

RIEGO por GOTEO y por MICROASPERSIÓN para Árboles, Vides y Cultivos Anuales

(Diseño y Manejo)
(incluye secciones especiales sobre goteo subsuperficial)

Versión Original en Inglés por
Charles M. Burt, P. E., Ph. D.
Stuart W. Styles, P. E.

Versión en Español y Conversión al Sistema Internacional por
José Antonio Forero Saavedra, Ph. D

*Obra original desarrollada con financiación de California Energy Commission
y de U. S. Bureau of Reclamation, Mid-Pacific Region
Versión en Espanol desarrollada con financiación de T-Systems International*



Irrigation Training & Research Center (ITRC)
BioResource and Agricultural Engineering Department.
California Polytechnic State University (Cal Poly)
San Luis Obispo, California 93407
cburt@calpoly.edu www.itrc.org

RIEGO por GOTEO y por MICROASPERSIÓN para Árboles, Vides y Cultivos Anuales

(Diseño y Manejo)
(incluye secciones especiales sobre goteo subsuperficial)

Versión Original en Inglés por
Charles M. Burt, P. E., Ph. D.
Stuart W. Styles, P. E.

2000

Irrigation Training and Research Center (ITRC)
BioResource and Agricultural Engineering Department.
California Polytechnic State University (Cal Poly)
San Luis Obispo, California 93407
PH: (805) 756-2434
FAX: (805) 756-2433
cburt@calpoly.edu www.itrc.org

Versión en Español y Conversión al Sistema Internacional por
José Antonio Forero Saavedra, Ph. D.
Investigador, Instituto Colombiano Agropecuario - ICA
Profesor, Departamento de Ingeniería Agrícola - Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Colombia
Santa Fe de Bogotá, Colombia

2000

Derechos de propiedad ©1999, gráfico, electrónico, mecánico, de fotocopiado, de grabación, o de cualquiera otra forma, sin el permiso escrito de The Irrigation Training & Research Center.

Segunda Edición en Inglés

Primera edición en Español

Escrito y publicado en los Estados Unidos de América.

Copias pueden ser solicitadas a
The Irrigation Training & Research Center
California Polytechnic State University (Cal Poly)
San Luis Obispo, CA 93407
(805) 756-2434
www.itrc.org

Drip and Micro Irrigation for Trees, Vines, and Row Crops
Versión Original en Inglés por
Charles M. Burt y Stuart W. Styles
292 páginas; incluye Índices y Referencias Bibliográficas

Riego por Goteo y por Microaspersión para Árboles, Vides y Cultivos Anuales
Por Charles M. Burt, Stuart W. Styles Y José Antonio Forero Saavedra
334 páginas; incluye Índices y Referencias Bibliográficas

El apoyo financiero para la producción de este libro ha sido parcialmente
suministrado por California Energy Commission, Farm Energy Assistance Program y
por Mid-Pacific Region de la U. S. Bureau of Reclamation y por T-Systems
International de San Diego, California.

ADVERTENCIA LEGAL:

Este libro ha sido escrito como resultado del trabajo patrocinado por California
Energy Commission y por U. S. Bureau of Reclamation y por T-Systems
International. No necesariamente representa los puntos de vista de la Comisión de
Energía, ni de U.S.B.R., ni de T-Systems International, de sus funcionarios, del
Estado de California, ni del Gobierno Federal. La Comisión, la U.S.B.R., el Estado
de California, el Gobierno Federal, sus funcionarios, contratistas y subcontratistas, no
garantizan en forma expresa o implícita, ni asumen responsabilidad legal alguna por
la información contenida en este libro; así como tampoco ninguna de las partes
garantiza que el uso de esta información no vaya a infringir los derechos de
propiedad privada.

Tarjeta de Catálogo de la Biblioteca del Congreso No.: 00-108219
ISBN 0-9643634-3-7

Las fotografías de la carátula fueron suministradas por Charles M. Burt y Yardney
(filtros de arena)
Impreso por Central Coast Printing, Grover Beach, CA

CONTENIDO

PRÓLOGO	XIII
<i>Antecedentes de este libro</i>	xiii
<i>Lo que usted encontrará en este libro</i>	xiii
<i>Lo que usted no encontrará en este libro</i>	xiv
RECONOCIMIENTOS	XV
SECCIÓN 1 PRINCIPIOS GENERALES DE RIEGO POR GOTEO Y POR MICROASPERSIÓN	1
CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES DEL RIEGO POR GOTEO Y POR MICROASPERSIÓN	3
<i>Historia del Riego por Goteo y por Microaspersión</i>	6
<i>Variaciones del Riego por Goteo/Microaspersión</i>	7
<i>Goteo Superficial en Huertos de Árboles y en Viñedos</i>	8
<i>Goteo Subsuperficial en Huertos de Árboles y en Viñedos (RGS)</i>	9
<i>Microrocío y Microaspersores en Huertos de Árboles</i>	9
<i>Riego por Goteo Superficial en Cultivos Anuales</i>	11
<i>Riego por Goteo Subsuperficial (RGS)</i>	11
<i>Ventajas y Desventajas</i>	11
CAPÍTULO 2 EFICIENCIA DE RIEGO Y UNIFORMIDAD	15
<i>Introducción</i>	15
<i>Definiciones y Términos Iniciales</i>	15
<i>Diagramas de los Componentes del Agua Aplicada</i>	19
<i>Algo Más Sobre Uniformidad de Distribución</i>	22
<i>Deterioro con el Tiempo de Sistemas de Riego por Goteo y por Microaspersión</i>	28
<i>Evaluación de Sistemas de Riego por Goteo y por Microaspersión</i>	29
CAPÍTULO 3 REQUERIMIENTOS DE CAUDAL DEL SISTEMA	33
<i>Evapotranspiración del Cultivo (ET)</i>	33
<i>Valores Publicados de ET</i>	33
<i>Volumen de Suelo Húmedo</i>	36
<i>Tasas de Aplicación</i>	36
<i>Efectos de un Leve Déficit en Riego</i>	45
CAPÍTULO 4 DISEÑOS DE EMISORES/MICROASPERSONES	47
<i>Generalidades</i>	47
<i>Conexión de Goteros a la Línea Lateral</i>	48
<i>Exponente de Descarga de un Emisor</i>	48
<i>Tipo de Trayectoria del Emisor</i>	52
<i>Microrociadores con Acumuladores</i>	54
<i>Caudales de los Emisores y Costos</i>	55
<i>Caudales de los Emisores y Obstrucción</i>	55
CAPÍTULO 5 FRICCIÓN E HIDRÁULICA DE LA LÍNEA LATERAL	59
<i>Generalidades</i>	59
<i>Cálculos de Fricción</i>	60
<i>Presión a lo Largo de una Manguera Lateral</i>	70

<i>Pérdidas en el Microtubo y en los Acoplamientos de los Microrociadores</i>	71
<i>Cálculos de Presión de Entrada a la Manguera Lateral</i>	75
<i>Localización del Tubo Múltiple en Terrenos con Pendiente</i>	75
CAPÍTULO 6 ..ESTRATEGIAS PARA SELECCIÓN DE DIÁMETROS DE TUBERÍAS	
Y MANGUERAS EN UN SISTEMA	81
<i>Introducción</i>	81
<i>Descripción de Sistemas de Tubería</i>	83
<i>Estrategias Posibles para la Selección de Diámetros de Tuberías</i>	87
<i>Resumen de Estrategias de Regulación de Presión para Riego por</i>	
<i>Goteo/Microaspersión.</i>	89
<i>El Procedimiento Más Antiguo para la Determinación de laDiferencia de Presión</i>	
<i>Permisible</i>	96
<i>Selección de Diámetros de Múltiples - Método de la Diferencia de Presión</i>	
<i>Permisible</i>	101
<i>Selección de Diámetros de Múltiples - Método de la Máxima Velocidad</i>	106
<i>Selección de Diámetros de Múltiples y de Líneas Principales - Método de la</i>	
<i>Selección Económica de Diámetros de Tuberías</i>	109
CAPÍTULO 7 VÁLVULAS ESPECIALES	115
<i>Reguladores de Presión Fijos</i>	115
<i>Microtubo a la Entrada de cada Manguera Lateral</i>	118
<i>Reguladores de Presión Ajustables</i>	121
<i>Válvulas Sostenedoras de Presión</i>	123
<i>Válvulas de Alivio de Presión</i>	124
<i>Válvulas de Aire</i>	125
CAPÍTULO 8 FILTRADO (REMOCIÓN DE SÓLIDOS)	127
<i>Introducción</i>	127
<i>Embalses</i>	131
<i>Pre-Filtrado</i>	134
<i>Mallas de Desbordamiento por Gravedad</i>	135
<i>Separadores de Arena por Acción Centrífuga</i>	138
<i>Filtros Tubulares de Malla</i>	140
<i>Filtros de Arena</i>	141
<i>Clasificaciones de Presión</i>	165
<i>Filtros de Discos</i>	165
<i>Filtros de Malla Tubular de Limpieza por Rotación</i>	167
<i>Otros Diseños de Malla Especiales</i>	168
CAPÍTULO 9 INYECCIÓN DE QUÍMICOS PARA TRATAMIENTO DEL AGUA ...	169
<i>Introducción</i>	169
<i>Tasa Constante vs. Tasa Variable</i>	171
<i>Localización del Inyector</i>	171
<i>Otras Anotaciones Sobre Inyección</i>	172
<i>Prevención de Obstrucción</i>	174
<i>Propósitos Agronómicos</i>	179
CAPÍTULO 10 DECLARACIÓN DE DERECHOS DEL USUARIO DEL RIEGO	181
<i>Declaración General de Derechos del Usuario del RiegoTM</i>	183

<i>Declaración de Derechos del Usuario del RiegoTM, para Riego por Goteo/Microaspersión</i>	185
SECCIÓN 2 RIEGO POR GOTEO EN CULTIVOS ANUALES	185
CAPÍTULO 11 ANTECEDENTES DEL RIEGO POR GOTEO EN CULTIVOS ANUALES.....	189
CAPÍTULO 12 BENEFICIOS DEL RIEGO POR GOTEO EN CULTIVOS ANUALES.....	199
<i>Ahorro de Agua</i>	199
<i>Ahorro de Energía</i>	200
<i>Ahorro en Fertilizantes</i>	201
<i>Mejoras en la Cantidad y en la Calidad de la Producción</i>	202
<i>Otros Beneficios para los Productores</i>	205
<i>Consumo Total de Energía</i>	205
<i>Consideraciones Restantes</i>	207
CAPÍTULO 13 DISPOSICIONES TÍPICAS DE SISTEMAS EN EL CAMPO	209
<i>Visión General</i>	209
<i>Ejemplos</i>	210
<i>Materiales del Múltiple</i>	216
CAPÍTULO 14 CONSIDERACIONES SOBRE DISEÑO Y MANEJO	219
<i>Reducción de Problemas de Intrusión de Raíces</i>	219
<i>Prevención del Retro-sifoneamiento hacia los Emisores</i>	220
<i>Equipo de Instalación/Extracción de Cintas</i>	223
<i>Orientación de la Cinta</i>	228
<i>Profundidad de Colocación de la Cinta</i>	228
<i>Separación entre Orificios</i>	230
<i>Trayectoria de Flujo Bajo vs. Flujo Medio vs. Flujo Alto</i>	230
<i>Espesor de la Pared de la Cinta</i>	231
<i>Materiales de la Cinta</i>	232
<i>Diseño de Emisor/Salida</i>	234
<i>Daño Inicial por Resquebrajamiento de la Cinta y por Insectos</i>	236
<i>La Salinidad y el Uso de Aspersores vs. Goteo para Germinación/Transplante</i>	236
<i>Localización del Equipo de Fertirrigación</i>	239
<i>Lavado</i>	240
<i>Caudal por Hectárea</i>	241
<i>Preparación de Tierras</i>	241
<i>Superficie Mínima Tierra por Ensayo</i>	242
<i>Nivelación de Tierras</i>	242
<i>Alineación de las Cintas en Sistemas de RGS</i>	242
<i>Otras Normas</i>	243
CAPÍTULO 15 DISEÑO DE LATERALES DE CINTA/MANGUERA.....	245
<i>Conexiones del Múltiple/Cinta</i>	245
<i>Concepto de Uniformidad de Distribución</i>	245
<i>Exponentes de Descarga del Emisor</i>	246
<i>Fricción en Cinta/Manguera</i>	248
CAPÍTULO 16 SELECCIÓN DE DIÁMETROS DE LOS MÚLTIPLES DE ABASTECIMIENTO Y DE LAVADO EN CULTIVOS ANUALES	251

<i>Introducción</i>	251
<i>Presión de Entrada a la Cinta Requerida Durante el Lavado</i>	251
<i>Caudal de Entrada a la Cinta Requerido Durante el Lavado.....</i>	254
CAPÍTULO 17.EJEMPLO DE DISEÑO DE MÚLTIPLES.....	259
CAPÍTULO 18.EXPLICACIÓN DE LOS PRODUCTORES SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE SISTEMAS DE GOTEO EN CULTIVOS ANUALES.....	267
SECCIÓN 3 RIEGO POR GOTEO SUBSUPERFICIAL (RGS) EN ÁRBOLES/VIDES..	269
CAPÍTULO 19.GOTEO SUBSUPERFICIAL PERMANENTE (RGS) EN ÁRBOLES/VIDES	273
<i>Problemas Principales</i>	273
<i>Encharcamiento de Agua en la Superficie</i>	274
<i>Intrusión de Raíces.....</i>	275
<i>Localización de las Mangueras.....</i>	276
<i>Profundidad de Instalación.....</i>	278
<i>Retrosifoneamiento.....</i>	279
<i>Hidráulica</i>	279
<i>Otras Consideraciones</i>	280
SECCIÓN 4 DISEÑOS MODELO.....	279
CAPÍTULO 20 MODELO DE DISEÑOS: RIEGO POR GOTEO.....	279
<i>Condiciones Dadas.....</i>	283
<i>Encontrar:</i>	283
<i>Solución:.....</i>	284
<i>MODELO DE DISEÑO #1: Regulador de Presión en Cada Manguera.....</i>	284
<i>MODELO DE DISEÑO #2: Sin Reguladores de Presión Para Cada Manguera.</i>	288
APÉNDICE.....	302
ÍNDICE	323
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	331

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Manguera lateral con emisores en un viñedo.	3
Figura 2.	Sistema de microrociadores en un huerto de almendros.	3
Figura 3.	Disposición de un sistema de riego por goteo simple.	4
Figura 4.	El concepto de desuniformidad.	16
Figura 5.	La Eficiencia de Riego (ER) cuantifica la división del agua de riego aplicada en usos beneficiosos y usos no beneficiosos.	18
Figura 6.	La Perspicacia de Riego (PR) es una mejor medida del uso racional del agua que la Eficiencia de Riego (ER).	19
Figura 7.	Caso simplificado de una programación de riego “perfecta”.	20
Figura 8.	Lámina infiltrada promedio igual a lámina neta.	21
Figura 9.	Déficit en parte del campo con pérdidas despreciables por evaporación, por rocío y por escorrentía superficial.	21
Figura 10.	Riego en exceso en todo el campo.	22
Figura 11.	Pérdida de energía por fricción vs. longitud para mangueras de goteo de 15,8 mm (0,625”) de diámetro interior para varios caudales y para barbillas de inserción pequeñas.	63
Figura 12.	Fricción relativa para varios diámetros de manguera lateral comparados con la manguera de 15,8 mm (0,625”) de diámetro interno.	64
Figura 13.	Pérdida de energía por fricción vs. longitud para mangueras de goteo de 20,6 mm (0,811”) de diámetro interno y para varios caudales.	65
Figura 14.	Fricción relativa para varios diámetros de manguera lateral comparados con la manguera de 20,6 mm (0,811”) de diámetro interno.	66
Figura 15.	Valores “C” de Hazen-Williams para tres temperaturas del agua.	68
Figura 16.	Valores “C” de Hazen-Williams para tres diferentes geometrías de barbilla de inserción de emisores.	69
Figura 17.	Presiones en los emisores a lo largo de una manguera sobre terreno plano vs. pendiente hacia abajo.	71
Figura 18.	Pérdida de presión combinada vs. longitud del tubo – 3,56 mm (0,140”) de D.I., vinilo, 138 kPa (20 psi) en la base de la cabeza.	73
Figura 19.	Pérdida de presión combinada vs. longitud del tubo – 4,06 mm (0,160”) de D.I., polietileno, 138 kPa (20 psi) en la base de la cabeza.	73
Figura 20.	Pérdida de energía por fricción vs. caudal – 3,55 mm (0,140”) de D.E. en vinilo y 4,064 mm (0,160”) de D.I. en polietileno.	74
Figura 21.	Caudal vs. pérdida de presión (fricción) – 4,445 mm (0,175”) de acoplamiento de barbilla.	74
Figura 22.	Disposición de un sistema de riego, el cual ilustra la clasificación convencional de los segmentos de la tubería.	83
Figura 23.	Disposición de un sistema de riego desde un punto de vista de diseño “holístico.	85
Figura 24.	Zonas posibles <u>aguas abajo</u> de los puntos RP1, RP2 y RP3 de la Figura 23.	86
Figura 25.	Curva hipotética del funcionamiento caudal/presión de un emisor CP.	91
Figura 26.	Características de descarga de un regulador de presión fijo hipotético.	118

Figura 27. Las partículas pequeñas pueden tender un puente sobre un orificio de mayor tamaño.	127
Figura 28. Malla de succión rotativa, autolimpiable. Fotografía cortesía de Lakos Filtration.	129
Figura 29. Separador de arenas.	129
Figura 30. Filtros de arena. Fotografía cortesía de Yardney.	130
Figura 31. Malla de filtrado por gravedad. Fotografía cortesía de Lako Filtration.	130
Figura 32. Filtros de discos. Esquema cortesía de Arkal Filters.	131
Figura 33. Diseño de bandas de malla autolimpiables.	135
Figura 34. Filtro de malla con rebosamiento por gravedad.	136
Figura 35. Dos diseños diferentes de separadores de arena por acción centrífuga.	138
Figura 36. Curvas típicas de pérdida de presión versus caudal para varios tamaños de separadores de arena.	140
Figura 37. Procesos de filtrado y retrolavado en filtros de arena.	142
Figura 38. Tres filtros de arena con sus accesorios.	157
Figura 39. Filtro de discos con capacidad de retrolavado. Exquema cortesía de Arkal Filtration Systems.	166
Figura 40. Equipo típico de inyección de productos químicos para riego agrícola por goteo/microaspersión.	173
Figura 41. Una instalación de “quimigación” con prevención de reflujo.	174
Figura 42. Disposición de un sistema de RGS de bajo costo con reguladores de presión fijos.	211
Figura 43a. Vista en planta del diseño de un bloque pequeño de RGS para hortalizas; en un lote se usan varios bloques.	212
Figura 43b. Diseño (secciones transversales) para conexiones a los múltiples en RGS, en el bloque pequeño de hortalizas de la Figura 43a.	213
Figura 44. Disposición típica de un bloque de RGS de 16,19 has (40 acres) en Sundance Farms, Coolidge, AZ.	214
Figura 45. Disposición de un sistema con línea principal y múltiples portátiles.	215
Figura 46. Opciones de tuberías para riego por goteo en cultivos anuales.	216
Figura 47. Efecto de la colocación de múltiples en terrenos con pendiente, sobre el retrosifoneamiento.	223
Figura 48. Diseño de “bolas”.	238
Figura 49. Forma de las camas utilizadas para la germinación de hortalizas tolerantes a las sales y plantadas a poca profundidad.	239
Figura 50. Presión de entrada vs. longitud para cintas de goteo de 15,9 mm (0,625”) de D.I.	253
Figura 51. Presión de entrada vs. longitud para cintas de goteo de 15,9 mm (0,625”) de D.I.	254
Figura 52. Caudal de entrada vs. longitud para cintas de goteo de 15,9 mm (0,625”) de D.I.	255
Figura 53. Caudal de entrada vs. longitud para cintas de goteo de 15,9 mm (0,625”) de D.I.	256
Figura 54. Requerimientos de caudal de entrada relativos durante el lavado, para cintas de pequeño caudal.	256

Figura 55. Requerimientos de caudal de entrada relativos durante el lavado, para cintas de pequeño caudal.....	257
Figura 56. Raíces extraídas del suelo durante la inyección de mangueras en un huerto de pistacho existente.....	278
Figura 57. Disposición de un viñedo.	284
Figura 58. Configuración de bloques para el viñedo.	289
Figura 59. Dimensiones del Diseño 1 hasta este punto	296
Figura 60. Localización final y diámetros para el Múltiple 2.....	300
Figura 61. Disposición de las líneas de tubería para el Diseño 2.	304
Figura 62. Diámetros de tuberías para el diseño final. Diseño 2.	310
Figura A1. Diseño posibles de microrociadores.....	315
Figura A2. Nomograma de fricción para PVC. CHW=150.....	322

(Esta página se ha dejado intencionalmente en blanco.)

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación de la calidad de fabricación de emisores nuevos.....	25
Tabla 2.	Ejemplo de diferencias espaciales de UD con varios métodos de riego.	26
Tabla 3.	Componentes y factores de la UD para riego por goteo/microaspersión.30	
Tabla 4.	Tabla ejemplo de valores de ET para un área, año y prácticas culturales específicas. Similar al Valle Sureño de San Joaquín en California.	44
Tabla 5.	Porcentaje de cambio de caudal para varios exponentes.....	49
Tabla 6.	Trayectorias típicas de emisores y sus características.	53
Tabla 7.	Índice de uniformidad para microrociadores simples	56
Tabla 8.	Viscosidad cinemática del agua a diferentes temperaturas	60
Tabla 9.	Pérdidas debidas a barbillas de emisores, expresadas en longitud equivalente de manguera.	61
Tabla 10.	Valores “C” de Hazen-Williams.	67
Tabla 11.	Factor de salida múltiple “F” para la ecuación de Hazen-Williams.....	68
Tabla 12.	Valores a utilizar en la estimación de la localización óptima del en un terreno con pendiente.	77
Tabla 13.	Clasificación de diseño holístico para varios segmentos de tubería ilustrados en la Figura 23.....	86
Tabla 14.	Descripción de varios casos <u>aguas abajo</u> de “RPI”, como muestra la Figura 24....	87
Tabla 15.	Estrategias de selección de diámetros de tuberías para usar <u>aguas arriba</u> de los puntos de regulación de presión, “RPI” ilustrados en la Figura 23.	88
Tabla 16.	Estrategias de selección de diámetros de tuberías para usar <u>aguas abajo</u> de los puntos de regulación de presión, “RPI” ilustrados en la Figura 23.	89
Tabla 17.	UD causada solamente por el cv de fabricación (UD_{cv}).....	98
Tabla 18.	Diferencia permisible en presión (kPa) entre emisores en el sistema, expresada como un <u>porcentaje</u> de la presión promedio en el emisor.	100
Tabla 19.	Diferencia permisible en presión (kPa) entre emisores en el sistema, expresada como un <u>porcentaje</u> de la presión promedio en el emisor.	100
Tabla 20.	Diferencia permisible en presión (kPa) entre emisores en el sistema, expresada como un <u>porcentaje</u> de la presión promedio en el emisor.	101
Tabla 21.	Ejemplo de cálculos con una hoja de cálculo.	106
Tabla 22.	Caudales (LPS) a varias velocidades.....	107
Tabla 23.	Caudales (GPM) a varias velocidades.....	107
Tabla 24.	Ejemplo de cálculos con una hoja de cálculo.	109
Tabla 25.	Valores de Factor de Recuperación de Capital.	111
Tabla 26.	Resultados de las pruebas de pérdidas por fricción en microtubos, ITRC, 1999.....	119
Tabla 27.	Valores de las constantes de la ecuación de fricción en microtubos de cualquier longitud.....	120
Tabla 28.	Factores de mejor ajuste para la ecuación de H_f en tubos microtubo en función de L, DI y Q	121
Tabla 29.	Capacidades de flujo de aire requeridas en válvulas de aire.	126
Tabla 30.	Presiones según el tipo de válvula de aire (Burt, 1999).	126

Tabla 31. Tamaños de partículas y tamices y velocidades de sedimentación.....	133
Tabla 32. Tamaños de tamiz y aberturas equivalentes.	145
Tabla 33. Tamaños y tipos típicos de arenas para filtros de arena agrícolas de elevado caudal.	146
Tabla 34. Especificaciones para tanques "típicos" de arena de acero ordinario.....	148
Tabla 35. Requerimientos de caudal de retrolavado típicos para tanques de arena.....	150
Tabla 36. Tasas de caudal de filtrado o de retrolavado en (m ³ /h)/m ² , de filtros de arena para varios caudales de riego.....	152
Tabla 37. Tasas de caudal de filtrado o de en (m ³ /h)/m ² , de filtros de arena para varios caudales de riego.	153
Tabla 38. Tamaños de filtros de arena recomendados para sistemas de emisores y goteros en cultivos anuales, con base en caudales de menores de 91(m ³ /h)/m ² (37 GPM/pie ²).	154
Tabla 39. Guías sobre obstrucción potencial con aguas de diferente calidad (Bucks and Nakayama, 1980).....	170
Tabla 40. Presiones típicas de descarga en bombas para varios métodos de riego.	201
Tabla 41. Respuestas de cultivos anuales observadas en sistemas de goteo de gran escala.	204
Tabla 42. Comparación del consumo de energía por sistemas de goteo en cultivos anuales, con el consumo de energía utilizando otros métodos de riego.	206
Tabla 43. Fuerza en Newtons (N) y en libras (lb) necesaria para afectar la cinta de goteo.	233
Tabla 44. Coeficientes de variación (cv) de caudal en tres clases de cintas populares de 203,2 micras (8 milésimos de pulgada) de espesor de pared.....	234
Tabla 45. Características de descarga de emisores y cintas para varios equipos de goteo en cultivos anuales.....	247
Tabla 46. Pérdida por fricción, con caudales, uniformidad y tiempo de recorrido reales, para una cinta de goteo de 15,9 mm de DI (0,625" de DI).	249
Tabla 47. Pérdida por fricción, con caudales, uniformidad y tiempo de recorrido reales, para una cinta de goteo de 15,9 mm de DI (0,625" de DI).	249
Tabla 48. Pérdida por fricción, con caudales, uniformidad y tiempo de recorrido reales, para una cinta de goteo de 15,875 mm de DI (0,625" de DI).....	250
Tabla 49. Pérdida por fricción, con caudales, uniformidad y tiempo de recorrido reales, para una cinta de goteo de 15,9 mm de DI (0,625" de DI).	250
Tabla 50. Resumen de las respuestas de los productores en la discusión del panel de Salinas en 1992.....	267
Tabla 51. Selección del emisor apropiado y del número de bloques.....	286
Tabla 52. Selección del Diámetro del Múltiple 1, Diseño 1.....	295
Tabla 53. Selección del diámetro de la línea principal. Diseño 1.....	297
Tabla 54. Selección del diámetro del Múltiple 2, Diseño 1.....	298
Tabla 55. Diámetros de tubería para el Múltiple 1, Diseño 2.....	305
Tabla 56. Diseño del Múltiple 2, Diseño 2.....	307
Tabla 57. Hidráulica de la línea principal para el Bloque A (Múltiple 1).	309
Tabla 58. Selección de diámetros de la línea principal para el Bloque B (Múltiple 2).	309
Tabla A1. Patrones posibles de micro-rocadores.	316
Tabla A2. Dimensiones de mangueras de polietileno (adaptadas de Bowsmith Irrigation).	317

Tabla A3. Conversión de unidades del Sistema Internacional al Sistema Inglés.....	318
Tabla A4. Dimensiones de manguera aplanada.	319
Tabla A5. Dimensiones de manguera de polietileno (ovalada) de gran diámetro.....	317
Tabla A6. Dimensiones típicas de tuberías de PVC IPS.	320
Tabla A7. Dimensiones típicas de tuberías de PVC PIP.	321

(Esta página se ha dejado intencionalmente en blanco.)

PRÓLOGO

Antecedentes de este libro

Cal Poly se ha destacado por su filosofía exitosa de combinar las experiencias de “aprenda haciéndolo” y “manos a la obra” con principios científicamente sólidos. Esperamos que el contenido de este libro refleje esta filosofía.

Este libro está dirigido a la gente que necesita conocer detalles prácticos y técnicos relacionados con el diseño, la selección de materiales, la instalación y el manejo de sistemas de riego por goteo y por microaspersión. La información contenida en este libro ha sido recopilada durante años a partir de discusiones con varios centenares de productores, diseñadores de sistemas, instaladores y profesionales. Hemos intentado clasificar y organizar esta información aprovechando nuestras experiencias prácticas y nuestros fundamentos académicos. Nuestro objetivo es ayudar a la gente a acortar la “curva del conocimiento”.

Entre la primera y la segunda ediciones en Inglés transcurrió un espacio de tiempo de tan solo cinco años, debido a la gran velocidad con la cual está cambiando el mundo del riego por goteo y por microaspersión, razón que hizo imperativa la actualización del libro para involucrar en él nuevos hechos y conceptos. Esta primera edición en Español se publica un año después de la segunda edición en Inglés, con el propósito de apoyar la expansión de la frontera agrícola bajo riego por goteo y por microaspersión que está ocurriendo en los países latinoamericanos.

Lo que usted encontrará en este libro

Este libro contiene información valiosa no disponible en cualquier otro libro. Algunos aspectos que se destacan son:

- Detalles acerca de la mayoría de tipos de filtrado, incluyendo hoyos trampa y algunos detalles claves para la instalación.
- Criterios nuevos para el diseño de filtros de arena.
- Criterios nuevos de diseño para determinar caudales de mangueras en sistemas con múltiples de lavado.
- Estrategias nuevas para diseño que involucran un concepto de uniformidad global y las cuales utilizan programas de computadora planillas de cálculo para la hidráulica de las mangueras.
- Sugerencias sobre prevención de obstrucción.
- Una sección amplia sobre goteo enterrado (riego por goteo subsuperficial o RGS) y sobre riego por goteo superficial para cultivos en hileras, la cual incluye detalles sobre selección de espesor de pared de cintas, prevención de

intrusión de raíces, prevención de extravío de mangueras, selección del equipo de instalación y muchos otros aspectos difíciles de encontrar en la literatura.

- Una sección sobre goteo enterrado permanente (RGS) para árboles y vides, la cual es de gran interés en la actualidad.

La información es (i) una mezcla de ideas nuevas desarrolladas por los autores; (ii) una compilación de experiencias de productores, distribuidores y fabricantes y de conocimiento común, y, (iii) algunos datos de artículos y libros publicados.

Hemos utilizado el procedimiento de investigación de diagnóstico para obtener gran parte de esta información. Ello significa que nos hemos desplazado directamente al campo para hablar con los productores y con los distribuidores de equipos de riego quienes han instalado sus propios “lotes de ensayo” y han adaptado rápidamente sus diseños y prácticas para evitar peligros latentes y mejorar los resultados. Estas personas tienen el más alto nivel de interés en los resultados; necesitan sistemas que funcionen adecuadamente de manera tal que se pueda garantizar su permanencia en el negocio. Conviene señalar que los incrementos en producción y los ahorros en agua y en fertilizantes en algunas áreas, son simplemente asombrosos.

Lo que usted no encontrará en este libro

El libro no contiene secciones extensas sobre programación del riego, salinidad y medición del agua; estos son detalles cubiertos ampliamente en muchos libros excelentes y por consiguiente no es necesario duplicarlos. Los lectores pueden encontrar este libro como inusual si se tiene en cuenta que son pocas las referencias sobre artículos técnico-científicos de revistas, informes de investigación de universidades y otras publicaciones. Nuevamente, la información contenida en tales medios está fácilmente disponible para aquellos lectores quienes deseen hacer revisión de literatura. En general, estuvimos más interesados en experiencias dentro de los dominios de la producción agrícola bajo riego y de la distribución de equipos de riego; es usual que ninguno de estos dos aspectos reciba en los libros la atención que merecen.

RECONOCIMIENTOS

Las siguientes personas deben ser reconocidas por sus propias contribuciones a la ingeniería del riego y en particular por el impacto que ellas han tenido sobre el primer autor:

John Merriam, profesor emérito de Ingeniería Agrícola en Cal Poly. El se caracterizó por tener un gran entusiasmo por la ciencia del riego, entusiasmo que dejó una marca imborrable en muchos estudiantes.

Jack Keller, jubilado de Utah State University y Presidente de Keller-Bliesner Engineering. Jack tiene un talento único para combinar la teoría con las experiencias prácticas. Posee además un habilidad fantástica para idear nuevos conceptos. Su libro, *Sprinkle and Trickle Irrigation*, se recomienda en forma especial a los lectores.

H. Mel Wren, exfuncionario de W. R. Ames Company y más tarde copropietario de Wren-Oneal Company en Fresno. La integridad de Mel, su paciencia y las habilidades para el diseño son excepcionales.

Con respecto a las contribuciones en materia de detalles técnicos específicos para la preparación de este libro, es tan grande la lista que si intentáramos enumerarla correríamos el riesgo de no incluir a muchas personas. Matt Andros de Andros Engineering, escribió una sección sobre equipos de instalación para sistemas de riego por goteo en cultivos anuales. Ken Phillips de Yardney, discutió con mucha paciencia detalles sobre filtros de arena. Susanne Gartner constituyó un apoyo esencial en la edición.

El apoyo financiero para la investigación de diagnóstico adelantada por ITRC, fue suministrado por diversas entidades durante varios años. La “California Energy Commission” constituyó el principal apoyo, aunque se contó además con la contribución de “PG&E” y de “California DWR” en puntos claves de la primera edición en Inglés. La segunda edición en Inglés y la primera edición en Español han sido apoyadas financieramente tanto por la “California Energy Commission”, como por la “US Bureau of Reclamation, Mid-Pacific Region”, y “T-Systems International”.

(Esta página se ha dejado intencionalmente en blanco.)