

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 |