considerarse que para este método de riego, gran parte de la uniformización del patrón de mojado ocurre por el movimiento del agua bajo la superficie del suelo (Armoni, 1989).

Uniformidad de Distribución de Merriam y Keller (1978)

Los resultados obtenidos para la uniformidad de distribución en líneas generales siguen el mismo patrón registrado para el CUc, los cuales se detallan según tipo de traslape a continuación.

Traslape por los cuatro costados. En todos los ensayos los mejores resultados se presentan para los casos del microaspersor sin dispositivo antineblina a 2 bar y con dispositivo antineblina a 3 bar (Figura 8), obteniéndose índices similares entre ambos, por lo que existiría un correcto funcionamiento de esta pieza.

Nuevamente se observa que el tratamiento 3 evidencia los valores de UD más bajos, lo cual estaría de acuerdo con lo descrito por Armoni (1989).

Traslape en banda. Se registra que los tratamientos 1 y 2 presentan los valores más altos de UD (Figura 8). Cabe mencionar que para el ensayo 2, el tratamiento 2 muestra el mejor comportamiento posiblemente gracias a la zona de estabilización de precipitaciones descrita anteriormente.

Sin traslape. Como era de esperar es el que obtiene los resultados más bajos para este índice. Se observa que el comportamiento es similar, en comparación con el traslape en banda, pero con ligeras variaciones, es decir el tratamiento 1 (nominal) muestra los mejores resultados y no se muestra un claro efecto del dispositivo antineblina en los valores obtenidos a través de un aumento de estos para el tratamiento 2 y 4 (Figura 8).

Se establece que los índices de uniformidad de distribución obtenidos son pobres para las situaciones de traslape en banda y ausencia de traslape. Respecto al traslape por los cuatro costados se establece que los índices registrados son pobres para los ensayos 1 y 2, en cambio, para el ensayo 3 se obtienen índices denominados como buenos según la clasificación de valores aceptados para este propuesto por Merriam y Keller (1978) presentado en el Cuadro 3.

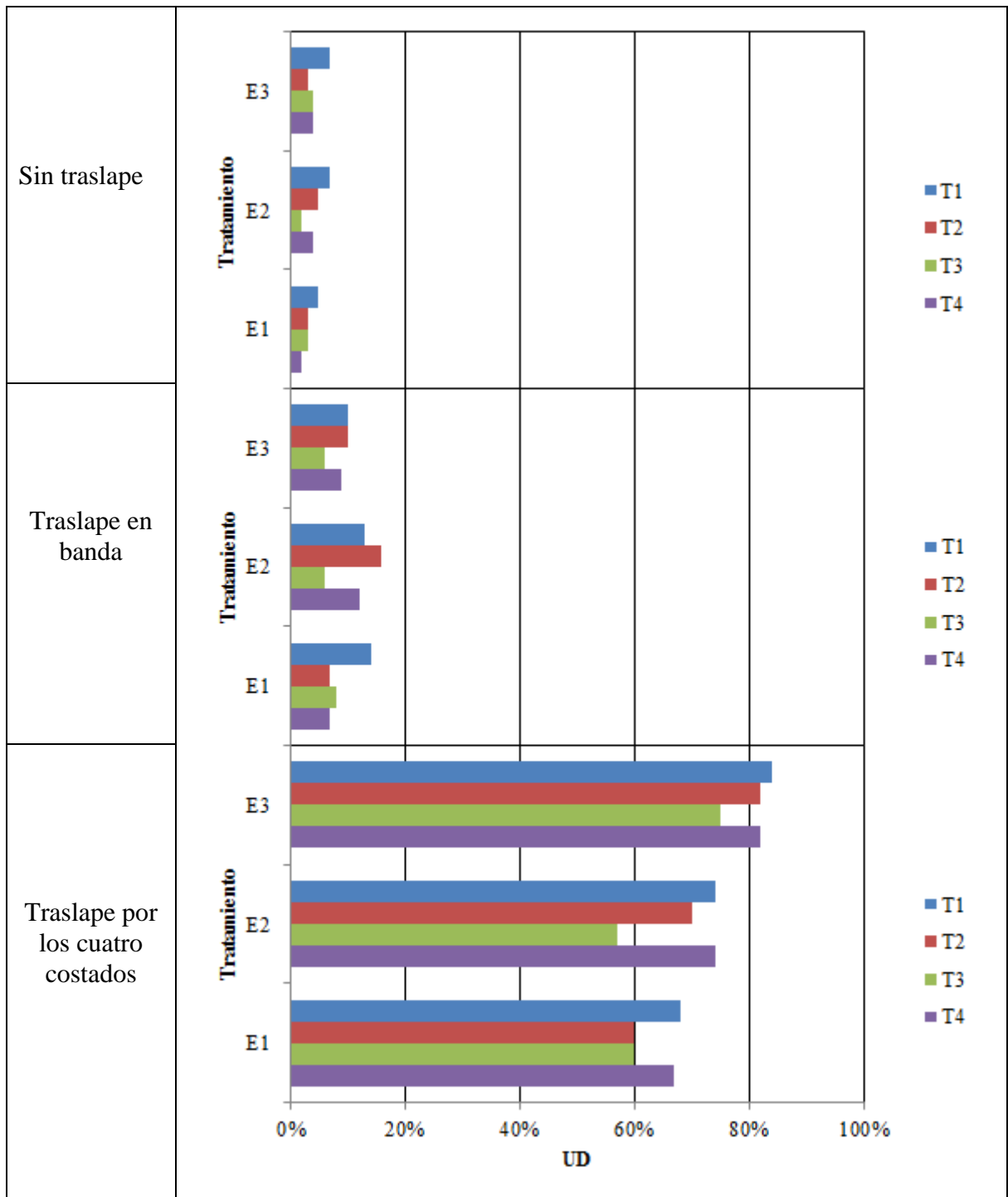


Figura 8. Uniformidad de distribución promedio para el ensayo 1, 2 y 3, según tipo de traslape.

Diámetro de mojamiento.

Al analizar las diferentes condiciones de prueba por ensayo, se obtuvieron los siguientes resultados.

En general se registra un aumento del diámetro de mojamiento para los tratamientos en que la prueba se realizó a una presión máxima, respecto a una condición normal de prueba (Cuadro 6), lo cual coincide con lo descrito por Meza (1993), salvo para el ensayo 3, donde se registró una reducción del diámetro de mojamiento. Dicha situación podría explicarse a través de un aumento en la nebulización producida por el emisor, no obstante tal reducción podría considerarse como marginal.

Al analizar el comportamiento del tratamiento 2 en los ensayos realizados, se evidencia una reducción del diámetro de mojamiento (Cuadro 6), lo cual se explicaría a través del efecto que ejerce el dispositivo antineblina, creando una cámara antes de la boquilla, disminuyendo la velocidad y uniformizando el flujo de agua, incidiendo directamente en la distancia alcanzada por las gotas de agua en el área de prueba. Esta situación no se replicó en el ensayo 2, ya que no se registró diferencia entre el tratamiento 2 y una situación normal de prueba (tratamiento 1).

Cuadro 6. Diámetro de mojamiento obtenidos para los ensayos realizados.

Ensayo	Tratamiento	Diámetro de mojamiento
		metros
1	1	6
	2	5,5
	3	6,5
	4	6,5
2	1	6
	2	6
	3	6,5
	4	6,5
3	1	7,5
	2	6,9
	3	7,3
	4	7,3

Distribución de las precipitaciones.

Según Machuca (1995), La distribución del agua alrededor del microemisor da una idea de la uniformidad del mojamiento y puede ser utilizada junto a los demás parámetros para el análisis de la uniformidad del riego. Las figuras 10 a la 12 son diagramas bidimensionales que representan la precipitación de las 4 condiciones de prueba dentro del área de cobertura para los tres ensayos.

Al analizar las gráficas obtenidas, se evidencia una distribución similar (normal) para todos los ensayos evaluados, que corresponde a una concentración de las precipitaciones en el centro la zona de prueba, entorno al microemisor, la cual cae constantemente a medida que nos alejamos de este hasta llegar a cero.

Patrón de mojamiento.

Ensayo 1. Al comparar el patrón de mojamiento del microaspersor a presión nominal versus los patrones de mojamiento para microaspersores sin antineblina a 3 bar y microaspersores con antineblina a 3 bar se obtuvieron los siguientes resultados:

Se observa que el microaspersor con dispositivo antineblina a 3 bar arroja una menor concentración de las precipitaciones, en comparación al emisor sin antineblina a 3 bar (Figura 9). Al establecer la comparación respecto al registro obtenido para la prueba del microaspersor a presión nominal sin antineblina, se puede apreciar una leve diferencia, correspondiente a una mayor precipitación acumulada en la zona inmediatamente aledaña al emisor, la cual no se traduce en una mayor acumulación de precipitaciones en toda el área evaluada, al menos no de manera significativa.

Al observar los datos obtenidos para la prueba realizada con el microaspersor con antineblina a presión nominal (Figura 9) se evidencia una menor concentración de precipitaciones en toda la grilla de prueba, sumado a la reducción del diámetro de mojamiento, respecto a la situación registrada en el tratamiento 1, además es posible visualizar una zona de estabilización de las precipitaciones, la cual comprende aproximadamente desde los 0,75 m. hasta los 1,75 m. alrededor del emisor evaluado. No obstante esta situación no se traduce mayores índices de uniformidad.

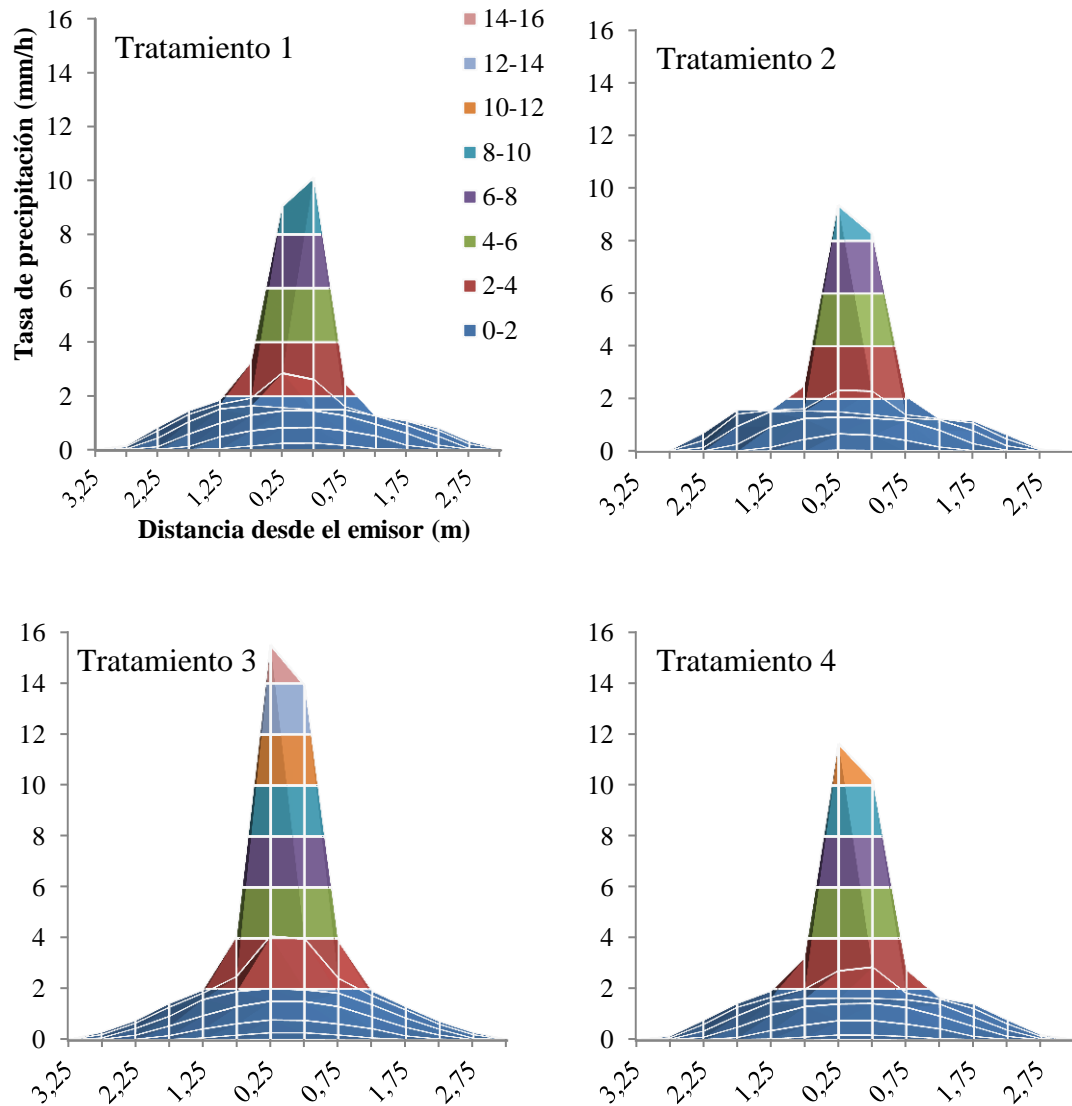


Figura 9. Diagrama bidimensional que representa la pluviometría del ensayo 1 (35 l h^{-1}) y sus tratamientos de prueba.

Ensayo 2. Al comparar el patrón de mojado del microaspersor a presión nominal versus los patrones de mojado para microaspersores sin antineblina a 3 bar y microaspersores con antineblina a 3 bar se obtuvieron los siguientes resultados:

Según los tratamientos analizados, el ensayo arroja una mayor precipitación en el centro del área de prueba a una presión de 3 bar sin presencia del dispositivo antineblina, que con la presencia de éste (Figura 10). Al comparar este último tratamiento respecto a la prueba realizada con el microaspersor sin antineblina a presión nominal, prácticamente no se observan diferencias en los perfiles.

Al evaluar el registro obtenido para la prueba realizada con el microaspersor con antineblina a presión nominal (Figura 10) se evidencia una menor concentración de precipitaciones en toda la grilla de prueba, respecto a la situación registrada en el tratamiento 1, además es posible visualizar una zona de estabilización de las precipitaciones, la cual comprende aproximadamente desde los 1,25 m. hasta los 2,25 m. alrededor del emisor evaluado, situación que se traduce en mayores índices de uniformidad.

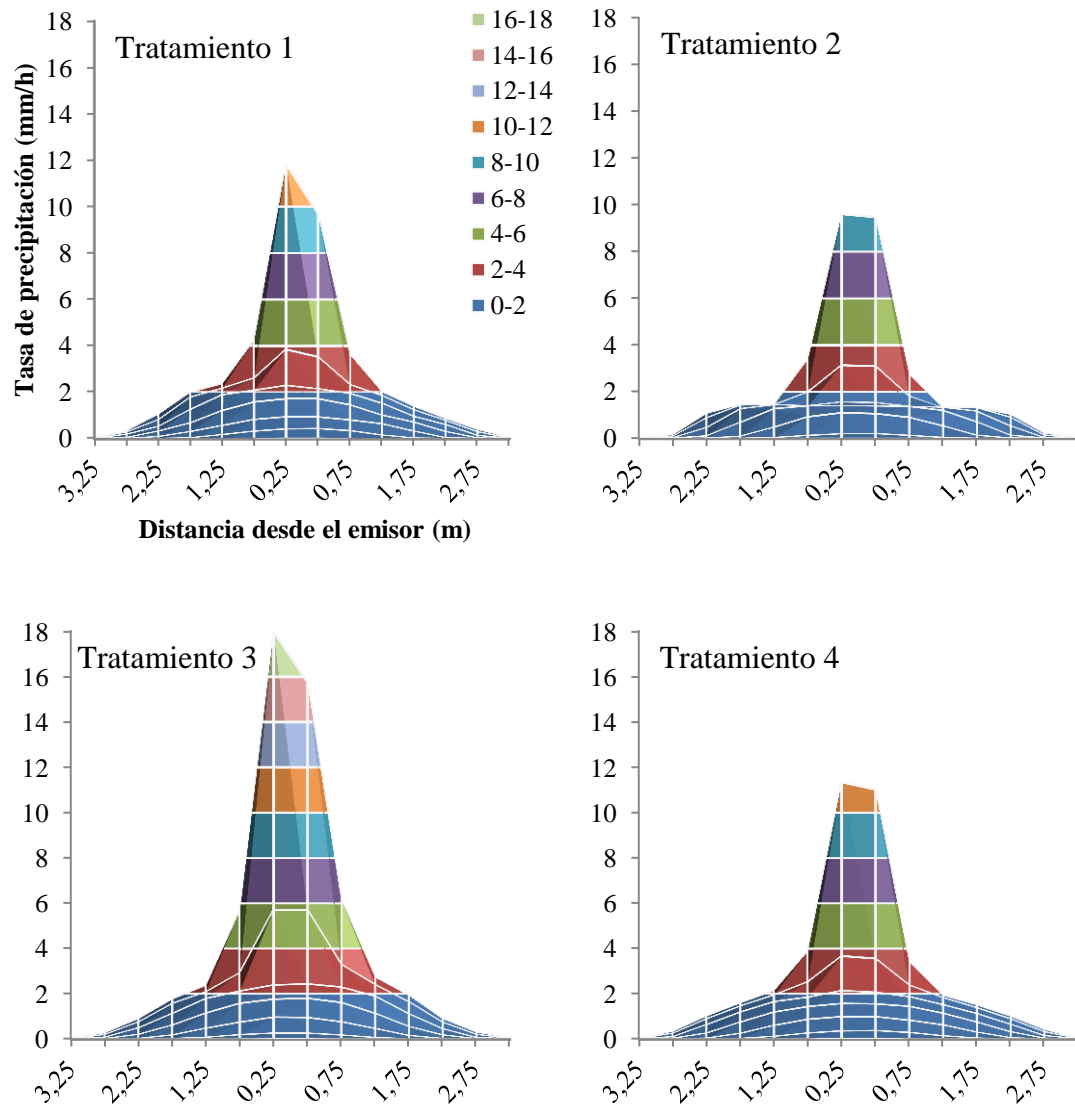


Figura 10. Diagrama bidimensional que representa la pluviometría del ensayo 2 (43 l h^{-1}) y sus tratamientos de prueba.

Ensayo 3. Al comparar el patrón de mojado del microaspersor a presión nominal versus los patrones de mojado para microaspersores sin antineblina a 3 bar y microaspersores con antineblina a 3 bar se observa que este último arroja una menor concentración de las precipitaciones, en comparación al tratamiento 3 (Figura 11). Al

establecer la comparación respecto al registro obtenido para la prueba del microaspersor a presión nominal sin antineblina (tratamiento 1), no se aprecian diferencias en los perfiles.

En la prueba realizada con el microaspersor con antineblina a presión nominal (tratamiento 2), no se establecen diferencias notables en la precipitación acumulada en los colectores inmediatamente aledaños al emisor, respecto al tratamiento 1, sin embargo al alejarnos del centro es posible constatar una menor acumulación de agua, además de una zona de estabilización de las precipitaciones, la cual comprende aproximadamente desde los 1,25 m. hasta los 1,75 m. alrededor del emisor evaluado. No obstante esta situación no se traduce mayores índices de uniformidad.

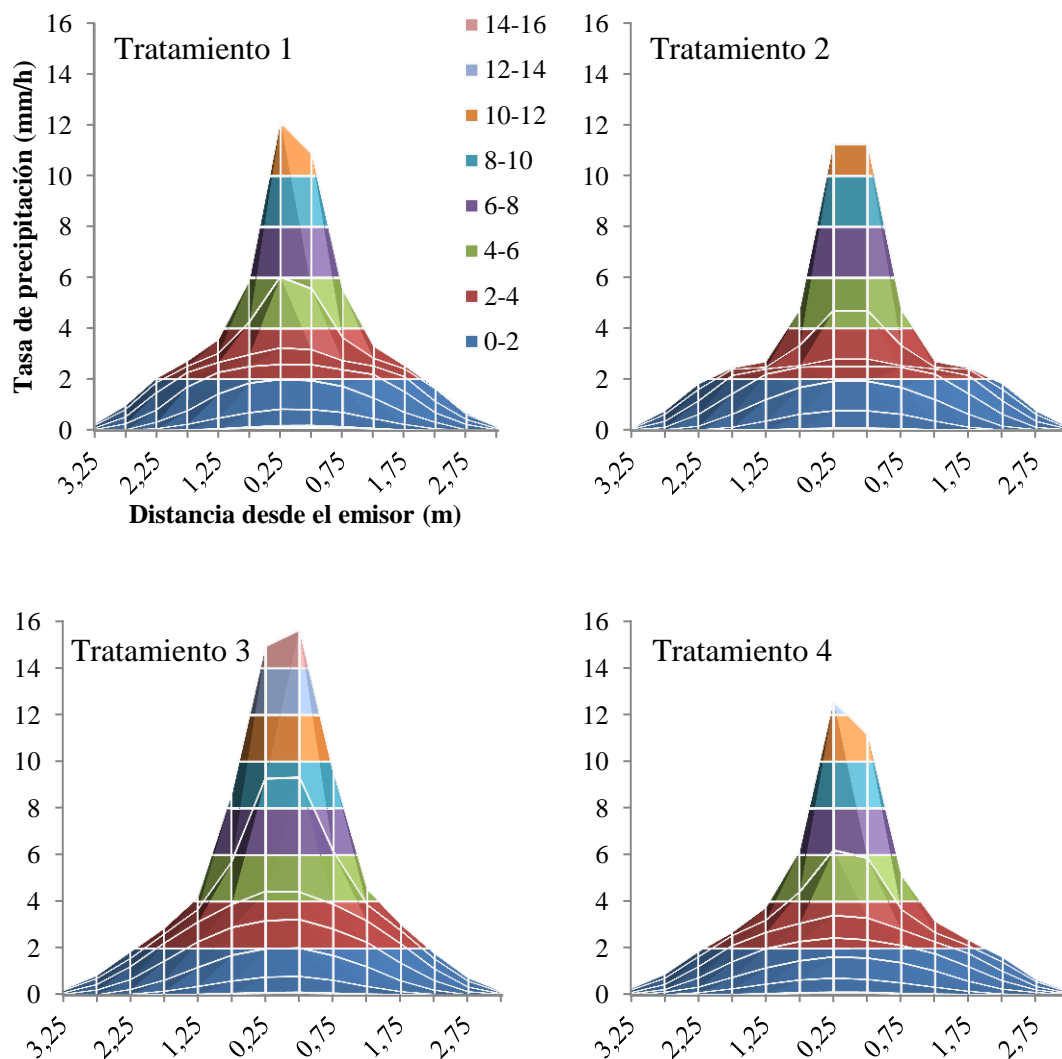


Figura 11. Diagrama bidimensional que representa la pluviometría del ensayo 3 (70 l h^{-1}) y sus tratamientos de prueba.

Conforme a lo descrito por Reinoso (2005), en todos los ensayos se detectaron dos aspectos a considerar. Primero, los diámetros de mojamiento no coinciden con los informados por el fabricante (Cuadro 7). Esta información es de suma importancia, ya que en el proceso de diseño de un sistema de riego se toma en cuenta la información entregada por el fabricante y si esta no coincide se pueden ver afectados los parámetros de eficiencia y uniformidad relacionados a este.

Cuadro 7. Diferencias entre el diámetro de mojamiento del fabricante versus el diámetro real medido a presión nominal (tratamiento 1).

Ensayo	Díámetro esp. fabricante	Díámetro real
	(Metros)	
1	5,5	6
2	5,5	6
3	6,0	7,5

Segundo, se detectó una zona seca dentro de la superficie mojada debido al soporte del rotor del microaspersor, lo cual trae una repercusión directa sobre el patrón de mojamiento y posiblemente los parámetros de uniformidad de aplicación de agua, ya que en general se trata que esta zona apunte hacia el tronco (Figura 12).

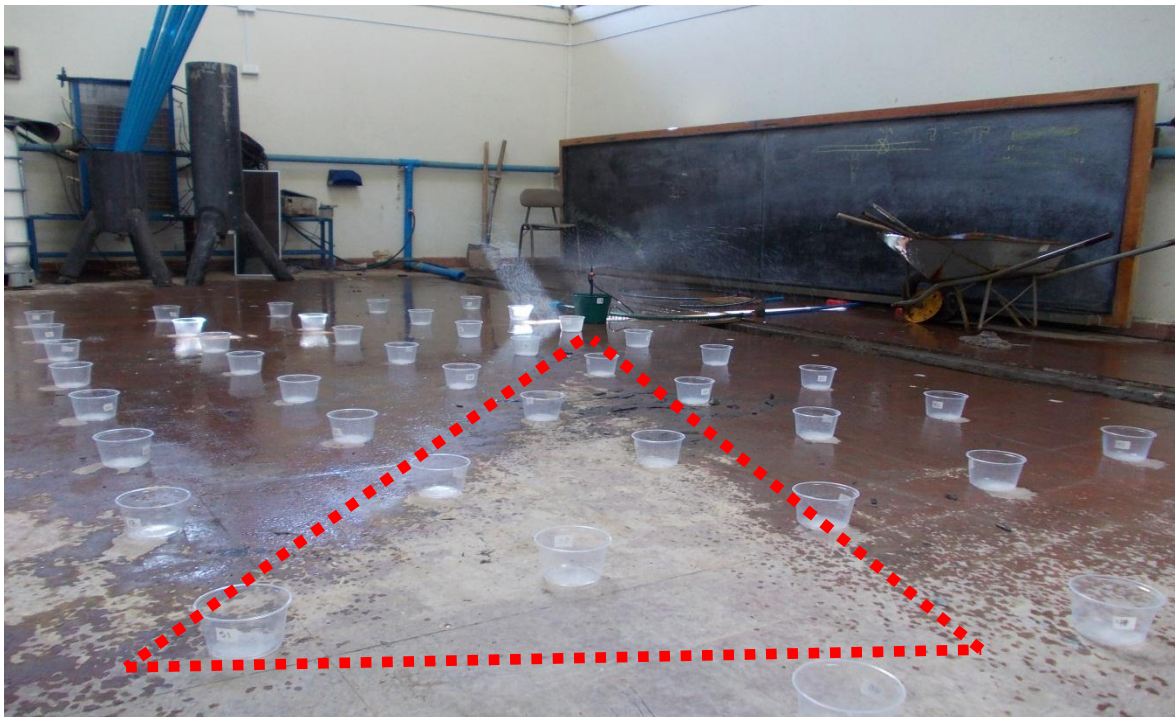


Figura 12. Zona seca dentro del área de mojamiento para el ensayo 3 (70 l h^{-1}) a 3 bar con dispositivo antineblina

Curva de distribución

Con la información recopilada a través de las pruebas realizadas, se confeccionaron las curvas de distribución de agua, en función de la distancia de cada colector al microaspersor de prueba, en dos radios de evaluación formando un ángulo de 180° entre ambos. La curva de distribución promedio, debe cumplir con los requerimientos del fabricante, con una variación máxima de +/- 15%.

La información disponible sobre los emisores evaluados no proporciona dichas curvas, es por esto que se presenta como información adicional, el diagrama bidimensional, referente a la distribución promedio de las precipitaciones de todos los ensayos realizados (Figuras 13, 14 y 15). A simple vista, se repite la clara tendencia de concentración de las precipitaciones en la zona que rodea al microaspersor, las cuales decaen gradualmente conforme nos alejamos de este.

También es posible apreciar el efecto del dispositivo antineblina en todos los ensayos evaluados (tratamiento 4), el cual tiende a disminuir el agua precipitada entorno al emisor, equiparándolo a una situación nominal de prueba (tratamiento 1), a través de la disminución del caudal erogado, lo cual se traduce en una menor nebulización.

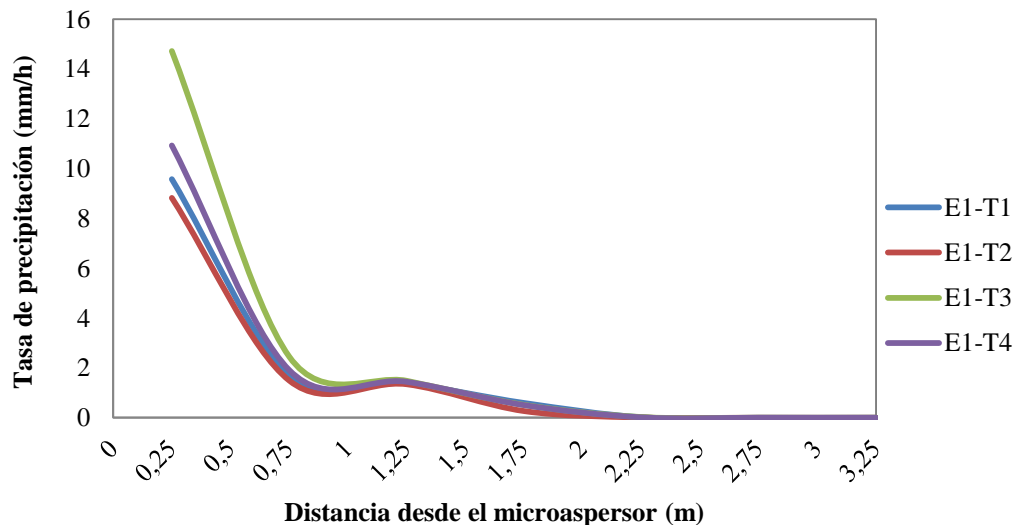


Figura 13. Curvas de distribución promedio para los tratamientos 1 (E1-T1), 2 (E1-T2), 3 (E1-T3) y 4 (E1-T4), correspondientes al ensayo 1 (35 l h^{-1}).

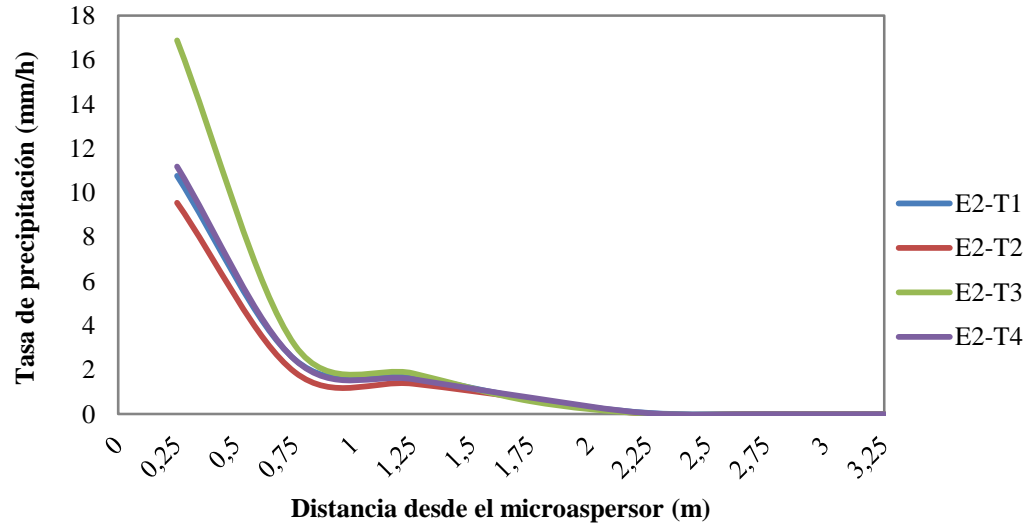


Figura 14. Curvas de distribución promedio para los tratamientos 1 (E2-T1), 2 (E2-T2), 3 (E2-T3), y 4 (E2-T4), correspondientes al ensayo 2 (43 l h^{-1}).

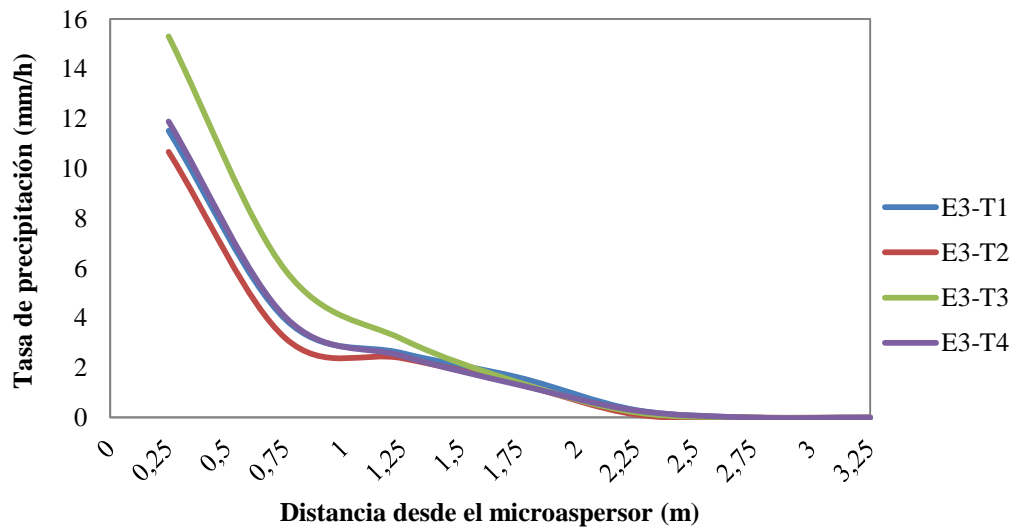


Figura 15. Curvas de distribución promedio para los tratamientos 1 (E3-T1), 2 (E3-T2), 3 (E3-T3) y 4 (E3-T4), correspondientes al ensayo 3 (70 l h^{-1}).

CONCLUSIONES

La calidad de fabricación de los dispositivos antineblina, según las normas ISO 9260:1991 y ASAE EP405.1 FEB03, estos se catalogan con tipo A y excelentes para todas las condiciones de prueba respectivamente.

La información entregada por el fabricante se ajusta bien para el caudal, no así para el diámetro de mojamiento, ya que se registraron diámetros de mojamiento mayores a los informados por este.

El dispositivo antineblina ejerce su efecto a través de la reducción del caudal entregado, ajustándolo a una situación nominal de prueba, dicho efecto no se traduce en una reducción del diámetro de mojamiento siendo este igual al registrado bajo una situación de presión máxima sin esta pieza.

El traslape de mejor uniformidad y distribución es por los cuatro costados, no obstante los índices registrados son insatisfactorios para los ensayos 1 y 2, en cambio, para el ensayo 3 se obtienen buenos resultados según los rangos de clasificación propuestos.

El dispositivo antineblina es efectivo, ya que para los índices evaluados, los resultados obtenidos a una presión máxima de prueba se asimilan bastante a una situación nominal de prueba.

El dispositivo antineblina no altera el patrón de mojamiento del microaspersor, asemejándolo a una situación nominal de prueba.

BIBLIOGRAFÍA

- ARMONI, S. 1989. Riego por microaspersión. Prensa XXI, España. 187 p.
- ASAE 2003. Design and Installation of Microirrigation Systems. American Society of Agricultural Engineers. Miami, Estados Unidos. 4 p. [En línea]. Disponible en: <<http://www.geoflow.com/Flushing/An2%20-%20ASAE%20EP405.1%20Feb%2003.pdf>> [Visitado el 4 de Marzo del 2011]
- BURT, C., CLEMMENS, A., STRELKOFF, T., SOLOMON, K., BLIESNER, R., HARDY, L., HOWELL, T. AND EISENIAUER, D. 1997. Irrigation performance measures: Efficiency and Uniformity. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 123(6): 423-442.
- CIREN – CORFO CHILE, 1996. Manual de obras menores de riego. Centro de Información de Recursos Naturales. Stgo, Chile. 321 p.
- CHRISTIANSEN, J. E. 1942. Irrigation by Sprinkling. California Agricultural Experiment Station, Bulletin 670, University of California, Berkley, USA. 124 p.
- ISO 9260, 1991. Emitters. Specification and Test Methods. Agricultural Irrigation Equipment. International Standards Organization. Génova, Italia. 6 p.
- ISO 7749-2, 1990. Rotating Sprinklers. Uniformity of Distribution and Test Methods. Agricultural Irrigation Equipment. International Standards Organization. Génova, Italia. 6 p.
- ISO 8026, 1995. Sprayers. General Requirements and Test Methods. Agricultural Irrigation Equipment. International Standard Organization. Génova, Italia. 12 p.
- KELLER, J. and BLIESNER, R. 1990. Sprinkle and trickle irrigation. New York: AVI Book. Van Nostrand Reinhold. 652 p.
- MACHUCA, L. 1995. Determinación de los patrones de mojamiento de microaspersores con y sin el uso de pulsadores. Tesis Ing. Agr. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 61 p.
- MALDONADO, I. 2001. Riego y Drenaje Guía del Extensionista. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chillán, Chile. Boletín de Bolsillo N°1, 328 p.
- MERRIAM, J.L. and KELLER, J. 1978. Farm irrigation system evaluation: A guide for management: Utah State University, Logan, Utah. 342 p.

- MEZA, F. 1993. Evaluación de 6 modelos de rociadores de microaspersión ubicados a diferentes distancias y sometidos a distintas presiones de operación. Tesis Ing. Agr. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 72 p.
- PIZARRO, F. 1990. Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): goteo, microaspersión, exudación. 2a ed. Mundiprensa, Madrid, España. 471 p.
- POST, S., PECK, D., BRENDLER, R., SAKOVICH, N. and WADDLE, L. 1986. Evaluation of low-flow sprinklers. California Agriculture 40 (6):27-29. [En línea]. Disponible en: <<http://ucce.ucdavis.edu/files/repositoryfiles/ca4007p27-62958.pdf>>. [Visitado el 3 de Marzo del 2011]
- REINOSO, F. 2005. Evaluación de la descarga y uniformidad de aplicación en riego por microaspersión, con y sin el uso de reguladores de flujo. Tesis Ing. Agr. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 44 p.
- ROJAS, G. 2003. Diseño de una unidad de certificación de equipos de riego. Tesis Ing. Agr. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 217 p.
- USDA. 1983. Soil Conservation Service. National Engineering Handbook: Section 15, Irrigation. Chapter 11. Sprinkle Irrigation. United States Department of Agriculture, Washington D.C. 24 p.
- USDA. 1997. National Resources Conservation Service. Irrigation Guide. Chapter 9. Part 652.0904. Irrigation System Evaluation Procedures. United States Department of Agriculture, Washington D.C. 263-286

APÉNDICES

APÉNDICE I

Análisis de varianza y test de Tukey para el Ensayo 1 (35 l h⁻¹)

Oneway Anova Summary of Fit

Rsquare	0,993798
Adj Rsquare	0,992806
Root Mean Square Error	0,35006
Mean of Response	35,80033
Observations (or Sum Wgts)	30

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Ensayo	4	490,93595	122,734	1001,567	<,0001*
Error	25	3,06355	0,123		
C. Total	29	493,99950			

Means for Oneway Anova

Level	Number	Mean	Std Error	Lower 95%	Upper 95%
T1-C0	6	35,0000	0,14291	34,706	35,294
T1-C1	6	35,4733	0,14291	35,179	35,768
T1-C2	6	29,9367	0,14291	29,642	30,231
T1-C3	6	42,6317	0,14291	42,337	42,926
T1-C4	6	35,9600	0,14291	35,666	36,254

Std Error uses a pooled estimate of error variance

Means Comparisons

Comparisons for all pairs using Tukey-Kramer HSD

	q*	Alpha					
	2,93687	0,05					
Abs(Dif)-LSD			T1-C3	T1-C4	T1-C1	T1-C0	T1-C2
T1-C3			-0,59356	6,078103	6,56477	7,038103	12,10144
T1-C4			6,078103	-0,59356	-0,1069	0,366437	5,42977
T1-C1			6,56477	-0,1069	-0,59356	-0,12023	4,943103

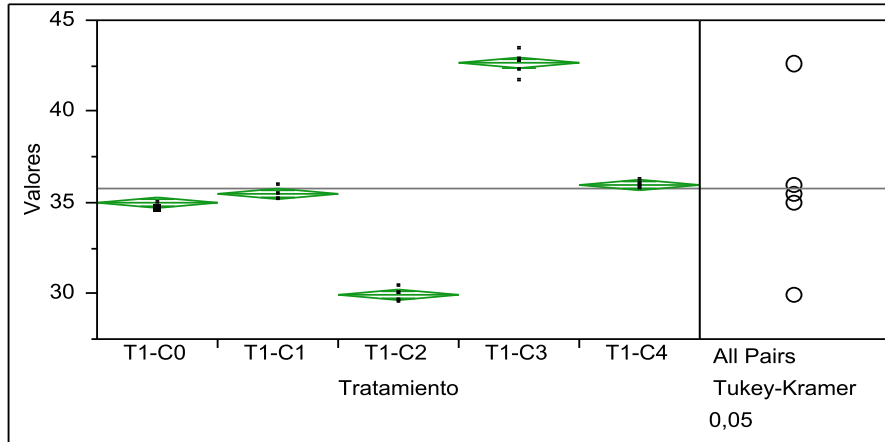
Abs(Dif)-LSD	T1-C3	T1-C4	T1-C1	T1-C0	T1-C2
T1-C0	7,038103	0,366437	-0,12023	-0,59356	4,46977
T1-C2	12,10144	5,42977	4,943103	4,46977	-0,59356

Positive values show pairs of means that are significantly different.

Level	Mean
T1-C3 A	42,631667
T1-C4 B	35,960000
T1-C1 B C	35,473333
T1-C0 C	35,000000
T1-C2 D	29,936667

Levels not connected by same letter are significantly different.

Level	- Level	Difference	Std Err Dif	Lower CL	Upper CL	p-Value	Difference
T1-C3	T1-C2	12,69500	0,2021072	12,1014	13,28856	<,0001*	
T1-C3	T1-C0	7,63167	0,2021072	7,0381	8,22523	<,0001*	
T1-C3	T1-C1	7,15833	0,2021072	6,5648	7,75190	<,0001*	
T1-C3	T1-C4	6,67167	0,2021072	6,0781	7,26523	<,0001*	
T1-C4	T1-C2	6,02333	0,2021072	5,4298	6,61690	<,0001*	
T1-C1	T1-C2	5,53667	0,2021072	4,9431	6,13023	<,0001*	
T1-C0	T1-C2	5,06333	0,2021072	4,4698	5,65690	<,0001*	
T1-C4	T1-C0	0,96000	0,2021072	0,3664	1,55356	0,0006*	
T1-C4	T1-C1	0,48667	0,2021072	-0,1069	1,08023	0,1462	
T1-C1	T1-C0	0,47333	0,2021072	-0,1202	1,06690	0,1651	



APÉNDICE II

Análisis de varianza y test de Tukey para el Ensayo 2 (43 l h⁻¹)

Oneway Anova Summary of Fit

Rsquare	0,9953
Adj Rsquare	0,994548
Root Mean Square Error	0,476433
Mean of Response	44,10268
Observations (or Sum Wgts)	30

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Ensayo	4	1201,7773	300,444	1323,614	<,0001*
Error	25	5,6747	0,227		
C. Total	29	1207,4520			

Means for Oneway Anova

Level	Number	Mean	Std Error	Lower 95%	Upper 95%
T2-C0	6	43,0000	0,19450	42,599	43,401
T2-C1	6	45,5984	0,19450	45,198	45,999
T2-C2	6	35,0380	0,19450	34,637	35,439
T2-C3	6	54,6464	0,19450	54,246	55,047
T2-C4	6	42,2306	0,19450	41,830	42,631

Std Error uses a pooled estimate of error variance

Means Comparisons

Comparisons for all pairs using Tukey-Kramer HSD

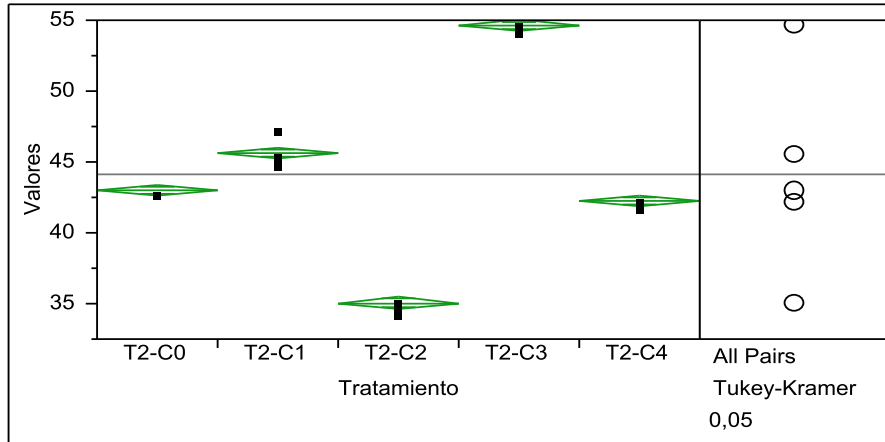
	q*	Alpha				
	2,93687	0,05				
Abs(Dif)-LSD	T2-C3	T2-C1	T2-C0	T2-C4	T2-C2	
T2-C3	-0,80784	8,240159	10,83856	11,60796	18,80056	
T2-C1	8,240159	-0,80784	1,790559	2,559959	9,752559	
T2-C0	10,83856	1,790559	-0,80784	-0,03844	7,154159	
T2-C4	11,60796	2,559959	-0,03844	-0,80784	6,384759	
T2-C2	18,80056	9,752559	7,154159	6,384759	-0,80784	

Positive values show pairs of means that are significantly different.

Level	Mean
T2-C3 A	54,646400
T2-C1 B	45,598400
T2-C0 C	43,000000
T2-C4 C	42,230600
T2-C2 D	35,038000

Levels not connected by same letter are significantly different.

Level	- Level	Difference	Std Err Dif	Lower CL	Upper CL	p-Value	Difference
T2-C3	T2-C2	19,60840	0,2750684	18,8006	20,41624	<,0001*	
T2-C3	T2-C4	12,41580	0,2750684	11,6080	13,22364	<,0001*	
T2-C3	T2-C0	11,64640	0,2750684	10,8386	12,45424	<,0001*	
T2-C1	T2-C2	10,56040	0,2750684	9,7526	11,36824	<,0001*	
T2-C3	T2-C1	9,04800	0,2750684	8,2402	9,85584	<,0001*	
T2-C0	T2-C2	7,96200	0,2750684	7,1542	8,76984	<,0001*	
T2-C4	T2-C2	7,19260	0,2750684	6,3848	8,00044	<,0001*	
T2-C1	T2-C4	3,36780	0,2750684	2,5600	4,17564	<,0001*	
T2-C1	T2-C0	2,59840	0,2750684	1,7906	3,40624	<,0001*	
T2-C0	T2-C4	0,76940	0,2750684	-0,0384	1,57724	0,0674	



APÉNDICE III

Análisis de varianza y test de Tukey para el Ensayo 3 (70 l h⁻¹)

Oneway Anova Summary of Fit

Rsquare	0,992574
Adj Rsquare	0,991336
Root Mean Square Error	0,831793
Mean of Response	71,43
Observations (or Sum Wgts)	29

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Ensayo	4	2219,4087	554,852	801,9496	<,0001*
Error	24	16,6051	0,692		
C. Total	28	2236,0138			

Means for Oneway Anova

Level	Number	Mean	Std Error	Lower 95%	Upper 95%
T3-C0	5	70,0000	0,37199	69,232	70,768
T3-C1	6	72,3670	0,33958	71,666	73,068
T3-C2	6	58,9547	0,33958	58,254	59,656

Level	Number	Mean	Std Error	Lower 95%	Upper 95%
T3-C3	6	85,8777	0,33958	85,177	86,579
T3-C4	6	69,7123	0,33958	69,011	70,413

Std Error uses a pooled estimate of error variance

Means Comparisons

Comparisons for all pairs using Tukey-Kramer HSD

q* 2,94603
Alpha 0,05

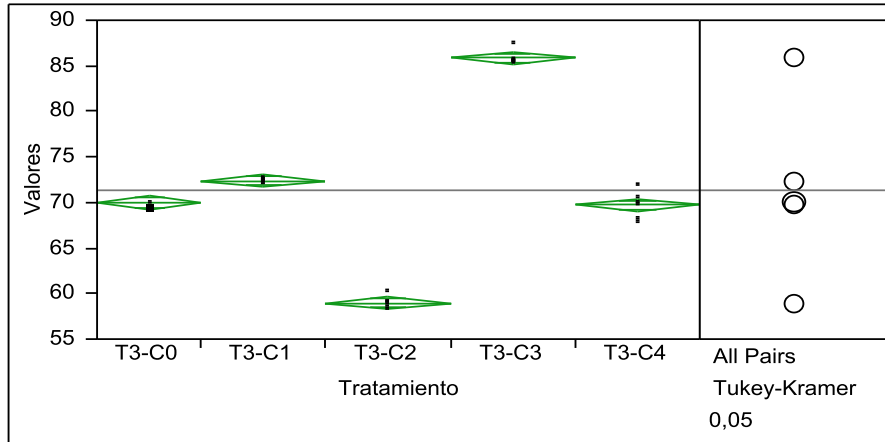
Abs(Dif)-LSD	T3-C3	T3-C1	T3-C0	T3-C4	T3-C2
T3-C3	-1,41479	12,09588	14,39382	14,75054	25,50821
T3-C1	12,09588	-1,41479	0,883157	1,239877	11,99754
T3-C0	14,39382	0,883157	-1,54982	-1,19618	9,56149
T3-C4	14,75054	1,239877	-1,19618	-1,41479	9,342877
T3-C2	25,50821	11,99754	9,56149	9,342877	-1,41479

Positive values show pairs of means that are significantly different.

Level	Mean
T3-C3 A	85,877667
T3-C1 B	72,367000
T3-C0 C	70,000000
T3-C4 C	69,712333
T3-C2 D	58,954667

Levels not connected by same letter are significantly different.

Level	- Level	Difference	Std Err Dif	Lower CL	Upper CL	p-Value	Difference
T3-C3	T3-C2	26,92300	0,4802357	25,5082	28,33779	<,0001*	
T3-C3	T3-C4	16,16533	0,4802357	14,7505	17,58012	<,0001*	
T3-C3	T3-C0	15,87767	0,5036755	14,3938	17,36151	<,0001*	
T3-C3	T3-C1	13,51067	0,4802357	12,0959	14,92546	<,0001*	
T3-C1	T3-C2	13,41233	0,4802357	11,9975	14,82712	<,0001*	
T3-C0	T3-C2	11,04533	0,5036755	9,5615	12,52918	<,0001*	
T3-C4	T3-C2	10,75767	0,4802357	9,3429	12,17246	<,0001*	
T3-C1	T3-C4	2,65467	0,4802357	1,2399	4,06946	<,0001*	
T3-C1	T3-C0	2,36700	0,5036755	0,8832	3,85084	0,0008*	
T3-C0	T3-C4	0,28767	0,5036755	-1,1962	1,77151	0,9781	



APÉNDICE IV

Oneway Analysis of Valores By Ensayo 1 y 2

Oneway Anova Summary of Fit

Rsquare	0,487988
Adj Rsquare	0,41972
Root Mean Square Error	0,35256
Mean of Response	42,62076
Observations (or Sum Wgts)	18

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Tratamiento	2	1,7770006	0,888500	7,1481	0,0066*
Error	15	1,8644833	0,124299		
C. Total	17	3,6414838			

Means for Oneway Anova

Level	Number	Mean	Std Error	Lower 95%	Upper 95%
T1-C3	6	42,6317	0,14393	42,325	42,938
T2-C0	6	43,0000	0,14393	42,693	43,307
T2-C4	6	42,2306	0,14393	41,924	42,537

Std Error uses a pooled estimate of error variance

Means Comparisons




Comparisons for all pairs using Tukey-Kramer HSD

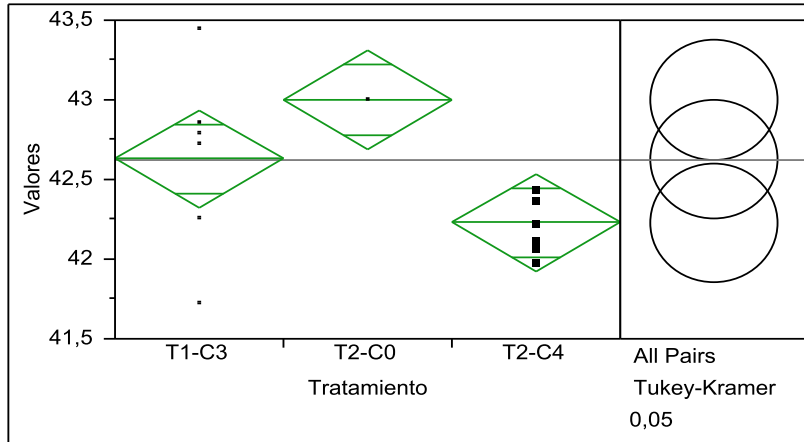
	q*	Alpha			
	2,59747	0,05			
Abs(Dif)-LSD			T2-C0	T1-C3	T2-C4
T2-C0			-0,52872	-0,16038	0,240683
T1-C3			-0,16038	-0,52872	-0,12765
T2-C4			0,240683	-0,12765	-0,52872

Positive values show pairs of means that are significantly different.

Level	Mean
T2-C0 A	43,000000
T1-C3 A B	42,631667
T2-C4 B	42,230600

Levels not connected by same letter are significantly different.

Level	- Level	Difference	Std Err Dif	Lower CL	Upper CL	p-Value	Difference
T2-C0	T2-C4	0,7694000	0,2035509	0,240683	1,298117	0,0049*	
T1-C3	T2-C4	0,4010667	0,2035509	-0,127651	0,929784	0,1539	
T2-C0	T1-C3	0,3683333	0,2035509	-0,160384	0,897051	0,2001	



APÉNDICE V

Figura 1: Isolneas de distribución de agua en el área de influencia del microaspersor del ensayo 1 (35 l h^{-1}), tratamiento 1. La escala corresponde a $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ de agua recolectada en la grilla de muestreo.

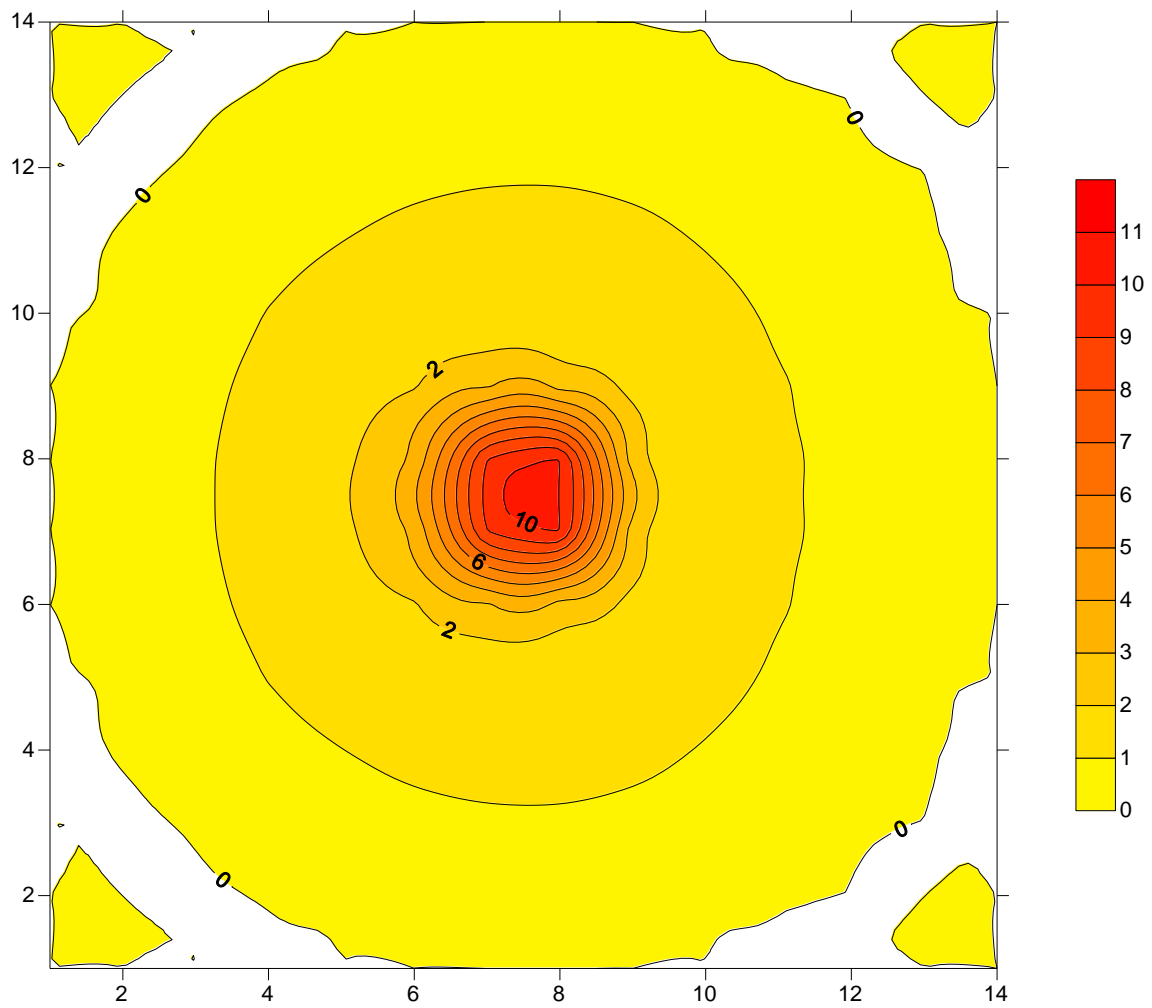


Figura 2: Isolneas de distribución de agua en el área de influencia del microaspersor del ensayo 1 (35 l h⁻¹), tratamiento 2. La escala corresponde a mm·h⁻¹ de agua recolectada en la grilla de muestreo.

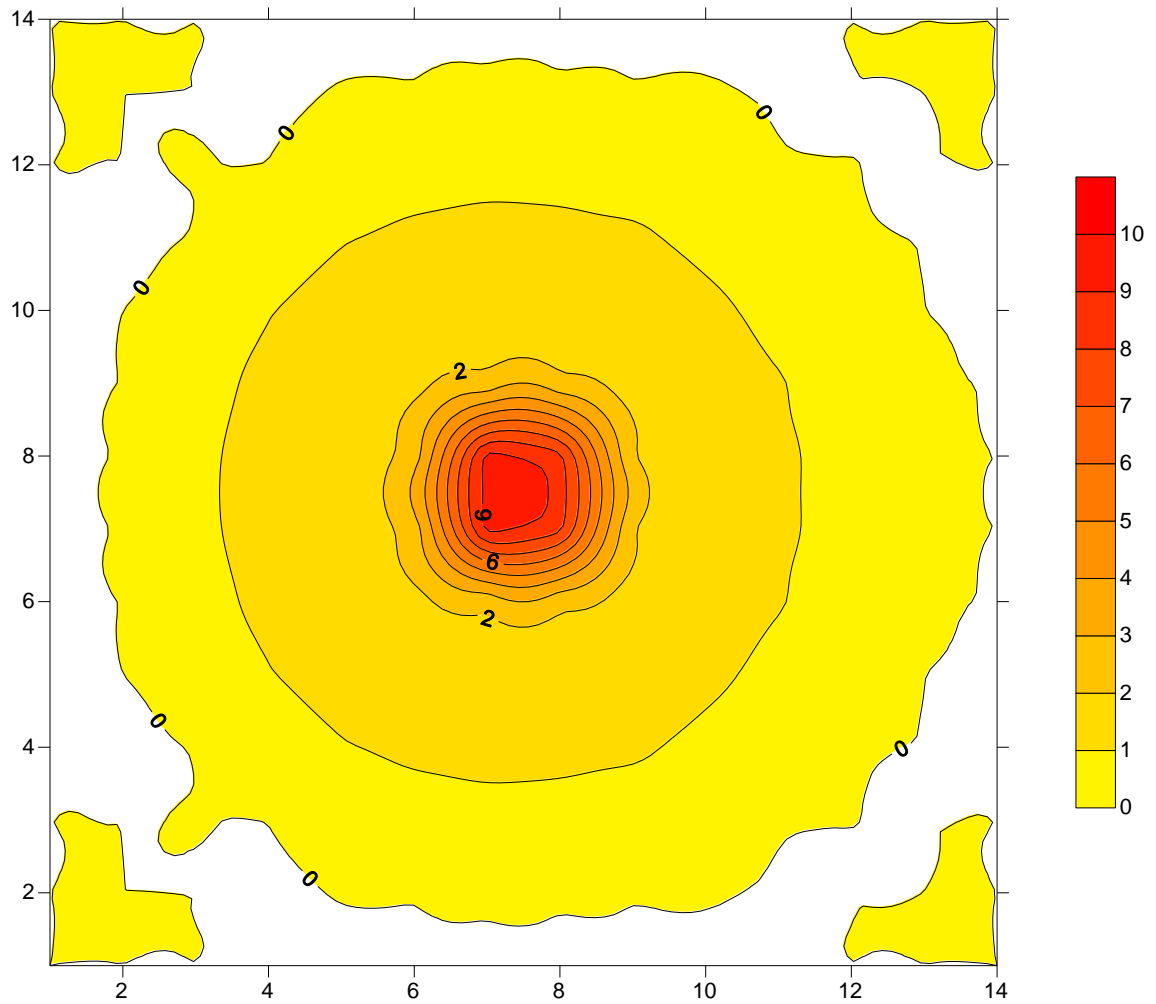


Figura 3: Isolneas de distribución de agua en el área de influencia del microaspersor del ensayo 1 (35 l h^{-1}), tratamiento 3. La escala corresponde a $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ de agua recolectada en la grilla de muestreo.

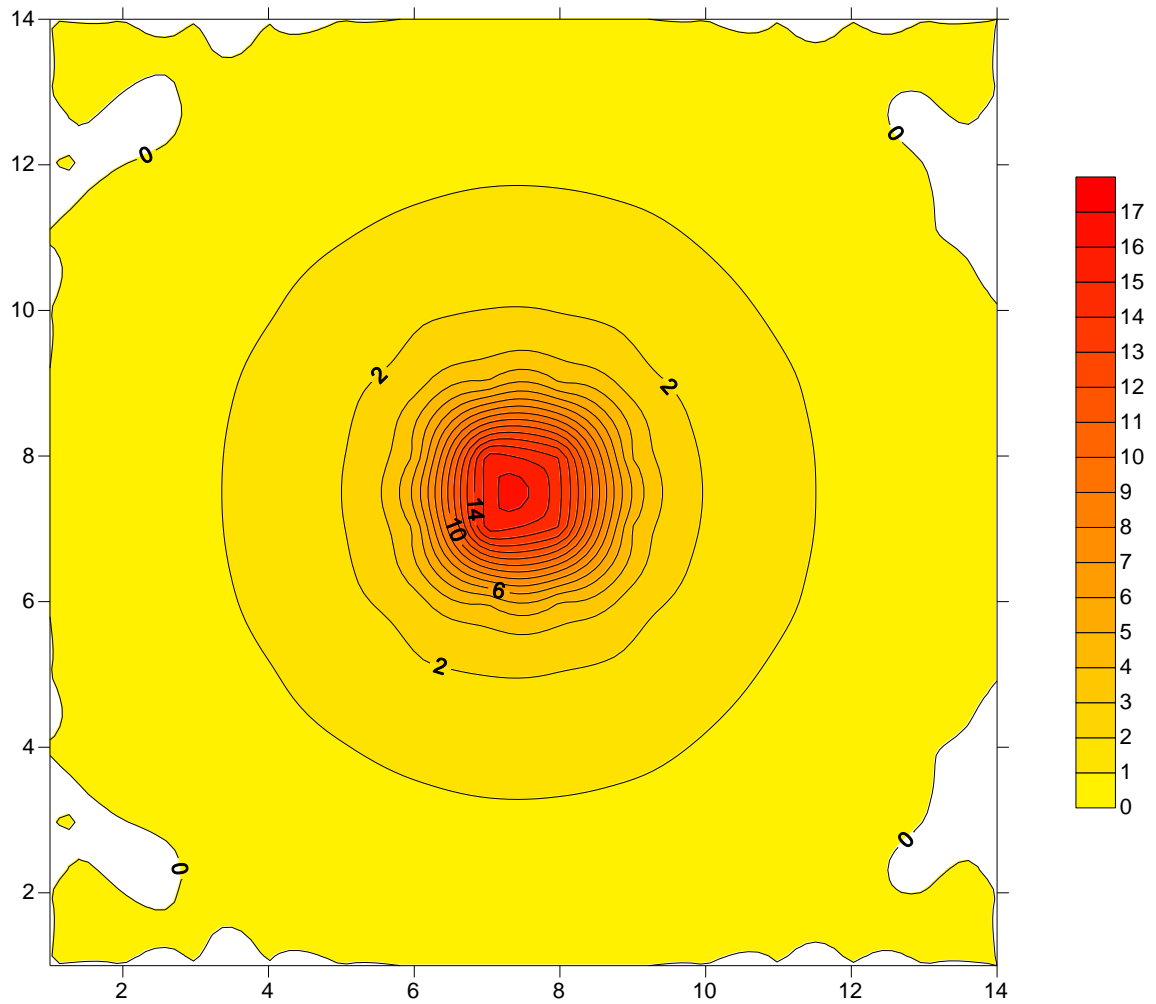


Figura 4: Isolneas de distribución de agua en el área de influencia del microaspersor del ensayo 1 (35 l h^{-1}), tratamiento 4. La escala corresponde a $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ de agua recolectada en la grilla de muestreo.

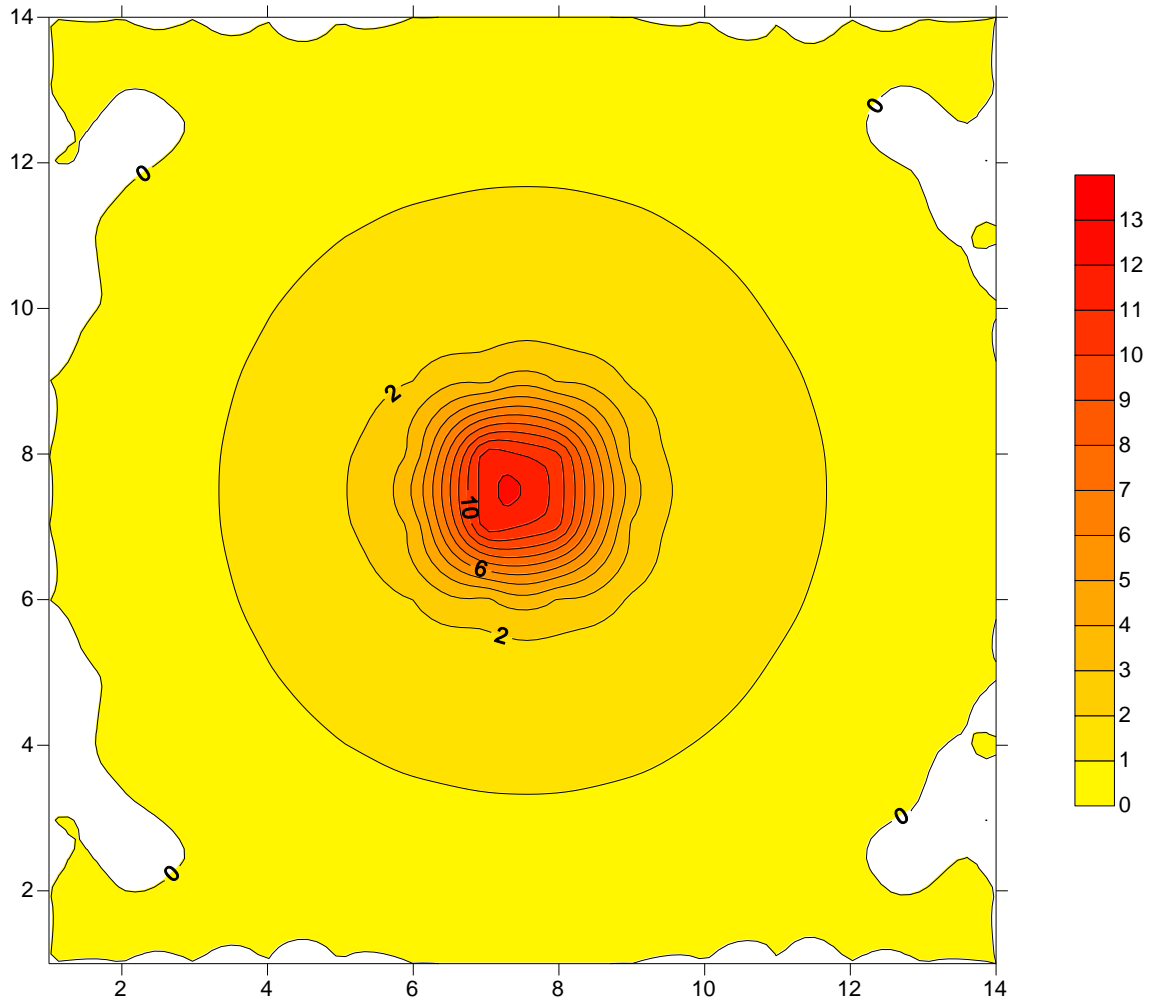


Figura 5: Isolneas de distribución de agua en el área de influencia del microaspersor del ensayo 2 (43 l h^{-1}), tratamiento 1. La escala corresponde a $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ de agua recolectada en la grilla de muestreo.

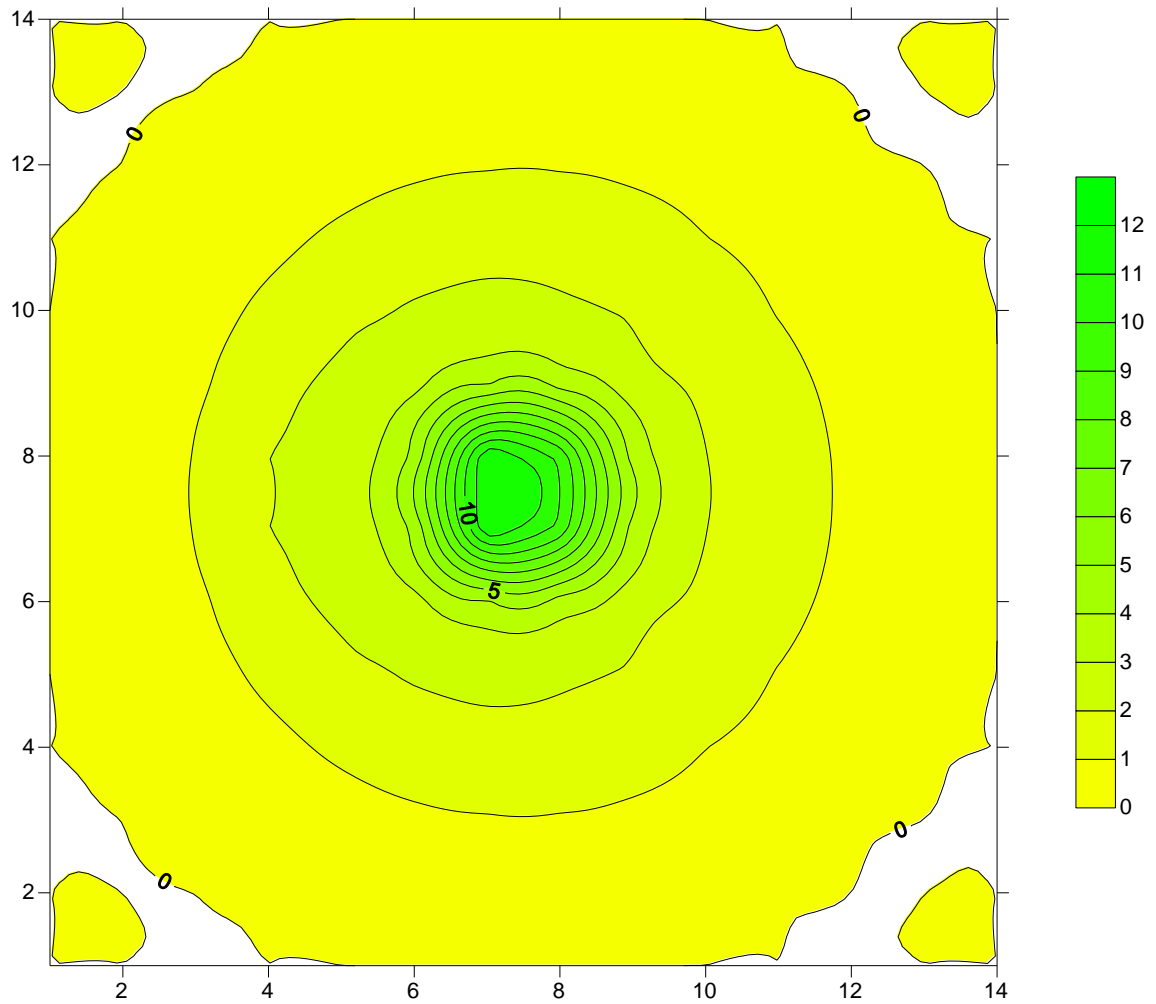


Figura 6: Isolneas de distribución de agua en el área de influencia del microaspersor del ensayo 2 (43 l h^{-1}), tratamiento 2. La escala corresponde a $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ de agua recolectada en la grilla de muestreo.

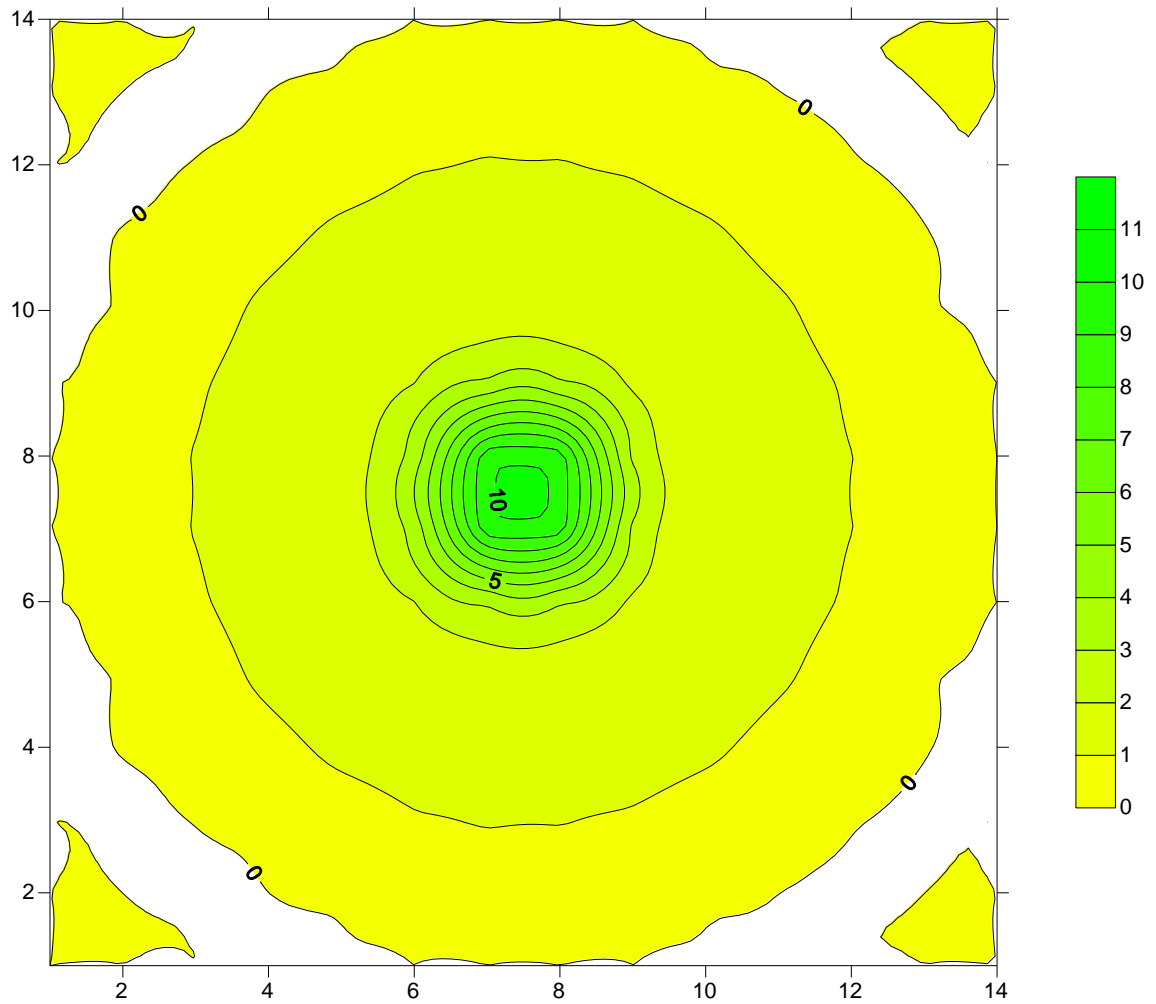


Figura 7: Isolneas de distribución de agua en el área de influencia del microaspersor del ensayo 2 (43 l h^{-1}), tratamiento 3. La escala corresponde a $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ de agua recolectada en la grilla de muestreo.

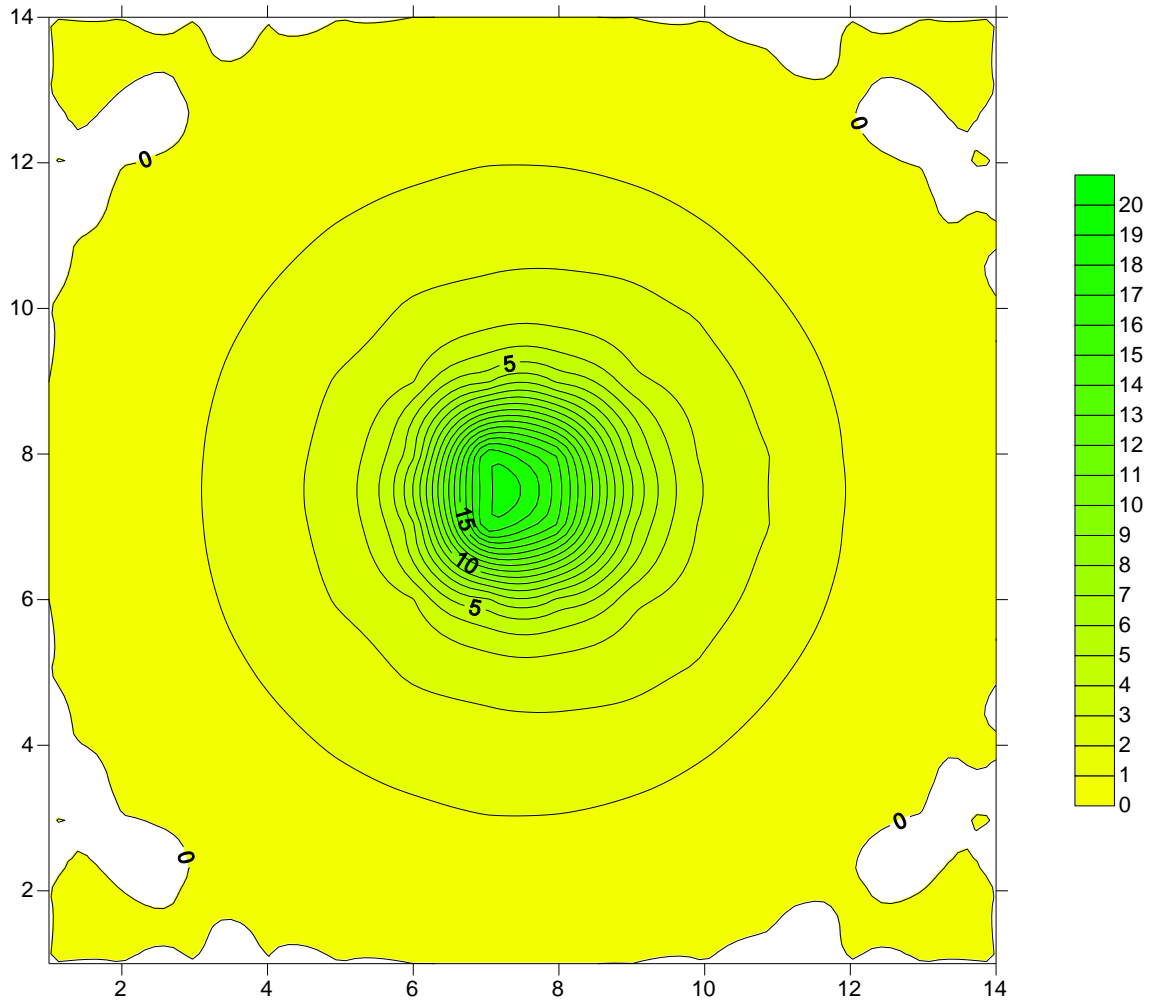


Figura 8: Isolneas de distribución de agua en el área de influencia del microaspersor del ensayo 2 (43 l h^{-1}), tratamiento 4. La escala corresponde a $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ de agua recolectada en la grilla de muestreo.

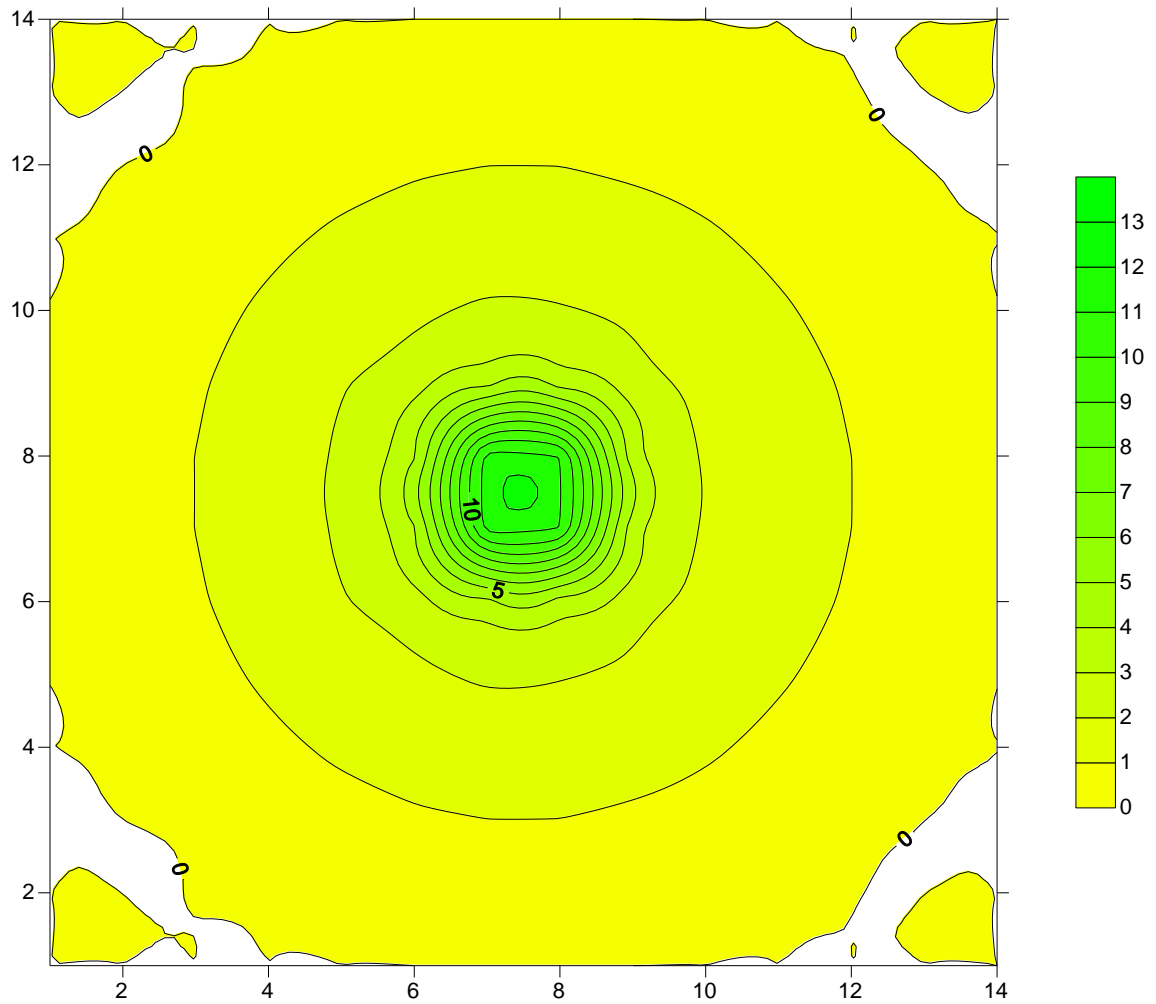


Figura 9: Isolneas de distribución de agua en el área de influencia del microaspersor del ensayo 3 (70 l h^{-1}), tratamiento 1. La escala corresponde a $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ de agua recolectada en la grilla de muestreo.

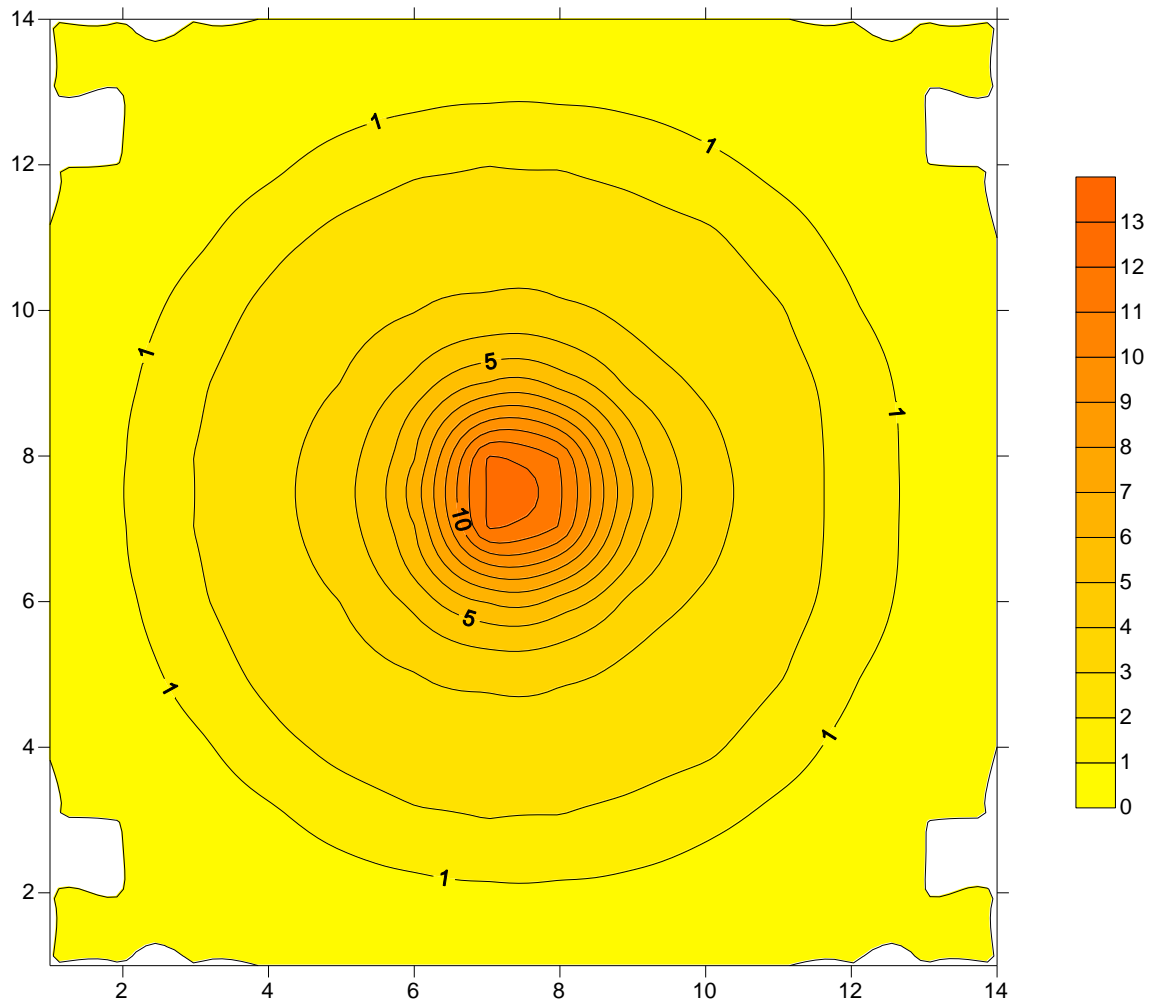


Figura 10: Isolneas de distribución de agua en el área de influencia del microaspersor del ensayo 3 (70 l h^{-1}), tratamiento 2. La escala corresponde a $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ de agua recolectada en la grilla de muestreo.

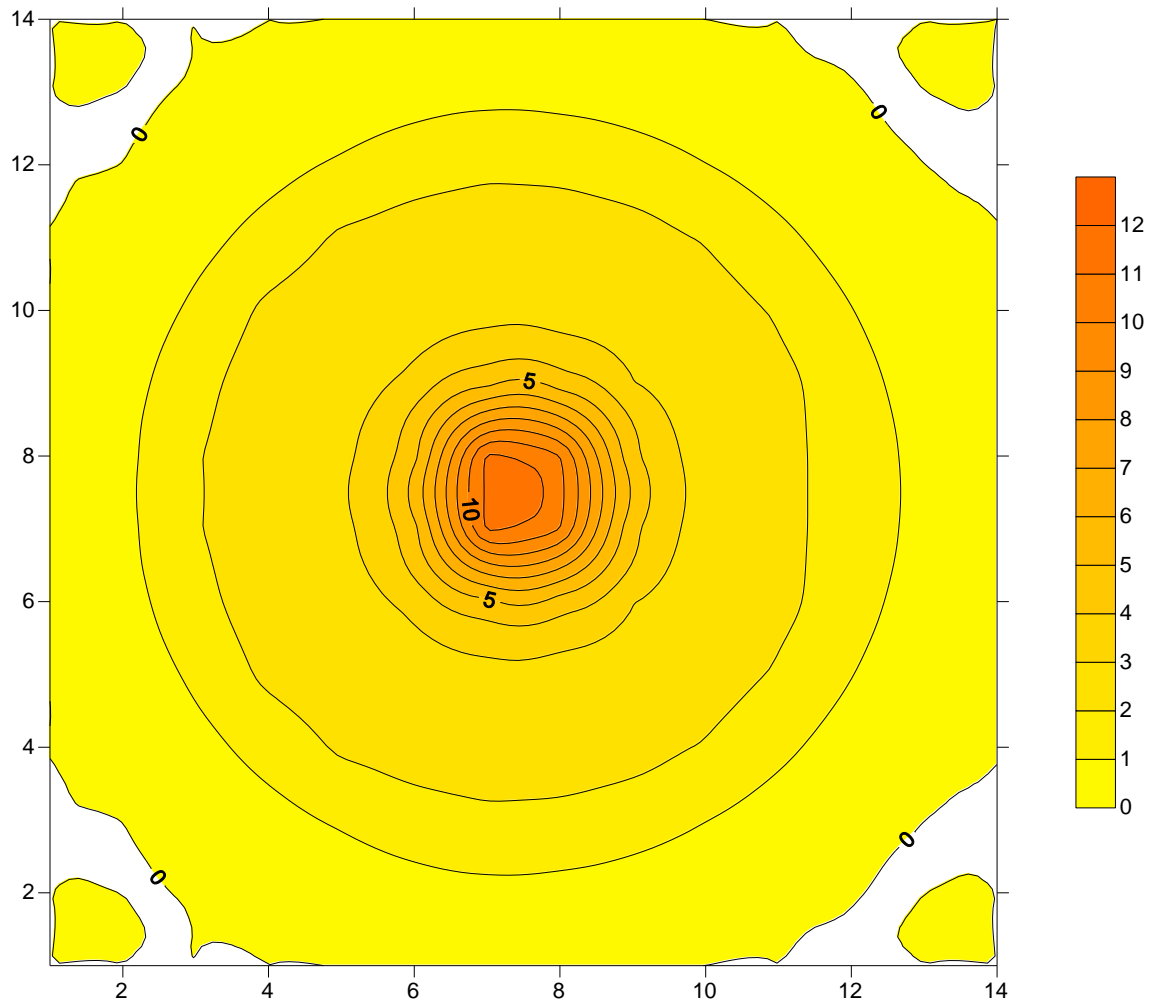


Figura 11: Isolneas de distribución de agua en el área de influencia del microaspersor del ensayo 3 (70 l h^{-1}), tratamiento 3. La escala corresponde a $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ de agua recolectada en la grilla de muestreo.

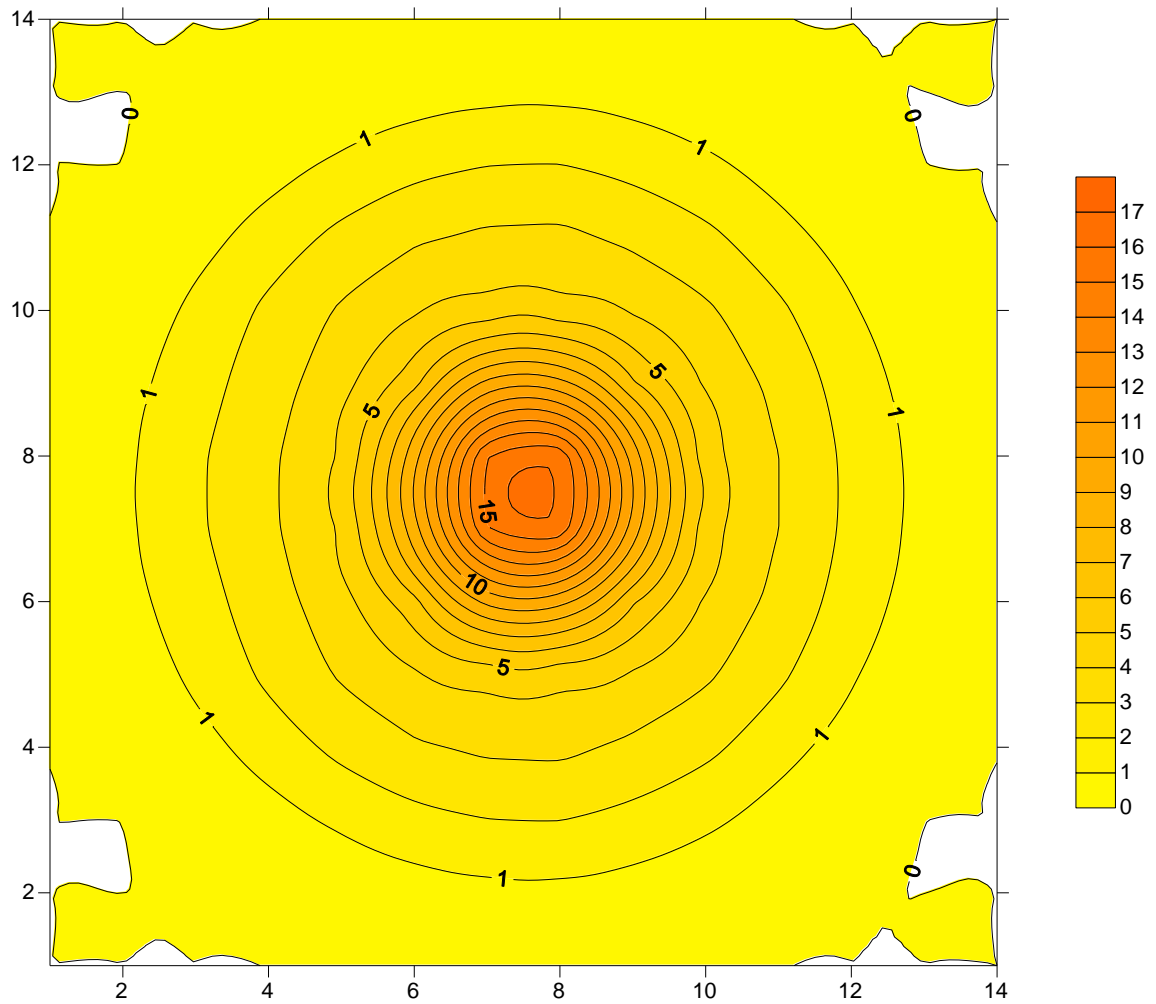


Figura 12: Isolneas de distribución de agua en el área de influencia del microaspersor del ensayo 3 (70 l h^{-1}), tratamiento 4. La escala corresponde a $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ de agua recolectada en la grilla de muestreo.

