

# APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE FILTRACIÓN

EN MÚLTIPLES ETAPAS CON SISTEMAS DE RIEGO  
LOCALIZADO DE ALTA FRECUENCIA

• LUIS SÁNCHEZ, JORGE LATORRE Y JAIME DÍAZ •



Programa Editorial

Este libro de investigación muestra la evaluación realizada, a escala piloto, a la tecnología de Filtración en Múltiples Etapas (FiME), para mejorar la calidad de agua en sistemas de riego con el fin de disminuir el riesgo de obturación en los emisores de sistemas de Riego Localizado de Alta Frecuencia (RLAF). Se estudió la eficiencia de remoción de parámetros físicos, químicos y microbiológicos que inciden en la obturación de los emisores de riego localizado, para tres configuraciones FiME (Filtro Grueso Dinámico, FGDi + Filtro Grueso Ascendente en Capas, FGAC; FGDi + Filtro Grueso Ascendente en serie en 2 etapas, FGAS2; y FGDi + FGAC + Filtro Lento en Arena, FLA) y un filtro convencional de anillos, FC. El efluente de cada una de esas tecnologías alimentó cuatro tipos de sistemas RLAF: Microjet, Lyn, Autocompensado y Cinta de riego.

Este trabajo se ejecutó con recursos propios de la Universidad del Valle, a través de la Vicerrectoría de Investigaciones. En la ejecución participaron los Grupos de Investigación en Abastecimiento de Agua, Gestión Integrada del Recurso Hídrico, Desarrollo Institucional y Gestión Comunitaria, del Instituto Cinara y el Grupo REGAR de la Escuela de Ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente - EIDENAR.



# **Aplicación de la Tecnología de Filtración en Múltiples Etapas**

con Sistemas de Riego  
Localizado de Alta Frecuencia



Colección Ingeniería

### **LUIS DARÍO SÁNCHEZ TORRES**

Ingeniero Sanitario, MSc en Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad del Valle. Es investigador y profesor, adscrito al Instituto Cinara de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle desde hace 20 años. Coordinador del Grupo de Investigación en Abastecimiento de Agua del Instituto Cinara. Ha participado en diversos proyectos de transferencia de tecnología en abastecimiento de agua a nivel nacional e internacional. También es coordinador de proyectos de investigación y desarrollo en el campo del abastecimiento de agua.

### **JORGE LATORRE MONTERO**

Ing. MSc. en Ingeniería Sanitaria, formación en proyectos de investigación, desarrollo y gestión relacionados con abastecimiento de agua y saneamiento ambiental, incluyendo procesos participativos de planeación, organización y gestión, con comunidades usuarias, institucionales, académicas, políticas y financieras. Experiencia profesional a nivel nacional e internacional con intervención en zonas rurales, pequeños y medianos municipios y asentamientos urbano-marginales; docente en cursos de pregrado y postgrado. Experiencia investigativa y formación de capacidades en tecnologías de uso no convencional para tratamiento de agua para consumo humano y sistemas de riego de alta frecuencia, como la Filtración en Múltiples Etapas. Coautor de artículos, ponencias, libros y material audiovisual.

### **JAIME ERNESTO DÍAZ**

Ingeniero Agrícola, egresado de la Universidad del Valle, en convenio con la Universidad Nacional de Colombia, Palmira. Posee una maestría en Recursos Hídricos de la Universidad Nacional de Colombia y es PhD en Tecnología Agroambiental de la Universidad Politécnica de Madrid. Posee experiencia docente por más de 25 años en las universidades del Valle, Surcolombiana y Corporación Universitaria de Ibagué. Actualmente es profesor titular de la Escuela de Ingeniería de Recursos y del Ambiente en la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle.

# **Aplicación de la Tecnología de Filtración en Múltiples Etapas**

con Sistemas de Riego  
Localizado de Alta Frecuencia

**Luis Darío Sánchez T. - Jorge Latorre M. - Jaime Ernesto Díaz**



Colección Ingeniería

Sánchez, Luis Darío

Aplicación de la tecnología de filtración en múltiples etapas con sistemas de riego localizado de alta frecuencia / Luis Darío Sánchez T., Jorge Latorre M., Jaime Ernesto Díaz. -- Santiago de Cali : Programa Editorial Universidad del Valle, 2011.

124 p. ; 24 cm. -- (Ciencias naturales y exactas)

Incluye bibliografía.

1. Sistemas de riego 2. Calidad del agua - Control 3. Tratamiento del agua 4. Hidráulica agrícola 5. Tecnología agrícola I. Latorre M., Jorge II. Díaz, Jaime Ernesto III. Tit. IV. Serie.

631.587 cd 21 ed.

A1294537

CEP-Banco de la República-Biblioteca Luis Ángel Arango

## **Universidad del Valle**

### **Programa Editorial**

Título: Aplicación de la Tecnología de Filtración en Múltiples Etapas con Sistemas de Riego Localizado de Alta Frecuencia

Autores: Luis Darío Sánchez T., Jorge Latorre M., Jaime Ernesto Díaz

ISBN: 978-958-670-901-9

ISBN-PDF: 978-958-5164-27-7

DOI: 10.25100/peu.506

Colección: Ingeniería

**Primera Edición Impresa julio 2011**

Rector de la Universidad del Valle: Édgar Varela Barrios

Vicerrector de Investigaciones: Héctor Cadavid Ramírez

Director del Programa Editorial: Omar J. Díaz Saldaña

© Universidad del Valle

© Luis Darío Sánchez T., Jorge Latorre M., Jaime Ernesto Díaz

Diseño de carátula: Anna Echavarría. Elefante

Diagramación y corrección de estilo: G&G Editores - Cali

Este libro, o parte de él, no puede ser reproducido por ningún medio sin autorización escrita de la Universidad del Valle.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión del autor y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad del Valle, ni genera responsabilidad frente a terceros.

El autor es el responsable del respeto a los derechos de autor y del material contenido en la publicación, razón por la cual la Universidad no puede asumir ninguna responsabilidad en caso de omisiones o errores.

Cali, Colombia, diciembre de 2020

## CONTENIDO

### Capítulo 1

RIEGO LOCALIZADO DE ALTA FRECUENCIA	25
• Descripción general	25
• Ventajas y desventajas	25
• Componentes de un sistema RLAF	27
- <i>Cabezal de control</i>	27
- <i>Tuberías de distribución</i>	28
- <i>Emisores</i>	28
• Criterios de diseño	29
- <i>Demanda hídrica</i>	29
- <i>Porcentaje de área a regar</i>	29
- <i>Profundidad del bulbo húmedo</i>	30
- <i>Tolerancia de presiones</i>	30
- <i>Uniformidad de aplicación</i>	30

### Capítulo 2

CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO	31
• Salinidad	31
• Sodicidad	32
• Toxicidad	35
• Obturación	35

### Capítulo 3

TRATAMIENTOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE AGUA EN RIEGO	37
---	----

• Tratamientos físicos	38
- <i>Filtro de grava</i>	38
- <i>Hidrociclón</i>	39
- <i>Filtro de mallas</i>	39
- <i>Filtro de anillos</i>	39
• Tratamientos químicos	41
• Filtración en múltiples etapas	41
- <i>Descripción general</i>	41
- <i>Componentes de un sistema FiME</i>	43
- <i>Procesos y mecanismos de remoción</i>	45
- <i>Calidad de agua en sistemas FiME</i>	48
- <i>Criterios de diseño</i>	49
- <i>Operación y mantenimiento</i>	51

## Capítulo 4

MODELO EXPERIMENTAL	55
• Montaje a escala piloto	56
- <i>Diseño de las unidades piloto FiME</i>	57
- <i>Diseño de las parcelas piloto RLAF</i>	62
• Comportamiento y Remoción de Parámetros Asociados a la Obturación de Emisores de Riego	66
- <i>Parámetros de seguimiento de calidad de agua en unidades FiME</i>	66
- <i>Mediciones de calidad de agua en las unidades experimentales</i>	67
- <i>Análisis de resultados</i>	67
• Comportamiento Hidráulico y Calidad de Agua en Parcelas RLAF	68
- <i>Parámetros de seguimiento en las redes de riego localizado</i>	68
- <i>Mediciones en las redes de riego localizado</i>	69
- <i>Cálculos y análisis de resultados</i>	70
• Comportamiento de los Parámetros de Operación y Mantenimiento en los Sistemas de Tratamiento	71
- <i>Seguimiento de los sistemas</i>	71
- <i>Frecuencia y período de mediciones</i>	71
- <i>Análisis de resultados</i>	74

## Capítulo 5

RESULTADOS DEL MODELO EXPERIMENTAL	75
• Comportamiento y Remoción de Parámetros Asociados a la Obturación de Emisores de Riego	75
- <i>Sólidos Suspendidos Totales (SST)</i>	79
- <i>pH</i>	82

- <i>Sólidos Disueltos (SD)</i>	84
- <i>Manganeso (Mn)</i>	85
- <i>Hierro (Fe)</i>	88
- <i>Mesófilos</i>	94
• <b>Comportamiento Hidráulico y Calidad de Agua en Parcelas RLAF</b>	101
- <i>Comparación del comportamiento hidráulico entre tecnologías de riego</i>	102
- <i>Influencia de los tratamientos en el comportamiento hidráulico de los emisores de riego</i>	106
- <i>Interpretación de los tiempos de riego encontrados</i>	109
• <b>Comportamiento de los parámetros de operación y mantenimiento en los sistemas de tratamiento</b>	112
- <i>Caudal</i>	112
- <i>Pérdida de carga</i>	113
<b>CONCLUSIONES</b>	117
<b>RECOMENDACIONES</b>	119
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	121

**PÁGINA EN BLANCO  
EN LA EDICIÓN IMPRESA**

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	CU admisible en emisores RLAF	30
Tabla 2.1	Clasificación de riesgo de salinidad del agua de riego	32
Tabla 2.2	Clasificación del riesgo de salinidad del agua de riego	32
Tabla 2.3	Concentración de calcio ( $\text{Ca}^0$ ) en función de la CE del agua de riego y de la relación $\text{HCO}_3$	33
Tabla 2.4	Criterio de sodicidad según CE	34
Tabla 2.5	Sensibilidad a la obturación en función del diámetro del emisor	35
Tabla 2.6	Parámetros de calidad de agua para evaluar riesgo por obturación en riego localizado	36
Tabla 3.1	Caracterización de partículas del agua de riego	38
Tabla 3.2	Tasa de filtración en función del nivel de sólidos en suspensión	38
Tabla 3.3	Caudal de trabajo ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) por unidad de filtro en función de la tasa de filtrado	39
Tabla 3.4	Tamaño de orificio para diferentes mesh	40
Tabla 3.5	Tipo de filtro recomendado según el origen del agua	40
Tabla 3.6	Tratamientos químicos preventivos del agua de riego	41
Tabla 3.7	Resumen de consideraciones sobre la filtración en múltiples etapas	43
Tabla 3.8	Remociones esperadas en unidades FiME	49
Tabla 3.9	Criterios de diseño sistemas FiME	50
Tabla 3.10	Criterios de diseño para múltiples difusores y recolectores.	51
Tabla 3.11	Distribución del medio filtrante en FiME.	51

Tabla 4.1	Características de los FGD <sub>i</sub>	58
Tabla 4.2	Características de los vertederos triangulares de entrada FGD <sub>i</sub> 1 y 2	59
Tabla 4.3	Características de los FGA	59
Tabla 4.4	Características de los vertederos triangulares de entrada FGAC y FGAS	60
Tabla 4.5	Características del FLA	60
Tabla 4.6	Características de parcelas de riego localizado	62
Tabla 4.7	Características de los emisores del estudio	63
Tabla 4.8	Régimen de flujo en tuberías laterales	64
Tabla 4.9	Pérdida unitaria en tuberías laterales	64
Tabla 4.10	Pérdida unitaria teniendo en cuenta el efecto de conexiones de emisores	65
Tabla 4.11	Coefficiente de Christiansen para efecto de disminución de caudales	65
Tabla 4.12	Pérdidas de carga totales en el lateral	66
Tabla 4.13	Frecuencia de medición de variables de seguimiento de calidad de agua	67
Tabla 4.14	Características de los emisores de riego localizado	70
Tabla 4.15	Caudales de operación unidades de filtración	71
Tabla 4.16	Medición de caudal en unidades FiME	72
Tabla 4.17	Ecuación vertederos triangulares instalados	72
Tabla 4.18	Piezómetros instalados en unidades FiME	73
Tabla 5.1	Variación de calidad del agua cruda. Período 1 y 2 de riego	76
Tabla 5.2	Prueba T para la comparación de las aguas crudas. Prueba de muestras independientes	77
Tabla 5.3	Prueba de bondad de ajuste para contrastar la normalidad en cada parámetro y período. Kolmogorov-Smirnov para una muestra	78
Tabla 5.4	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para el contraste de igualdad de medias en los parámetros medidos en las dos aguas crudas	79
Tabla 5.5	Prueba Kolmogorov-Smirnov para la comparación de la remoción de SST entre las tecnologías T1 vs T2 y T3 vs T4	82
Tabla 5.6	Prueba Kolmogorov-Smirnov para la comparación de la remoción de hierro entre las tecnologías T1 vs T2 y T3 vs T4	91
Tabla 5.7	Ancova para el hierro	92
Tabla 5.8	Estimaciones de los valores medios del hierro	93

Tabla 5.9	Comparación por pares de tecnologías de tratamiento de agua	93
Tabla 5.10	Prueba Kolmogorov para la comparación de la remoción de mesófilos entre las tecnologías T1 vs T2 y T3 vs T4	97
Tabla 5.11	Ancova para mesófilos	98
Tabla 5.12	Comparaciones entre todas las tecnologías de tratamiento de agua	99
Tabla 5.13	Estimaciones de los valores medios para mesófilos	99
Tabla 5.14	Tecnologías de tratamiento frente al riesgo de obturación por parámetros de calidad de agua	99
Tabla 5.15	Tiempo de riego antes de CU mínimo admisible por emisor y por tratamiento de calidad de agua	105
Tabla 5.16	Riesgo de obturación para cada efluente de tratamiento	107
Tabla 5.17	Número de riegos de 3 horas antes de CU mínimo admisible	110
Tabla 5.18	Matriz preliminar de selección de tecnología FiME-RLAF según calidad de agua y tiempo de riego	111