

ÍNDICE

1. INTERÉS Y OBJETIVOS	1
1.1. INTERÉS	2
1.2. OBJETIVOS	4
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. INTRODUCCIÓN	6
2.1.1. <i>Antecedentes</i>	6
2.1.2. <i>Actualidad</i>	6
2.2. COMPOSICIÓN, DEPURACIÓN Y REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL	9
2.2.1. <i>Composición de las aguas residuales</i>	9
2.2.2. <i>Sistemas de depuración de las aguas residuales</i>	10
2.2.3. <i>Métodos convencionales de depuración de aguas residuales</i>	11
2.2.4. <i>Alternativas de reutilización del agua residual depurada</i>	14
2.3. CALIDAD AGRONÓMICA DE LAS AGUAS RESIDUALES	17
2.4. CALIDAD SANITARIA DEL AGUA RESIDUAL DEPURADA PARA RIEGO AGRÍCOLA	19
2.5. INFLUENCIA DEL USO DE AGUA RESIDUAL DEPURADA EN LOS SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO	26
2.5.1. <i>Causas de las obturaciones</i>	27
2.5.1.1. <i>Calidad del agua residual depurada</i>	27
2.5.1.2. <i>Tipo de emisor y tratamiento del agua</i>	28
2.5.2. <i>Influencia de las obturaciones sobre los parámetros hidráulicos de los riegos por goteo</i>	36
3. MATERIAL Y MÉTODOS	38
3.1. ESTUDIO PROSPECTIVO PREVIO	39
3.2. MÉTODOS DE LABORATORIO	41
3.2.1. <i>Banco de ensayos</i>	44
3.3. MÉTODOS DE CAMPO	47
3.3.1. <i>Localización</i>	47
3.3.2. <i>Invernadero</i>	48
3.3.3. <i>Sistema de riego</i>	50
3.4. DISEÑO DE EXPERIMENTOS	58
3.4.1. <i>Parámetros climáticos</i>	59
3.4.2. <i>Agua aplicada</i>	60
3.4.3. <i>Comportamiento hidráulico de los goteros</i>	61
3.5. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO	65
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	66
4.1. ESTUDIO PROSPECTIVO PREVIO	67
4.1.1. <i>Encuestas a productores</i>	67
4.1.2. <i>Encuestas a empresas instaladoras</i>	74

4.1.3. <i>Entrevistas a empresas fabricantes</i>	79
4.2. ENSAYOS DE LABORATORIO	80
4.2.1. <i>Curva de gasto</i>	80
4.2.2. <i>Características técnicas</i>	83
4.3. ENSAYOS DE CAMPO	89
4.3.1. <i>Obturación de emisores</i>	91
4.3.2. <i>Uniformidad de riego</i>	94
5. CONCLUSIONES	98
6. BIBLIOGRAFÍA	100
7. ANEXO I: MODELOS DE EMISORES ANALIZADOS	108
I.1. EMISORES INTERLÍNEA	109
I.2. EMISORES PINCHADOS	111
I.3. EMISORES INTEGRADOS	112
8. ANEXO II: MONTAJE Y PREPARACIÓN DEL ENSAYO EN EL INVERNADERO	115
II.1. COLOCACIÓN DE LOS SOPORTES DE LAS TUBERÍAS	116
II.2. INSTALACIÓN DE LAS TUBERÍAS Y RAMALES PORTAGOTEROS	117
II.3. COLOCACIÓN DE CARTELES IDENTIFICATIVOS	119
II.4. RIEGO DE LIMPIEZA DE RAMALES	120
9. ANEXO III: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ejemplo de encuesta realizada a un productor.	40
Figura 2: Esquema del banco de ensayos utilizado.	44
Figura 3: Esquema del montaje de la bomba que suministra la presión al banco de ensayos.	45
Figura 4: Croquis del invernadero multitúnel, en el cual se marca de color la zona usada para el ensayo.	49
Figura 5: Croquis del cabezal del sistema de riego.	52
Figura 6: Red de distribución de tuberías del sistema de riego en la parcela.	57
Figura 7: Esquema de posicionamiento de los goteros analizados en el ramal.	62
Figura 8: Distribución de los emisores instalados por los productores en función a la edad de los mismos.	67
Figura 9: Distribución de los emisores instalados por productores en función del tipo de inserción de los mismos.	68
Figura 10: Distribución de los emisores interlínea instalados por los productores en función del diámetro de tubería.	68
Figura 11: Distribución de los emisores instalados por los productores en función de la capacidad de compensación y drenaje de los mismos.	69
Figura 12: Porcentaje de modelos instalados por los productores, clasificados en función del caudal nominal de los mismos.	69
Figura 13: Distribución de los emisores instalados por productores en función del nºemisores $\cdot m^{-2}$.	70
Figura 14: Distribución de los emisores instalados por productores en función del instalador de los mismos.	71
Figura 15: Distribución de los emisores instalados por productores en función del motivo de elección de los mismos.	71
Figura 16: Distribución de los emisores instalados por productores en función de la influencia ejercida por el uso de ARUR en la elección de los mismos.	72
Figura 17: Distribución de los emisores instalados por productores en función del grado de conformidad con la elección realizada.	73
Figura 18: Distribución de los emisores instalados por productores en función de quién los asesoró sobre los mismos.	73
Figura 19: Distribución de emisores instalados en la provincia de Almería en función del tipo de inserción en el ramal en el último año.	74
Figura 20: Distribución de emisores instalados en la provincia de Almería en función del diámetro del ramal en el último año.	75
Figura 21: Distribución de emisores interlínea instalados en la provincia de Almería en función del diámetro del ramal en el último año.	75
Figura 22: Distribución de emisores instalados en la provincia de Almería en función de la capacidad de compensación y drenaje en el último año.	76
Figura 23: Distribución de emisores instalados en la provincia de Almería en función del caudal nominal en el último año.	77
Figura 24: Metros lineales de los principales modelos instalados en la provincia de Almería en el último año.	77

Figura 25: Distribución de los principales modelos de emisores instalados en la provincia de Almería en el último año, en función del país de origen del fabricante del emisor.	78
Figura 26: Distribución de los emisores instalados en la provincia almeriense, en función de la provincia de origen de las empresas fabricantes españolas.	79
Figura 27: Distribución de los emisores cuyos datos han sido facilitados por las empresas fabricantes, en función de su Coeficiente de Variación de Fabricación (CV).	80
Figura 28: Distribución de los caudales nominales obtenidos en el laboratorio de los modelos analizados.	81
Figura 29: Distribución de los modelos turbulentos analizados en función del coeficiente de descarga obtenido.	82
Figura 30: Distribución de los modelos autocompensantes en función al coeficiente de descarga obtenido.	83
Figura 31: Distribución de los goteros analizados, en función del Coeficiente de Variación de fabricación obtenido en el invernadero, durante el 1er muestreo.	85
Figura 32: Clasificación de los modelos de goteros analizados, según la norma UNE 68-075, en función del Coeficiente de Variación de fabricación (CV) obtenido en campo.	86
Figura 33: Porcentaje de goteros de categoría A, B y sin categoría, clasificados según tipo de inserción, y conforme a la ley UNE 68-075, con los datos obtenidos en el ensayo de campo.	87
Figura 34: Porcentaje de goteros de categoría A, B y sin categoría, clasificados según diámetro interior de la tubería portagoteros, y conforme a la ley UNE 68-075, con los datos obtenidos en el ensayo de campo.	88
Figura 35: Porcentaje de goteros de categoría A, B y sin categoría, clasificados según la capacidad de compensación de caudal respecto a la presión, y conforme a la ley UNE 68-075, con los datos obtenidos en el ensayo de campo.	89
Figura 36: Porcentaje de emisores obturados de cada modelo de emisor, quedando representado el intervalo de Mínima Diferencia Significativa (MDS) al 95%.	91
Figura 37: Porcentaje medio de obturación de cada modelo de emisor, quedando representado el intervalo de Mínima Diferencia Significativa (MDS) al 95%.	92
Figura 38: Porcentaje de emisores obturados, en función del tipo de inserción del emisor en la tubería.	93
Figura 39: Porcentaje medio de obturación de los emisores, en función del tipo de inserción del emisor en la tubería.	94
Figura 40: Coeficiente de Uniformidad de Caudal (CUC) inicial, en tanto por cien, de los 38 modelos analizados, representándose el intervalo de Mínima Diferencia Significativa (MDS) al 95%.	95
Figura 41: Coeficiente de Uniformidad de Caudal (CUC) final, en tanto por cien, de los 38 modelos analizados, representando el intervalo de Mínima Diferencia Significativa (MDS) al 95%.	96
Figura 42: CUC inicial y final de los modelos analizados, en función del tipo de inserción del gotero en la tubería.	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición media del agua residual bruta.	10
Tabla 2: Usos del agua residual depurada (U.S. EPA, 1992).	15
Tabla 3: Muestra de agentes infecciosos presentes en aguas residuales no tratadas (adaptado de U.S. EPA, 1992).	21
Tabla 4: Intervalos de reducción de DBO ₅ , SS y Coliformes después de varios procesos de depuración (Castillo et al., 1994).	22
Tabla 5: Concentración de organismos patógenos presentes en el agua residual urbana bruta y después de un tratamiento primario y secundario de depuración (Castillo et al., 1994).	22
Tabla 6: Relación de aplicaciones de reutilización directa de aguas residuales urbanas depuradas con indicación de los estándares de calidad mínimos, consideraciones particulares y tipos de tratamientos orientativos (Castillo et al., 1994).	23
Tabla 7: Resumen de las directrices de calidad microbiológica de las aguas recomendada por la O.M.S., por el Estado de California, USA y por el Real Decreto de España.	24
Tabla 8: Frecuencia mínima de muestreos en aguas residuales regeneradas para diferentes usos, así como posibles modificaciones de ésta (Real Decreto 1620/2007, BOE 294 de 7 de Diciembre).	25
Tabla 9: Clasificación de los goteros, según la norma UNE 68-075, en función del Coeficiente de variación de fabricación (CV).	44
Tabla 10: Emisores analizados.	51
Tabla 11: Parámetros climáticos equivalentes a los medidos en un invernadero convencional cultivado con tomate (Lorenzo et al., 2004).	59
Tabla 12: Calificación de la instalación de riego, en función del Coeficiente de Uniformidad de Caudal (CUC).	65
Tabla 13: Características técnicas de los goteros analizados.	84
Tabla 14: Resultados de uniformidad y obturación obtenidos tras la cuarta medición del ensayo de campo.	90

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Goteros integrados.	28
Fotografía 2: Goteros interlínea.	29
Fotografía 3: Goteros pinchados.	29
Fotografía 4: Goteros integrados turbulentos.	30
Fotografía 5: Gotero integrado autocompensante.	31
Fotografía 6: Gotero pinchado microtubo.	31
Fotografía 7: Gotero pinchado helicoidal.	32
Fotografía 8: Gotero integrado plano laberíntico.	32
Fotografía 9: Gotero pinchado vortex.	33
Fotografía 10: Gotero pinchado desmontable.	33
Fotografía 11: Gotero pinchado antidrenante.	34
Fotografía 12: Gotero pinchado autolimpiante.	35
Fotografía 13: Banco de ensayos en funcionamiento. Recogida de agua para el cálculo de la curva de gasto de los goteros.	42
Fotografía 14: Banco de ensayos utilizado en el análisis de los goteros.	46
Fotografía 15: Localización del invernadero donde se han realizado los ensayos, dentro del término municipal de La Cañada de San Urbano.	47
Fotografía 16: Frontal del invernadero multitúnel usado en la realización del ensayo.	50
Fotografía 17: Filtro de anillas anterior al tanque de acumulación.	54
Fotografía 18: Cabezal de riego.	55
Fotografía 19: Venturis utilizados para fertirriego.	55
Fotografía 20: Tanques de acumulación de agua.	56
Fotografía 21: Comprobación previa de la presión antes de la realización de cada una de las medidas.	58
Fotografía 22: Programador de temperatura del invernadero, que se encarga de la automatización de la apertura y cierre de la ventana cenital y las laterales.	60
Fotografía 23: Programador del riego.	61
Fotografía 24: Detalle de la recogida de agua en las cubetas de plástico.	63
Fotografía 25: Carros usados en el ensayo y colocación de éstos bajo las líneas de goteros.	64
Fotografía 26: AMACOM Interlínea 12 mm.	109
Fotografía 27: AMACOM Interlínea 16 mm.	109
Fotografía 28: AZUD-AGR Interlínea 16 mm.	109
Fotografía 29: C.A.R. Interlínea 3.5.	109
Fotografía 30: Extruline Interlínea 12 mm.	109
Fotografía 31: Extruline Interlínea 16 mm.	109
Fotografía 32: Hidroten Interlínea 12mm.	110
Fotografía 33: Hidroten Interlínea 16 mm.	110
Fotografía 34: Hidroten Interlínea desmontable.	110
Fotografía 35: Marbroer IT-N.	110
Fotografía 36: Marbroer IT-S.	110
Fotografía 37: NaanDanJain Interlínea 16mm.	110

Fotografía 38: Prima-Ram NYA.	110
Fotografía 39: Extruline ADO-Metzerplas.	111
Fotografía 40: Extruline Key-Orvel.	111
Fotografía 41: Gestirriego Acuario.	111
Fotografía 42: Hidroten Cónico Desmontable Autocompensante.	111
Fotografía 43: Hidroten Cónico desmontable.	111
Fotografía 44: Hidroten Pinchado desmontable.	111
Fotografía 45: Marbroer Escober GAE.	111
Fotografía 46: Marbroer Escober GE.	111
Fotografía 47: Mondragón Soluciones Twin Drops Advance.	112
Fotografía 48: NaanDanJain Jain Emitter.	112
Fotografía 49: Netafim PC-CNL.	112
Fotografía 50: Netafim PCJ.	112
Fotografía 51: AZUD-PRO Integrado 16 mm.	112
Fotografía 52: C.A.R. Cardrip.	112
Fotografía 53: C.A.R. Starcomp.	112
Fotografía 54: Extruline LIN.	112
Fotografía 55: John Deere Hydrogol.	113
Fotografía 56: John Deere Hydro-PC.	113
Fotografía 57: Mondragón Soluciones Irridrip.	113
Fotografía 58: Mondragón Soluciones Megadrip.	113
Fotografía 59: NaanDanJain AmnomDrip.	113
Fotografía 60: NaanDanJain J-Turboline.	113
Fotografía 61: NaanDanJain NaanPC.	113
Fotografía 62: NaanDanJain TifDrip.	113
Fotografía 63: Netafim DripNet PC.	114
Fotografía 64: Perfiles de hierro usados como soporte de los ramales.	116
Fotografía 65: Llaves de compuerta elástica de 50 mm, colocadas al comienzo de cada una de las dos tuberías portarramales.	117
Fotografía 66: Colocación de las bridas como sujeción del ramal portagoteros con el alambre de soporte.	118
Fotografía 67: Vista general de la colocación de los manómetros a lo largo de la tubería portarramales y detalle de instalación de uno de ellos.	119
Fotografía 68: Carteles identificativos colocados en el final del ramal.	120
Fotografía 69: Invernadero preparado para el ensayo, tras la realización del riego de limpieza de ramales.	121