

Contenido

Índice de Tablas.....	VI
Índice de Figuras	VII
1. Introducción y objetivos.....	1
2. Elección de la parcela	2
3. Búsqueda de la información sobre los suelos.....	5
4. Obtención y manipulación de los datos climáticos.....	10
Obtención de datos del SAR de la Junta de Andalucía.....	10
Obtención de la ET ₀ en invernadero	18
5. Datos del cultivo.....	20
Datos para el cultivo de uva de mesa.....	20
Datos para el cultivo del olivo	22
Datos para el cultivo del calabacín	24
6. Fracción de lavado.....	25
7. Limitaciones legales al regadío.....	27
8. Utilización del programa CROPWAT.....	28
Descarga de los programas	28
Programa CLIMWAT	29
Programa CROPWAT	31
9. Disposición de los emisores	47
10. Organización de los sectores de riego	48
11. Caracterización del emisor.....	49
12. Determinación de la tolerancia de presiones admitida.....	51
13. Dimensionado de las tuberías	52
Dimensionado de la tubería portagoteros	53
Dimensionamiento de la tubería general	55
Resumen de los diámetros escogidos para todas las parcelas	55
14. Red de distribución interna de la finca.....	58
15. Elección de los elementos del cabezal	61
Filtro de arena	61
Filtro de malla	62
Válvula reductora de presión	63
Fertilizador tipo Venturi.....	64
Selección de la bomba	65
Opción1: Instalar 1 bomba	66
Opción 2: Instalar 2 bombas en serie	66
Opción 3: Instalar 2 bombas en paralelo	66
16. Simulación del cabezal con <i>Epanet</i>	67
Sistema con dos bombas iguales en serie	67
Sistema con dos bombas en serie diferentes	67
Bomba 1	68

Bomba 2	69
17. Presupuesto	70
Cuadro de precios unitarios	70
Mediciones y presupuesto	83
Resumen general de presupuesto	85
19. Pliego de condiciones	86
Unidad de obra 01: gotero	86
Unidad de obra 02: tubería de riego por goteo (10 mm)	86
Unidad de obra 03: tubería de riego por goteo (13.5 mm)	87
Unidad de obra 04: tubería de distribución (28 mm)	87
Unidad de obra 05: tubería de distribución (55.4 mm)	88
Unidad de obra 06: tubería de distribución (66 mm)	89
Unidad de obra 07: tubería de distribución (79.5 mm)	90
Unidad de obra 08: filtro de arena	91
Unidad de obra 09: filtro de anillas	91
Unidad de obra 10: válvula reductora de presión	92
Unidad de obra 11: inyector tipo venturi	92
Unidad de obra 12: bomba centrífuga vertical	93
Unidad de obra 13: bomba centrífuga horizontal	93
20. Referencias	95
21. Enlaces en la Web	96
Anexo I Propiedades del suelo en función de la textura	97
Propiedades de los suelos para el modelo de Brooks y Corey conocida la textura, 1.5% de materia orgánica y 0.6 meq/g de capacidad de intercambio catiónico de la arcilla.	97
Propiedades de los suelos para el modelo de Brooks y Corey conocida únicamente la textura.	98
Anexo II Tolerancia a las sales de algunos cultivos	99
Anexo III medida de la permeabilidad	100
Material	100
Procedimiento de determinación de k	101
Anexo IV Medida de la infiltración del agua en suelos	102
Breve recordatorio de la infiltración	102
Material necesario	105
Procedimiento:	105
Anexo V Medida de la curva de retención del suelo	106
Estimación de las propiedades del suelo a partir de la textura	106
Curvas de humedad tensión y permeabilidad-tensión	107
Materiales necesarios	108
Procedimiento	108
Ajuste de los datos	109
Anexo VI Información climática adicional	110
Valores medios anuales del año natural	110

Valores medios anuales del año hidrológico.....	113
Anexo VII Cálculo hidráulico de las tuberías de riego.....	117
Pérdidas de carga	117
Ramales de riego a presión.....	118
Proceso de diseño de ramales de riego.....	119
Anexo VIII Criterios para el diseño del cabezal de riego.....	122
Filtros.....	122
Filtro de arena.....	122
Filtro de anillas	122
Fertilizadores.....	123
Elementos de impulsión	124
Curvas características de las bombas	126
Caudal y altura manométrica de la bomba $H(Q)$	126
Caudal y potencia absorbida en el eje de la bomba $P(Q)$	126
Caudal y rendimiento de la bomba $\eta(Q)$	127
Selección del equipo. Determinación del punto de funcionamiento.	127
Sistemas complejos de impulsión	128
Sistema de bombas en serie	128
Sistemas de bombas en paralelo	128

Índice de Tablas

Tabla 1 Resultados para un perfil tipo de Xerosol cálcico (Fuente: LUCDEME)	8
Tabla 2 Resultados para un perfil tipo de Fluvisol calcárico (Fuente: LUCDEME)	8
Tabla 3 Resumen de características de los suelos encontrados	8
Tabla 4 Propiedades hidráulicas de los suelos encontrados.....	8
Tabla 5 Curvas de retención de los suelos encontrados.....	9
Tabla 6 propiedades de los suelos para incluir en CROPWAT	9
Tabla 7 Datos medios del año natural	14
Tabla 8 Obtención del año mediana considerando la precipitación.....	16
Tabla 9 Valores mensuales medios	17
Tabla 10 Fases del cultivo de la uva de mesa.....	20
Tabla 11 Valores del coeficiente de cultivo en uva.....	20
Tabla 12 Diámetro mojado por un emisor en función del tipo de suelo	47
Tabla 13 Resumen los goteros y tiempos de riego seleccionados	47
Tabla 14 Cotas medidas en el mapa	48
Tabla 15 Resumen de las características geométricas de las parcelas seleccionadas.....	48
Tabla 16 Resumen de los valores calculados de tolerancia de presiones en cada cultivo	51
Tabla 17 Aspecto de un catálogo para tubería de PE 32, de 2,5 bares.....	52
Tabla 18 Aspecto de un catálogo para tubería de PE 32, de otras presiones.....	52
Tabla 19 Datos para el diseño del sector, estructurados en un hoja Excel.....	53
Tabla 20 Resumen de datos de la tubería portagoteros.....	54
Tabla 21 Determinación de h_{max} y h_{min} para cada tubería comercial	54
Tabla 22 selección de un diámetro comercial	54
Tabla 23 Resumen de valores de partida para la tubería portarramales.....	55
Tabla 24 Determinación de h_{max} y h_{min} para cada tubería comercial. Portaramales.....	55
Tabla 25 selección de una tubería comercial. Portaramales	55
Tabla 26 Tabla resumen de los diámetros encontrados para cada subparcela.....	56
Tabla 27 Resumen de elementos de cada parcela.....	57
Tabla 28 Diámetros y longitudes de la red de distribución interna.....	60
Tabla 29 Especificaciones técnicas del filtro de arena.....	61
Tabla 30 Características técnicas del filtro AZUD MODULAR 100.....	62
Tabla 31 Especificaciones técnicas de la electroválvula reductora de presión.....	63
Tabla 32 Ficha técnica de los inyectoros tipo Venturi.	64
Tabla 33 Pérdidas de carga del sistema y Altura útil de la bomba.	65
Tabla 34 Curva de la bomba PZ-63-20/2.....	65
Tabla 35 Curva característica de la bomba	66
Tabla 36 Curva característica de la bomba	68
Tabla 37 Curva característica de la bomba 2.....	69
Tabla 38 Densidad aparente $\delta_a(g/cm^3)$	97
Tabla 39 Porosidad θ	97
Tabla 40 Humedad residual θ_r	97
Tabla 41 Conductividad hidráulica (cm/h) k_s	97
Tabla 42 Presión de burbujeo en los capilares del suelo, $\psi_b(cm)$	98
Tabla 43 Índice de poros, λ	98
Tabla 44 Humedad residual (Brooks y Corey) θ_r	98
Tabla 45 Conductividad hidráulica en saturación (Brooks y Corey) $k_s(cm/h)$	98
Tabla 46 Tolerancia a las sales de cultivos agrícolas comunes. (fuente FAO 56 Crop evapotranspiration)	99
Tabla 47 Parámetros de la expresión de infiltración del SCS según familias de infiltración I_f	103
Tabla 48 Algunos valores de k_a , en función del tipo de material	118

Índice de Figuras

Figura 1 Identificación de la parcela escogida (Fuente: Google Earth)	2
Figura 2 Selección de la parcela a partir de datos de catastro (Fuente: Catastro).....	3
Figura 3 Importar capas dxf en QGIS.....	3
Figura 4 selección del tipo de capa a importar	4
Figura 5 perfil de las parcelas seleccionadas.....	4
Figura 6 Aspecto de la pantalla de acceso a REDIAM	5
Figura 7 Información sobre suelos contenida en REDIAM.....	5
Figura 8 Descarga de información ambiental	6
Figura 9 Incorporación del mapa de suelos a QGIS.....	6
Figura 10 Herramienta de recorte de un mapa vectorial en QGIS.....	7
Figura 11 Suelos del entorno de las parcelas seleccionadas (Fuente: LUCDEME).....	7
Figura 12 Pantalla de entrada a las estaciones agroclimáticas del SAR.....	10
Figura 13 Selección de una estación agroclimática	10
Figura 14 Datos generales de la estación	11
Figura 15 Datos disponibles y selección de la descarga.....	11
Figura 16 Aspecto general de los datos descargados	12
Figura 17 Cambiar puntos por comas para adecuar el sistema de decimales.....	12
Figura 18 Determinación del año, mes y día a partir de la fecha	13
Figura 19 Uso de la función <code>promedio.si</code>	13
Figura 20 Evolución de la precipitación anual y tendencia.....	14
Figura 21 Evolución de la Evapotranspiración anual y tendencia	15
Figura 22 Evolución del índice de aridez y tendencia	15
Figura 23 Evolución de la temperatura máxima diaria en un año cualquiera y en el año promedio.....	17
Figura 24 Aspecto de tabla de datos diarios de ET ₀ (mm/día).....	18
Figura 25 Aspecto de tabla de datos diarios de Precipitación (mm/día)	18
Figura 26 Comparación de la ET ₀ dentro y fuera de un invernadero tipo Almería	19
Figura 27 Aspecto de tabla de datos diarios de ET ₀ (mm/día) dentro de invernadero	19
Figura 28 Evolución de la productividad en función del riego para uva de mesa	21
Figura 29 Aplicación del modelo de Doorenbos y Kassam a los datos de uva de mesa.....	21
Figura 30 Aspecto de la pantalla de acceso al trabajo de Iniesta et al (2009).....	23
Figura 31 Productividad en función del riego para olivo.....	23
Figura 32 Aplicación del modelo de Doorenbos y Kassam a los datos del olivo.....	24
Figura 33 Ejemplo de análisis de agua para riego (Fuente: Miteco.gov.es)	25
Figura 34 Dotaciones máximas de riego previstas en el PHC mediterránea Andaluza (Fuente: Planes hidrológicos de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas)	27
Figura 35 Aspecto de la pantalla de descarga del modelo CROPWAT de FAO	28
Figura 36 Botón de descargas.....	28
Figura 37 Icono del archivo comprimido de CROPWAT para Windows	28
Figura 38 Aspecto de la pantalla de descargas de CLIMWAT	29
Figura 39 Botón de descargas de CLIMWAT.....	29
Figura 40 Icono del archivo CLIMWAT comprimido.....	29
Figura 41 Acceso directo de CLIMWAT.....	30
Figura 42 Selección de país en CLIMWAT	30
Figura 43 Selección de la estación meteorológica	30
Figura 44 Selección de la carpeta de destino de los datos para exportar	31
Figura 45 Acceso directo para CROPWAT.....	31

Figura 46 Pantalla de inicio en CROPWAT.....	31
Figura 47 Cambiar opciones en CROPWAT.....	32
Figura 48 Pantalla para poner los datos climáticos.....	32
Figura 49 Pantalla de selección de una estación meteorológica en CROPWAT.....	33
Figura 50 Datos climáticos incorporados desde un archivo.....	33
Figura 51 Pantalla de datos climáticos diarios para CROPWAT.....	34
Figura 52 Pantalla de datos de precipitación mensual.....	34
Figura 53 Pantalla de datos de precipitación diaria.....	34
Figura 54 Pantalla de datos de cultivo.....	35
Figura 55 Pantalla de datos de suelo.....	35
Figura 56 Datos de suelo para CROPWAT.....	35
Figura 57 Selección de la estrategia de riego.....	36
Figura 58 Cuando regar.....	36
Figura 59 Cuanto regar.....	37
Figura 60 Eficiencia de riego.....	37
Figura 61 Cálculo de las necesidades del cultivo.....	38
Figura 62 Necesidades del cultivo.....	38
Figura 63 Pantallas minimizadas.....	38
Figura 64 opciones de cálculo.....	38
Figura 65 Calendario de cultivo.....	38
Figura 66 Necesidades totales del cultivo de uva de mesa.....	39
Figura 67 Evolución del agotamiento del agua en el suelo para el cultivo escogido.....	39
Figura 68 Estrategia de RDC para repartir el agua de riego con un límite legal.....	40
Figura 69 Consumo final de agua de riego.....	40
Figura 70 Pantalla de selección del día concreto para dar una lámina extra.....	41
Figura 71 Evolución del agua en el suelo con la estrategia escogida.....	41
Figura 72 Consumo final con la estrategia de riego escogida.....	41
Figura 73 Datos agronómicos para el olivo.....	42
Figura 74 Datos de suelo para Xerosol cálcico.....	42
Figura 75 Estrategia de RDC para olivo.....	42
Figura 76 Consumos finales para obtener una lámina de riego aproximada de 270 mm.....	43
Figura 77 Evolución del agua en el suelo para olivo con la estrategia escogida.....	43
Figura 78 Modo de definir un cultivo que no utiliza precipitación.....	43
Figura 79 ET ₀ en invernadero, calculada a partir de la ET ₀ exterior.....	44
Figura 80 Datos del cultivo de calabacín.....	44
Figura 81 Estrategia de riego para calabacín de invernadero.....	44
Figura 82 Consumo total de agua de riego en calabacín de invernadero.....	45
Figura 83 Parcelas seleccionadas para cada cultivo.....	46
Figura 84 Patrón de cultivos para la finca seleccionada.....	46
Figura 85 Necesidades de la finca completa.....	46
Figura 86 División en subparcelas de la finca completa.....	48
Figura 87 Aspecto del cuadro de selección de emisores de un catálogo comercial.....	49
Figura 88 Perfil de presiones en la tubería portagoteros.....	54
Figura 89 Distribución de presiones en la tubería portarramales.....	55
Figura 92 Disposición final de las parcelas y red interna de distribución.....	56
Figura 91 Aspecto de la pantalla de referencia topográfica de la imagen.....	58
Figura 92 Imagen del programa Epanet de las parcelas seleccionadas.....	58
Figura 93 Nudos de la red interna, cota (m) y demanda (l/s).....	59

Figura 94 Aspecto de la imagen de un patrón de funcionamiento de los nudos	59
Figura 95 Numeración de las tuberías necesarias	60
Figura 96 Relación pérdidas de carga y caudal para el filtro escogido.....	61
Figura 97 Relación entre la pérdida de carga y el caudal en filtro de malla.	62
Figura 98 Relación entre la pérdida de carga y el caudal en Filtro de anillas.....	63
Figura 99 Relación entre la pérdida de carga y el caudal.....	64
Figura 100 Ficha técnica de la Bomba Centrífuga.....	65
Figura 101 Curva característica de la bomba H(Q).....	66
Figura 102 Detalle del cabezal en Epanet	67
Figura 103 Colocación de una válvula reductora en Epanet	67
Figura 104 Aspecto de la red completa	67
Figura 105 Ficha técnica de la Bomba Centrífuga.....	68
Figura 106 Curva característica de la bomba 1 H(Q).....	68
Figura 107 Ficha técnica de la Bomba Centrífuga.....	69
Figura 108 Curva característica de la bomba 2	69
Figura 109 Fotografía de un equipo de medida de la permeabilidad	100
Figura 110 Esquema de permeámetro horizontal	100
Figura 111 Proceso de infiltración según el modelo de Green y Ampt	102
Figura 112 Familias de Infiltración del S.C.S	104
Figura 113 Aspecto de un infiltrómetro de doble anillo	104
Figura 114 Tensiómetro hidráulico, tensiómetro de bloque de yeso	106
Figura 115 Aspecto de una sonda capacitiva	106
Figura 116 Ejemplo de curva de retención del suelo.....	107
Figura 117 Dispositivo de medida de la tensión y el peso de un suelo.....	108
Figura 118 Curvas de retención para estratos de suelo típicos de invernadero. Ajustados a la Curva de Van Genuchten.....	109
Figura 119 Ramal de riego con n salidas iguales	119
Figura 120 Valores de C para los diferentes casos de interés en un ramal de riego	120
Figura 121 Punto de funcionamiento de un bomba para un cierto sistema hidráulico.....	127
Figura 122 Punto de funcionamiento para un sistema con válvula.....	128