

*“MEDIDA DEL BALANCE HIDRICO Y ESTIMACION DEL
COEFICIENTE K_c EN FINCAS DE LA VEGA BAJA DEL
SEGURA PARA LA MEJORA DE LA PROGRAMACION DE
RIEGOS UTILIZANDO TÉCNICAS DE RIEGO DEFICITARIO
CONTROLADO”*

Eduardo Sacristán Beltri

REFERENCIAS AL TRABAJO FINAL DE CARRERA

IDENTIFICACIONES:

- Autor: Eduardo Sacristán Beltri
- Título: Medida del balance hídrico y estimación del coeficiente Kc en fincas de la Vega Baja del Segura para la mejora de la programación de riegos utilizando técnicas de riego deficitario controlado.
- Director del T.F.C:
- Codirector T.F.C:
- Año: 2008
- Titulación: Ingeniero Agrónomo

PALABRAS CLAVE

- Tipo de trabajo: Investigación
- Palabras clave: Riego, sensor FDR, balance de agua, coeficiente de cultivo, evapotranspiración, humedad volumétrica, agua, riego, naranjo, mandarino, programación de riegos, etc.

OTROS DATOS

- N° tablas: 23
- N° figuras: 50

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es realizar un estudio detallado de la situación del riego en tres fincas de Alicante y Murcia. Para ello se tomaron datos de humedad volumétrica en suelo durante un periodo de dos años y se instalaron contadores volumétricos de agua al principio del lateral de riego que alimenta a los emisores que regaban los árboles. Mediante los datos de campo y los datos meteorológicos se hizo un balance de agua en el suelo para obtener el coeficiente de evapotranspiración del cultivo (K_c). Paralelamente, junto con los datos antes citados y las recomendaciones de riego que proporciona el Servicio de Información Agraria de Murcia (S.I.A.M.) del Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (I.M.I.D.A.) y el Instituto Valenciano de investigaciones agrarias (I.V.I.A.) se evaluó el manejo del riego que llevan a cabo los agricultores de dichas fincas. Finalmente se prepararon dos calendarios de riego basados en estrategias de riego deficitario controlado para ponerlos a disposición del agricultor.

Índice de contenidos

1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1 Generalidades sobre el cultivo del naranjo y del mandarino.....	10
1.1.1 El naranjo dulce común.....	10
1.1.2 El mandarino.....	11
1.1.3 Descripción de algunas variedades de interés:	14
1.1.3.1 Naranjos:.....	14
1.1.3.2 Mandarinos:.....	18
1.2 Situación actual de los cítricos en el mundo.....	22
1.2.1 Superficie cultivada.....	22
1.2.2 Producción.....	22
1.2.3 Situación del cultivo de cítricos en España.....	24
1.2.4 Distribución de variedades en España.....	27
1.2.5 Evolución de los precios en origen.....	28
1.2.6 Evolución de los rendimientos de cultivo.....	31
1.3 Necesidades de agua y programación de riegos en cultivos de cítricos.....	32
1.3.1 El método FAO-56.....	34
1.3.1.1 Factores que determinan el coeficiente de cultivo.....	37
1.3.2 El balance de agua.....	41
1.3.3 Programación de riegos en los cultivos de cítricos.....	43
1.4 El riego deficitario controlado (RDC) en cítricos.....	45
1.4.1 Visión general del RDC:.....	45
1.4.2 Efecto del déficit hídrico sobre la fisiología de los frutales.....	51
1.4.3 Factores que condicionan la elaboración de estrategias de RDC:	52
1.4.4 Manejo del riego deficitario controlado.....	57
1.5 El agua en el suelo.....	61
1.5.1 Medida de la humedad en el suelo.....	61
1.5.2 El agua contenida en el suelo.....	63
1.5.3 Clasificación textural de los suelos.....	66
1.5.4 Curvas características.....	69
2. OBJETIVOS.....	71
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	73
3.1. Descripción de las fincas y los cultivos de los seguimientos.....	74
3.1.1. Finca “Paraje el Moco”.....	74
3.1.2. Finca “Sicilia”.....	75
3.1.3. Finca “Las Paleras”.....	75
3.2 Cálculo de las necesidades de agua y de la programación de riego óptima de los cultivos en seguimiento, método de la FAO.....	78
3.2.1. Duración de las etapas de crecimiento.....	80
3.2.2. Coeficientes de cultivo.....	80
3.2.3. Modificación de los coeficientes de cultivo.....	81
3.2.4. La curva de Kc.....	82
3.2.5 Cálculo de la programación óptima de riego.....	83
3.3 Medida del contenido en agua del suelo.....	83
3.3.1 Instalación de los tubos de acceso:.....	84

3.3.2 La calibración de la sonda FDR.....	85
3.3.3 Radio de influencia del sensor.....	92
4. RESULTADOS.....	96
4.1 Evolución del contenido en agua del suelo de las parcelas.....	96
4.2 Comparación entre la ETc calculada (método FAO) y medida (balance de agua).	105
4.2.1 ETc calculada según el método FAO.....	105
4.2.1.1 Finca "Paraje El Moco".....	106
4.2.1.2 Finca "Sicilia" y finca "Las Paleras".....	107
4.2.2 Comparación entre la ETc calculada y la ETc medida mediante el balance de agua.....	109
4.3. Necesidades de riego calculadas y riego efectivo de las parcelas.....	114
4.4 Programación de riegos teórica para las parcelas estudiadas.....	118
4.5 Propuesta de programación de riegos usando la técnica RDC.....	124
4.6 Comparación entre la productividad real y la teórica alcanzable máxima.....	133
5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	136
6. BIBLIOGRAFÍA.....	139

Índice de figuras

Figura 1-1. Evolución de la superficie mundial dedicada al cultivo de naranja y mandarina durante el período 1990 – 2004.....	21
Figura 1-2. Evolución de la producción mundial de naranjas y mandarinas durante el período 1990 – 2004.....	22
Figura 1-3. Evolución del cultivo de los cítricos en España durante los últimos cinco años.....	23
Figura 1-4. Evolución de la superficie destinada al cultivo de naranjas en las principales CCAA productoras.....	24
Figura 1-5. Evolución de la superficie destinada al cultivo de mandarinas en las principales CCAA productoras.....	25
Figura 1-6. Evolución del precio de la naranja en origen desde 1990 hasta 2005.....	26
Figura 1-7. Evolución del precio de la mandarina en origen desde 1990 hasta 2005.....	28
Figura 1-8. Evolución de los rendimientos de cultivo en naranja desde 1990 hasta 2005.	28
Figura 1-9. Evolución de los rendimientos de cultivo en mandarina desde 1990 hasta 2005.....	29
Figura 1-10 Etapas de desarrollo de los diferentes cultivos.....	38
Figura 1-11 Balance de agua de la zona radicular.....	41
Figura 1-12. Ejemplo de gráfico de programación de riegos para un cultivo de cítricos elaborado con el programa CropWat de la FAO.....	42
Figura 1-13 Principales estados fenológicos.....	46
Figura 1-14 Fases de crecimiento del fruto en Australia.....	48
Figura 1-15 Riego aplicado y ahorro de agua con RDC.....	56
Figura 1-16 Riego aplicado y producción con RDC.....	57
Figura 1-17 Diagrama triangular de texturas.....	63
Figura 1-18 La histéresis.....	65
Figura 3-1. Esquema de localización de los tubos de acceso en el marco de plantación.	71
Figura 3-2 Curva tipo del coeficiente de cultivo.....	76

Figura 3-3 Characteristics of the test soils.....	80
Figura 3-4 Zonas de influencia del sensor.....	82
Figura 3-5 Volúmenes de suelo en el marco de plantación.....	83
Figura 4-1. Evolución del promedio de la humedad en el total del perfil de suelo explorado en la finca N1.....	86
Figura 4-2. Evolución de la humedad medida en capas de 10cm de altura en el tubo #1 situado fuera del área del emisor.....	87
Figura 4-3. Evolución de la humedad medida en capas de 10cm de altura en el tubo #2 situado bajo el emisor.....	87
Figura 4-4. Precipitación diaria ocurrida durante los dos años de mediciones.....	88
Figura 4-5. Evolución del promedio de la humedad en el total del perfil de suelo explorado en la finca M1.....	89
Figura 4-6. Evolución de la humedad medida en capas de 10cm de altura en el tubo #8 situado bajo el emisor.....	89
Figura 4-7. Evolución de la humedad medida en capas de 10cm de altura en el tubo #7 situado fuera del área del emisor.....	90
Figura 4-8. Evolución del promedio de la humedad en el total del perfil de suelo explorado en la finca M3.....	91
Figura 4-9. Evolución de la humedad medida en capas de 10cm de altura en el tubo #20 situado bajo el emisor	91
Figura 4-10. Evolución de la humedad medida en capas de 10cm de altura en el tubo #19 situado fuera del área del emisor.....	92
Figura 4-11. Evolución del coeficiente de evapotranspiración del cultivo, de ETo y de ETc para un cultivo que cubre el 70% del área de cultivo en el año 2006.....	93
Figura 4-12. Evolución del coeficiente de evapotranspiración del cultivo, de ETo y de ETc para un cultivo que cubre el 70% del área de cultivo en el año 2007.....	94
Figura 4-13. Relación entre la velocidad del viento y el coeficiente de evapotranspiración del cultivo en el año 2006.....	94
Figura 4-14. Evolución del coeficiente de evapotranspiración del cultivo, de ETo y de ETc para un cultivo que cubre el 20% del área de cultivo en el año 2006.....	95
Figura 4-15. Evolución del coeficiente de evapotranspiración del cultivo, de ETo y de	

ETc para un cultivo que cubre el 20% del área de cultivo en el año 2007.....	96
Figura 4-16. Evolución del coeficiente de cultivo para la finca N1.....	98
Figura 4-17. Evolución del coeficiente de cultivo para la finca M1.....	98
Figura 4-18. Evolución del coeficiente de cultivo para la finca M3.....	98
Figura 4-19. Gráfico comparativo entre el riego aplicado por el agricultor, el riego calculado y las recomendaciones del S.I.A.M. para la finca “N1”.....	99
Figura 4-20. Gráfico comparativo entre el riego aplicado por el agricultor, el riego calculado y las recomendaciones del S.I.A.M para la finca “M1”.....	101
Figura 4-21. Gráfico comparativo entre el riego aplicado por el agricultor, el riego calculado y las recomendaciones del S.I.A.M. para la finca “M3”.....	102
Figura 4-22. Dosis mensuales de riego en la finca “N1” usando estrategias de RDC...	110
Figura 4-23. Dosis mensuales de riego en la finca “M1” usando estrategias de RDC..	110
Figura 4-24. Dosis mensuales de riego en la finca “M1” usando estrategias de RDC..	111
Figura 4-25. Gráfico del análisis del manejo del riego en “N1”.....	117
Figura 4-26. Gráfico del análisis del manejo del riego en “M1”.....	118
Figura 4-27. Gráfico del análisis del manejo del riego en “M3”.....	119

Índice de tablas

Tabla 1-1. Principales países productores de cítricos (miles de tn).....	23
Tabla 1-2. Evolución del cultivo de naranjo y mandarino en España durante los últimos cinco años.	24
Tabla 1-3. Distribución de variedades de naranjo y mandarino plantados en España.....	26
Tabla 1-4. Estados fenológicos en la evolución del fruto.....	43
Tabla 1-5. Estados fenológicos generales en la evolución del fruto.....	52
.....	52
Tabla 1-6 Comparativa de tratamientos de RDC.....	53
Tabla 1-7 Clases texturales.....	61
Tabla 3-1. Resumen de las características de las finas estudiadas.....	69
Tabla 3-2 Duración de las etapas de crecimiento.....	71
Tabla 3-3 Valores de los coeficientes de cultivo para cítricos sin cobertura vegetal.....	72
Tabla 3-4 Ecuaciones de calibrado y densidades medias del suelo.....	77
Tabla 4-1. Resultados de los cálculos de evapotranspiración.....	95
.....	95
Tabla 4-2. Comparación entre los coeficientes de cultivo medidos en el balance de agua y los estimados mediante el método de la FAO.....	96
.....	96
Tabla 4-3 Comparativa entre la dosis aplicada por el agricultor y las recomendaciones del S.I.A.M. y del ParLoc para la finca “N1”.....	99
Tabla 4-4. Comparativa entre la dosis aplicada por el agricultor y las recomendaciones del S.I.A.M. y del ParLoc para la finca “M1”.....	100
.....	101
Tabla 4-5. Comparativa entre la dosis aplicada por el agricultor y las recomendaciones del S.I.A.M. y del ParLoc en la finca “M3”.....	102
Tabla 4-6. Programación de riegos semanal para la finca “N1”.....	103
Tabla 4-7. Programación de riegos semanal para la finca “M1”.....	104
Tabla 4-8. Programación de riegos semanal para la finca “M3”.....	106

Tabla 4-9. Programación de riego para la finca N1 aplicando estrategias de RDC.....110
Tabla 4-10. Programación de riego para la finca M1 aplicando estrategias de RDC....112
Tabla 4-11. Programación de riego para la finca M1 aplicando estrategias de RDC....114

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades sobre el cultivo del naranjo y del mandarino

1.1.1 El naranjo dulce común.

El naranjo dulce común (*Citrus sinensis*) es la especie más importante y difundida de las que componen el género *Citrus*, que cuenta con otras especies frutales de gran consumo como el limonero, el mandarinos y el pomelo. Es un árbol que puede alcanzar los ocho metros de alto, de tallo arbóreo y copa compacta, con las ramas guarnecidas de espinas.

Las hojas son agudas, ovales u oblongas y algunas veces dentadas. Las flores, blancas y perfumadas. Los frutos, esféricos o achatados, rara vez terminan en punta y son mamelonados en algunas variedades. La corteza, de color amarillo dorado, ligeramente rojiza, es rugosa al tacto a causa de las vejigas convexas que contienen la esencia. Es más fina en el naranjo dulce que en las variedades amargas. La pulpa es abundante y jugosa, azucarada (agridulce) y muy sabrosa.

La fruta comienza a madurar en otoño. El árbol inicia la floración entre abril y mayo, aunque la misma planta puede producir una segunda floración tardía. La recolección empieza en enero y se prolonga hasta mediados de año, según la zona de cultivo y la precocidad de las variedades. Una planta adulta en buenas condiciones y recibiendo los cuidados culturales oportunos (abonado y riegos principalmente) puede proporcionar hasta 400 ó 500 naranjas, lo que supone una producción global de 15 a 20 tn. por ha.

La clasificación hortícola de las distintas variedades de naranjas suele hacerse tomando como referencia los tipos y características de los frutos, lo que permite distinguir cuatro grupos principales: “*navel*”, “*blancas*”, “*sanguinas*” y “*sin acidez*”.

Las naranjas del grupo “*Navel*” se caracterizan por la presencia de un fruto pequeño y rudimentario que se forma en el ápice de la naranja, en la zona pistilar, y que se denomina precisamente “navel” (en inglés “ombbligo”). Son naranjas precoces, de pulpa crujiente y muy sabrosa, cuya corteza se desprende fácilmente y los gajos se separan sin dificultad. El zumo es difícil de conservar, y no es apto para preparaciones

industriales ya que con el tiempo adquiere un sabor amargo.

Los naranjos “Navel” resisten bastante bien las heladas, y se cultivan principalmente en las zonas de clima continental seco. Dan resultados mediocres en climas tropicales, semitropicales húmedos y en climas desérticos, excesivamente calurosos. Las principales regiones de cultivo se localizan en California, Brasil, España, Marruecos, Argelia, África del Sur y Australia.

Una de las principales características vegetativas de los naranjos “Navel”, estriba en su acusada inestabilidad genética, que origina frecuentemente mutaciones, las cuales constituyen las distintas variedades que reúne este grupo. El progenitor original es la famosa variedad “Washington Navel”, obtenida a finales del siglo IX en los invernaderos del Centro Agrícola de Washington a partir de un grupo de árboles injertados procedentes de Brasil.

“*Navelina*” es la variedad “Navel” más cultivada en España y la que corresponde a la finca de naranjos estudiada, deriva probablemente de otra variedad californiana (“Smit S. Early Navel”). El árbol de la “navelina” es bastante más pequeño y menos vigoroso que el anterior, y el verde de las hojas es más intenso. Los frutos, de piel lisa y de color anaranjado oscuro, aventajan a los Washington en precocidad, y la recolección tiene lugar de octubre a enero.

1.1.2 El mandarino.

El mandarino (*Citrus reticulata*) puede adaptarse a climas muy variados, resiste el frío y las temperaturas altas mucho mejor que el naranjo. Le supera también en productividad, puesto que la fructificación es más abundante. Aunque sería erróneo comparar la rentabilidad de ambas especies, en términos absolutos, sin tener en cuenta que la vida del mandarino es más corta que la de los naranjos.

La planta es un arbolillo de estatura pequeña de dos ó tres metros de altura, con la copa poco extendida y muy espesa, que en las podas requiere un aclarado intenso en las ramas. Las hojas son lanceoladas, poco desarrolladas y de color verde. Fuertemente perfumadas, desprenden un olor penetrante fácil de reconocer. Las flores son pequeñas y

muy blancas.

El sabor que caracteriza al fruto del mandarino se debe a los azúcares que se sintetizan en las hojas. Como el árbol tiende por su propia naturaleza a cargarse de follaje, si la estación discurre favorablemente, acaba sobrecargado de fruta, con lo que la masa foliar no puede suministrar los azúcares necesarios. En estas condiciones, aunque la cosecha pueda ser excelente por la cantidad de producto obtenido, la fruta siempre resultará insípida. De ahí la importancia que para esta especie tienen las podas anuales, que efectuándose para lograr un equilibrio controlado de la producción, influyen al mismo tiempo y de un modo muy directo en la calidad de los frutos.

Los mandarinos alcanzan distintos tamaños según las variedades, aunque siempre son de calibre medio o pequeño, redondeadas y globosas, aplastadas en ambos extremos. La corteza, de color rojo anaranjado, es delgada y poco adherente. Se separa de la pulpa con gran facilidad cuando el fruto está maduro. La pulpa es rojiza, perfumada y azucarada, de agradable sabor. Maduran de diciembre a mayo y no es conveniente demorar la recolección puesto que los frutos se conservan poco tiempo en el árbol.

Además de su aprovechamiento como fruto fresco estacional se utiliza también la corteza para la extracción de los aceites esenciales, que se emplean para la fabricación de licores.

El tamaño de los frutos está muy condicionado por el clima, pero también por el tipo de suelo y por los cuidados culturales que reciben las plantaciones. El mandarino es uno de los cítricos más sensibles a las condiciones ecológicas, hasta tal extremo que los frutos no sólo presentan una gran diversidad entre las plantas de la misma variedad cultivadas en comarcas o puntos distintos, sino que incluso cuando proceden de la misma planta pueden modificar el calibre y el aspecto de un año a otro.

La mandarina “Clementina” se trata de un híbrido de mandarino y naranjo granito. Apareció en los mercados europeos a mediados del siglo pasado, siendo objeto de una excelente acogida por parte de los consumidores. A partir de entonces se introdujo en muchas regiones mediterráneas dedicadas tradicionalmente a los agrios, principalmente en Marruecos, Argelia, España y Córcega.

La mandarina “Clementina”, que suele encontrarse en los puntos de venta a

mediados de octubre, está considerada como la mejor de las variedades precoces, lo que explica que a pesar de la abundante cosecha mantenga unos precios elevados.

Esta variedad no se adapta fácilmente a unas condiciones desfavorables. En condiciones adversas el árbol tarda en entrar en producción, y mas tarde, ya en estado adulto, difícilmente puede mantener un rendimiento regular. Analizando el resultado obtenido en los cultivos experimentales, en relación con las condiciones meteorológicas, los investigadores han llegado a la conclusión de que el “Clementino” únicamente puede proporcionar buenos rendimientos en zonas de inviernos templados y primaveras calientes.

El fruto del “Clementino” es una pieza aplanada en el ápice y redondeada en la base, de piel brillante, granulada y poco rugosa, de color anaranjado. La pulpa, del mismo color, más oscuro, es tierna y perfumada, jugosa y de excelente sabor.

Esta variedad madura en octubre-noviembre.

El cultivo comercial de árboles francos de cítricos no existe en la actualidad. Éstos deben superar un periodo de juvenilidad de cinco a siete años y hasta superior en ocasiones a los diez años. Durante este período son muy vigorosos y desarrollan gran cantidad de espinas, aunque no florecen y por tanto son improductivos. Todos estos aspectos no son compatibles con una citricultura moderna y, por consiguiente, este tipo de plantas no se utilizan. Por otra parte, algunas especies son sensibles a problemas relacionados con el suelo, como enfermedades, alteraciones químicas, etc. Como consecuencia, los árboles cítricos en la actualidad están formados por dos partes, el patrón y la variedad, la segunda injertada sobre la primera, de modo que combinen entre si las mejores características posibles, de acuerdo con el medio particular en el que se cultiven. (Agustí, M. 2003).

La selección de patrones representa en la actualidad un aspecto de la máxima importancia en citricultura. De la elección del patrón depende, críticamente el éxito de la plantación, ya que éste aporta a la planta el sistema radicular. Las raíces son responsables de la absorción de agua y nutrientes, acumulan los carbohidratos sintetizados en las hojas, sintetizan algunas hormonas, adaptan las variedades que soportan a las condiciones particulares del suelo y hasta les confieren tolerancia a

algunas enfermedades. Más de veinte características hortícolas de una variedad se hallan influidas por el patrón, incluyendo el vigor y el tamaño del árbol, el desarrollo y profundidad de las raíces, la cosecha, tamaño, textura, calidad intrínseca y época de maduración del fruto, tolerancia al frío, adaptación a las condiciones del suelo, tales como salinidad, pH y excesos de agua, comportamiento frente a nemátodos, hongos, tolerancia a virus, etc. El patrón perfecto, sin embargo, no existe y su elección debe estar en función de los principales factores limitantes de cada región citrícola, el clima y el tipo de suelo, y la variedad a cultivar. Pero aún en el caso de que un patrón se adaptara perfectamente a las condiciones de una determinada área, su empleo masivo nunca es recomendable por el riesgo innecesario que ello implica frente a la infección de un posible patógeno. (Agustí, M. 2003).

Uno de los problemas mas acuciantes que tienen los citricultores en las áreas donde se ha efectuado el presente estudio es el ataque por parte de la tristeza de los cítricos.

1.1.3 Descripción de algunas variedades de interés:

1.1.3.1 Naranjos:

Navelina

Tipo:Navel.

Árbol: tamaño mediano. Forma más o menos redondeada. Hojas de color muy oscuro.

Frutos: tamaño medio. Forma redondeada o ligeramente ovalada. Sin semillas. Pulpa muy jugosa. Piel de color naranja intenso. Ombligo poco prominente.

Es la variedad de naranjo más resistente al frío y a la cal. Presenta tendencia a la alternancia de cosechas. Se suele desverdizar para adelantar la recolección. Entra rápidamente en producción, y lo hace abundantemente. Es una de las variedades más cultivadas. De gran calidad para consumo en fresco.

Newhall

Tipo: Navel.

Es una mutación de Washington Navel, variedad muy semejante a Navelina. En algunas zonas se adelanta unos días respecto a ésta.

Washington Navel.

Tipo: Navel

Árbol: tamaño medio. Forma redondeada. Hojas de color oscuro, tiene tendencia a florecer abundantemente lo que dificulta el cuajado.

Frutos: medios o grandes, esféricos o algo alargados. Color naranja. Ombligo visible al exterior. Sin semillas.

Es una variedad de recolección temprana a media, durante un período bastante largo, desde diciembre hasta mayo, según la zona. Es una de las variedades más cultivadas en España y en el mundo debido a su gran calidad para consumo en fresco.

Navelate

Tipo: Navel.

Árbol: tamaño grande y vigoroso. Con espinas, especialmente en las ramas más vigorosas. Hojas de color verde poco intenso.

Frutos: tamaño medio y forma alargada. Piel fina de color naranja pálido. Ombligo poco visible al exterior. Sin semillas. Pulpa muy jugosa de extraordinaria calidad.

Originaria de España (Vinaroz, Castellón) procede de una mutación de Washington Navel, el fruto de esta variedad puede mantenerse en el árbol, sin que se produzcan mermas de calidad tres meses.

Lane late

Tipo: Navel.

Árbol: vigoroso, hojas de color verde oscuro y follaje denso.

Fruto: muy similar al fruto de Washington Navel, con el ombligo menos pronunciado y la corteza más fina.

Es una variedad de maduración tardía, el fruto se conserva bien en el árbol hasta finales de mayo. Buena y constante productividad. Puede ser una variedad interesante para prolongar el periodo de recolección.

Valencia late

Tipo: Blanca.

Árbol: vigoroso, de gran tamaño, se adapta bien a diversos climas y suelos.

Frutos: tamaño mediano. Forma redondeada. Muy pocas semillas. Zumo abundante y de calidad. El origen de esta variedad no se conoce. Es una variedad de maduración tardía, se recolecta en marzo, aunque se puede mantener en el árbol varios meses.

Existe una selección mejorada de esta variedad, la "Valencia Delta seedless", originaria de Sudáfrica.

Salustiana

Tipo: Blanca.

Árbol: tamaño muy grande. Suelen salir ramas verticales vigorosas. Hojas de color verde claro, suele presentar alternancia de cosechas

Frutos: tamaño mediano. Forma redonda-achatada. Sin semillas. Pulpa muy jugosa y zumo muy abundante y de calidad.

Recolección desde febrero a marzo. Se conserva bien en cámaras frigoríficas. En árboles vigorosos se evitarán las podas intensas.

Verna

Tipo: Blanca.

Árbol: vigoroso y con buen desarrollo; puede florecer fuera de temporada.

Patrones más comunes en el cultivo del naranjo:

Citrango Carrizo y Troyer.

El Citrango Troyer fue de los primeros patrones tolerantes que se introdujo, a parte de ser tolerante a Tristeza, es vigoroso y productivo. Posteriormente se introdujo el Citrango Carrizo, muy similar al primero pero con algunas ventajas, considerándose más resistente a *Phytophthora* spp., a la asfixia radicular, a elevados porcentajes de caliza activa en el suelo y a nematodos, siendo las variedades injertadas sobre él más productivas. Como sólo representa ventajas, el Carrizo ha desplazado casi totalmente al Troyer. Tiene buena influencia sobre la variedad injertada, con rápida entrada en producción y buena calidad de la fruta.

Son tolerantes a psoriasis, xyloporosis, “Woody Gall” y bastante resistentes a *Phytophthora* spp. pero sensible a *Armillaria mellea* y a exocortis. Este último inconveniente obliga a tomar precauciones para evitar la entrada de la exocortis en las nuevas plantaciones: desinfectar las herramientas de poda y recolección, utilizar material vegetal certificado en caso de reinjertadas, etc.

Son relativamente tolerantes a la cal activa, hasta un 8-9% el Troyer y un 10-11% el Carrizo. Estos valores son aproximados y dependen de muchos otros factores siendo favorable que las tierras hayan sido dedicadas anteriormente a regadío, utilización del riego por goteo, buen contenido en materia orgánica del suelo, utilización de abonos acidificantes, aportaciones periódicas de quelatos de hierro, etc. Son sensibles

a la salinidad, no debiéndose utilizar cuando la conductividad del extracto de saturación sea superior a los 3.000 micromhos/cm y la concentración de cloruros se encuentre por encima de los 350 ppm. Si la salinidad es debido fundamentalmente a sulfatos, las conductividades toleradas pueden ser superiores.

Mandarino Cleopatra.

Fue el pie tolerante más empleado, actualmente sólo se utiliza en zonas con elevados contenidos de cal o problemas de salinidad. El vigor que induce sobre la variedad es menor que otros pies y aunque da fruta de mucha calidad, el calibre y la piel es más fina, factores a tener muy en cuenta en algunas variedades. Tolerante a todas las virosis conocidas. Bastante sensible a la *Phytophthora* spp. y a la asfixia radicular, se debe evitar plantar en suelos arcillosos o que se encharque. Recomendable plantarlo siempre en alto y evitar que los emisores de riego mojen el tronco. Aunque de buenas cualidades, las plantaciones con este patrón muestran un comportamiento irregular e imprevisible, en algunos casos de desarrollo deficiente en los primeros años.

Poncirus trifoliata.

Muy resistente al frío, tristeza, *Phytophthora* spp., pero con problemas en suelos calizos, pobres o salinos. Da mala calidad de fruto y su conducción no es fácil.

1.1.3.2 Mandarinos:

Okitsu

Tipo: Satsuma.

Árbol: más vigoroso, erecto, con espinas en los brotes vigorosos.

Fruto: grande, achatado. De buena calidad gustativa.

Muy precoz, en algunas zonas comienza su recolección en septiembre. Tolera mejor que otras satsumas el transporte y almacenamiento. Variedad originaria de Japón donde se obtuvo en 1914 a partir de una semilla de la variedad Miyagawa.

Owari

Tipo: Satsuma.

Árbol: vigoroso, poblado de hojas, ramas largas.

Fruto: de tamaño medio a pequeño, con elevado contenido en zumo de color naranja claro y con forma aplanada.

Clausellina

Tipo: Satsuma.

Árbol: escaso vigor y tendencia a floraciones abundantes los primeros años del desarrollo.

Fruto: superior en tamaño al de la variedad Owari, pero de poca calidad. Es precoz, su recolección puede comenzar a mediados de septiembre.

Clementina Fina

Tipo: Clementina.

Árbol: vigoroso, hojas color verde poco intenso, forma redondeada, gran densidad de hojas.

Fruto: tamaño pequeño o medio, suele pesar entre 50 y 70 gramos. Corteza fina de color naranja intenso. Fruto de extraordinaria calidad.

Su recolección se lleva a cabo entre noviembre y enero. Frecuentemente es preciso realizar tratamientos para mejorar el tamaño y el cuajado.

Oroval

Tipo: Clementina.

Árbol: muy vigoroso, con muchas ramas verticales, presenta algunas espinas, hojas de color verde intenso.

Fruto: el peso del fruto oscila entre los 70 y 90 gramos, tiene forma redondeada. La corteza es granulosa de color naranja intenso. Fácil de pelar.

Recolección de noviembre a diciembre. Su conservación en el árbol no es recomendable, ya que pierde zumo y tiende a bufarse.

Clemenules

Tipo: clementina.

Árbol: vigor medio. Forma redondeada con ramas inclinadas. Hojas grandes de color verde claro.

Fruto: tamaño grande (80-100 gramos). Forma algo achatada. Corteza de color naranja intenso. Pulpa jugosa de muy buena calidad. Fácil de pelar.

Prácticamente sin semillas.

Recolección de noviembre a enero, después que Oroval. Variedad productiva y de rápida entrada en producción. Los frutos se mantienen relativamente bien en el árbol.

Marisol

Tipo: Clementina.

Árbol: es vigoroso y tiene forma redondeada con tendencia a la verticalidad, de color verde intenso.

Fruto: muy parecida a la Oroval

Es una variedad para zonas precoces, se recoge unos 15 o 20 días antes que la Oroval.

Oronules

Tipo: Clementina.

Árbol: vigoroso, con tendencia a la verticalidad.

Fruto: tamaño medio con forma ligeramente achatada. La pulpa es de muy buena calidad, no tiene semillas.

La recolección de esta variedad puede comenzar a mediados de octubre.

Clemenpons

Tipo: Clementina.

Se originó por una mutación de la Clemenules. El árbol y el fruto son muy similares a los de la variedad de la que procede, pero se adelanta 15 días la maduración respecto a éste.

Patrones más comunes en el cultivo de la mandarina:

Citrange Carrizo y Troyer.

El Citrange Troyer fue de los primeros patrones tolerantes que se introdujo, a parte de ser tolerante a Tristeza, es vigoroso y productivo. Posteriormente se introdujo el Citrange Carrizo, muy similar al primero pero con algunas ventajas, considerándose más resistente a *Phytophthora* spp., a la asfixia radicular, a elevados porcentajes de caliza activa en el suelo y a nematodos, siendo las variedades injertadas sobre él más productivas. Como sólo presenta ventajas, el Carrizo ha desplazado casi totalmente al Troyer.

Tiene buena influencia sobre la variedad injertada, con rápida entrada en producción y buena calidad de la fruta, adelantando la maduración con respecto al Naranja Amargo.

Son tolerantes a psoriasis, xyloporosis, “Woody Gall” y bastante resistentes a *Phytophthora* spp. pero sensible a *Armillaria mellea* y a *Exocortis*. Este último inconveniente obliga a tomar precauciones para evitar la entrada de la exocortis en las nuevas plantaciones: desinfectar las herramientas de poda y recolección, utilizar material vegetal certificado en caso de reinjertadas, etc.

Son relativamente tolerantes a la cal activa, hasta un 8-9% el Troyer y un 10-11% el Carrizo. Estos valores son aproximados y dependen de muchos otros factores siendo favorable que las tierras hayan sido dedicadas anteriormente a regadío, utilización del riego por goteo, buen contenido en materia orgánica del suelo, utilización de abonos acidificantes, aportaciones periódicas de quelatos de hierro, etc. Son sensibles a la salinidad, no debiéndose utilizar cuando la conductividad del extracto de saturación sea superior a los 3.000 micromhos/cm y la concentración de cloruros se encuentre por encima de los 350 ppm. Si la salinidad es debido fundamentalmente a sulfatos, las conductividades toleradas pueden ser superiores.

Mandarino Cleopatra.

Fue el pie tolerante más empleado, actualmente sólo se utiliza en zonas con elevados contenidos de cal o problemas de salinidad. El vigor que induce sobre la

variedad es menor que otros pies y aunque da fruta de mucha calidad, el calibre y la piel es más fina, factores a tener muy en cuenta en algunas variedades. Tolerante a todas las virosis conocidas. Bastante sensible a *Phytophthora* spp. y a la asfíxia radicular, se debe evitar plantar en suelos arcillosos o que se encharquen. Recomendable plantarlo siempre en alto y evitar que los emisores de riego mojen el tronco. Aunque de buenas cualidades, las plantaciones con este patrón muestran un comportamiento irregular e imprevisible, en algunos casos de desarrollo deficiente en los primeros años.

1.2 Situación actual de los cítricos en el mundo.

1.2.1 Superficie cultivada.

Durante los últimos catorce años en los que se tienen datos mundiales de cultivo del naranjo y mandarino, éstos han experimentado un ligero aumento centrado en torno a una media de 3.836.250 ha. Concretamente, desde 1990 hasta 2004 el aumento ha sido del 6%.

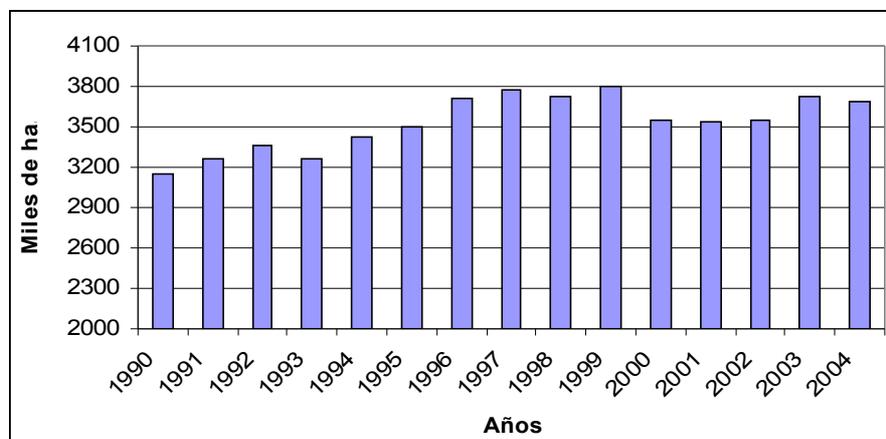


Figura 1-1. Evolución de la superficie mundial dedicada al cultivo de naranja y mandarina durante el período 1990 – 2004.

Fuente: www.fao.org

1.2.2 Producción.

La producción de naranja y mandarina creció entre los años 1990 y 1997 un 32%. Posteriormente hubo una sucesión de pequeños aumentos y descensos poco significativos en la producción.

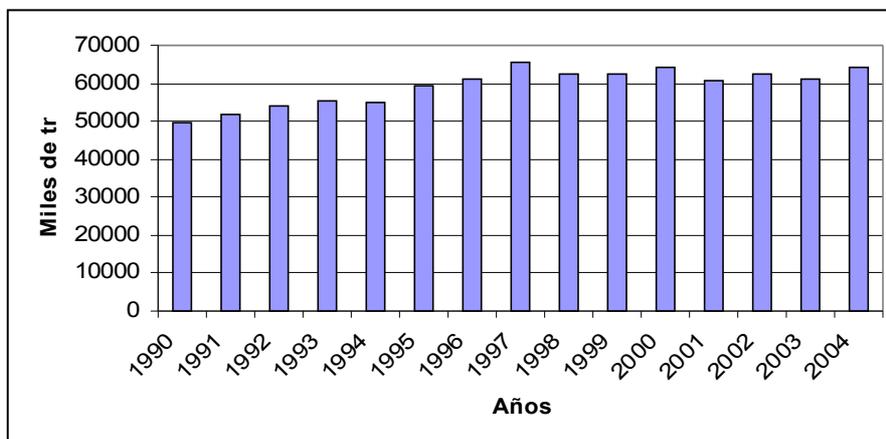


Figura 1-2. Evolución de la producción mundial de naranjas y mandarinas durante el período 1990 – 2004.

Fuente: www.fao.org

En el año 1995 España se encontraba en el sexto puesto en la escala de productores de cítricos en el mundo. Durante los años siguientes la producción aumentó considerablemente hasta casi duplicarse en el año 2004, estando entonces en el cuarto puesto mundial.

Tabla 1-1. Principales países productores de cítricos (miles de tn)

Fuente: www.fao.org

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
India	1000,00	1100,00	1140,00	1290,00	1342,00	1400,00	1320,00	1440,00	1420,00	1420,00
U.S.A.	822,80	912,60	885,40	831,00	677,67	762,04	913,53	733,00	939,00	732,00
Mexico	984,11	1131,30	1126,42	1186,30	1367,50	1661,22	1594,02	1725,09	1824,89	1988,00
Italy	544,80	609,66	575,81	459,60	543,74	613,21	574,04	486,41	520,13	583,44
Spain	605,50	713,20	912,15	881,70	873,64	915,05	1024,11	933,73	1129,59	729,40
Argentina	755,60	800,65	968,76	1020,98	1042,66	1171,50	1217,67	1313,27	1236,28	1300,00
Egypt	307,55	312,41	263,77	252,53	278,64	274,48	296,27	326,59	331,44	338,13
Iran	725,65	753,96	939,70	891,37	972,00	1032,48	1038,83	1040,00	1050,00	1100,00
Turkey	418,00	401,00	270,00	390,00	520,00	460,00	510,00	525,00	550,00	600,00
Brazil	454,63	468,99	508,54	518,59	551,28	577,58	964,82	984,55	981,34	985,62

1.2.3 Situación del cultivo de cítricos en España.

En la siguiente figura y cuadro se muestra la evolución del cultivo de los cítricos en España. Se aprecia claramente un aumento en el cultivo de la naranja y la mandarina (principalmente en el caso de la naranja).

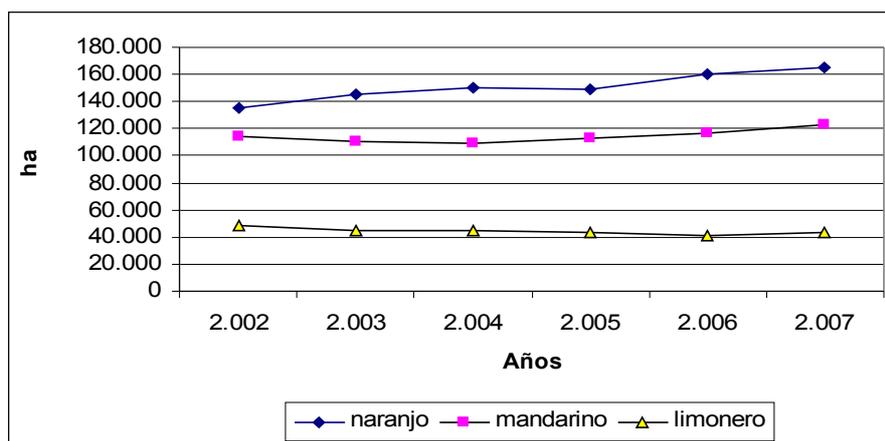


Figura 1-3. Evolución del cultivo de los cítricos en España durante los últimos cinco años.

Fuente: Anuario de estadística agroalimentaria 2006

Tabla 1-2. Evolución del cultivo de naranjo y mandarino en España durante los últimos cinco años.

	<i>naranjo</i>	<i>mandarino</i>
2.002	135.579	114.168
2.003	145.072	110.247
2.004	150.094	109.786
2.005	148.493	113.355
2.006	159.805	117.209
2.007	165.103	122.554

La producción de cítricos en España está centrada en Andalucía, Baleares, Comunidad Valenciana, Canarias, Cataluña y Murcia. Algunas comunidades autónomas tales como Galicia y Extremadura también tienen producción cítrica aunque ésta es, por ahora, muy minoritaria.

Los siguientes gráficos ilustran la evolución de la producción de las principales comunidades autónomas productoras de cítricos.

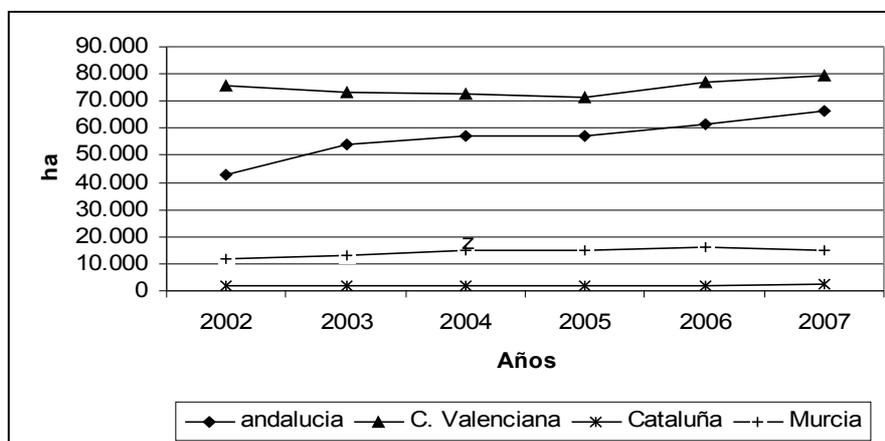


Figura 1-4. Evolución de la superficie destinada al cultivo de naranjas en las principales CCAA productoras.

Fuente: Anuario de estadística agroalimentaria 2006

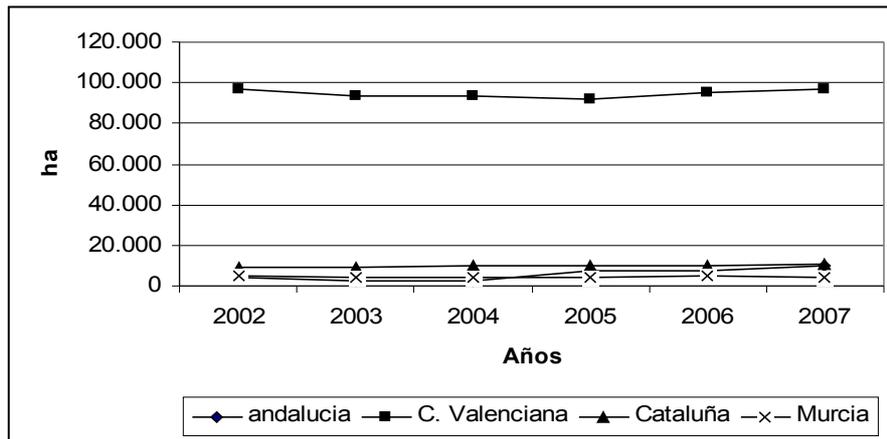


Figura 1-5. Evolución de la superficie destinada al cultivo de mandarinas en las principales CCAA productoras.

Fuente: Anuario de estadística agroalimentaria 2006

En lo referente a la producción estatal de naranja y mandarina, es la Comunidad Valenciana la principal productora.

1.2.4 Distribución de variedades en España.

El cuadro siguiente muestra la distribución de variedades de naranja y mandarina que se cultivan en España. En naranjo principalmente hay plantadas las variedades “Navelina” y “Navelate” y en mandarino predomina claramente la variedad “Clementina”.

Tabla 1-3. Distribución de variedades de naranjo y mandarino plantados en España.

Naranjos			Mandarinos		
<i>Variedad</i>	<i>ha</i>	<i>Proporción</i>	<i>Variedad</i>	<i>ha</i>	<i>Proporción</i>
Navelina	41988	35,54%	Satsumas	9387	7,93%
Navel	14319	12,12%	Clementinas	100189	84,65%
Navelate	27248	23,07%	Otras	8780	7,42%
Salustiana	8557	7,24%			
Otras blancas selectas	1168	0,99%			
Blancas comunes	1868	1,58%			
Sanguinas	326	0,28%			
Verna	1080	0,91%			
Valencia late	21576	18,26%			

Fuente: Anuario de estadística agroalimentaria 2006

1.2.5 Evolución de los precios en origen.

Para el caso de las naranjas, desde el año 1990 hasta el 2005, ha habido una serie de subidas y bajadas de precios en origen.

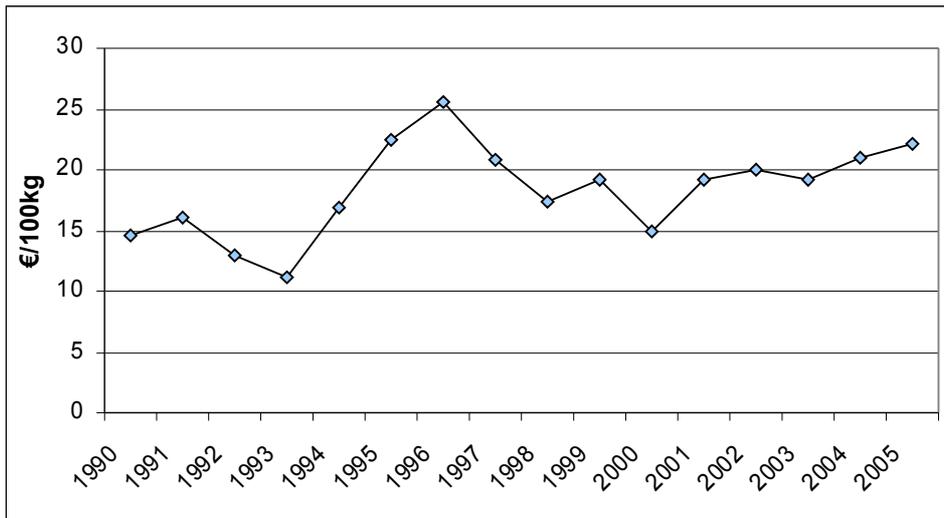


Figura 1-6. Evolución del precio de la naranja en origen desde 1990 hasta 2005.

Fuente: Anuario de estadística agroalimentaria 2006

Para el caso de las mandarinas, el incremento del precio en origen es más acusado que en el caso de la naranja.

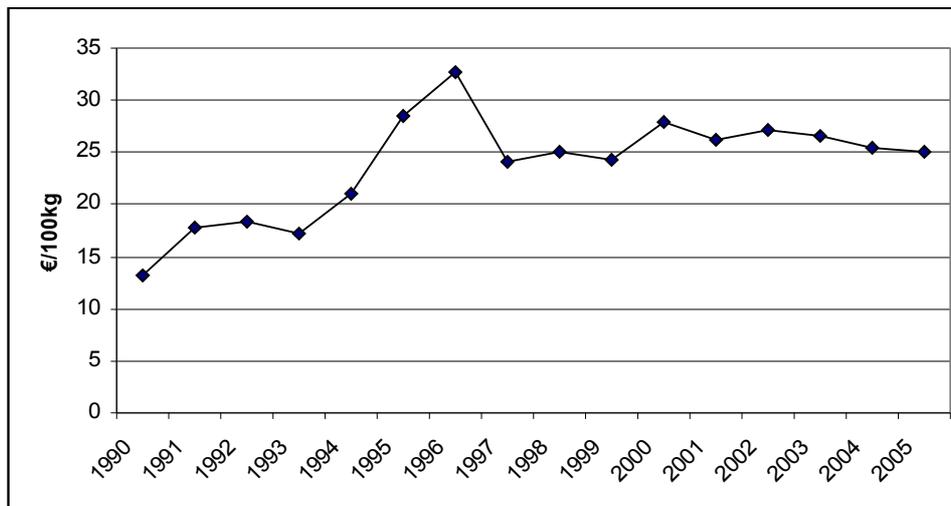


Figura 1-7. Evolución del precio de la mandarina en origen desde 1990 hasta 2005.

Fuente: Anuario de estadística agroalimentaria 2006

1.2.6 Evolución de los rendimientos de cultivo.

La evolución del rendimiento de cultivo en el caso de la naranja ha sido mas bien estable. Para el caso de la mandarina, el rendimiento ha sido bastante inestable aunque siempre entre los 150 qm/ha y los 250 qm/ha.

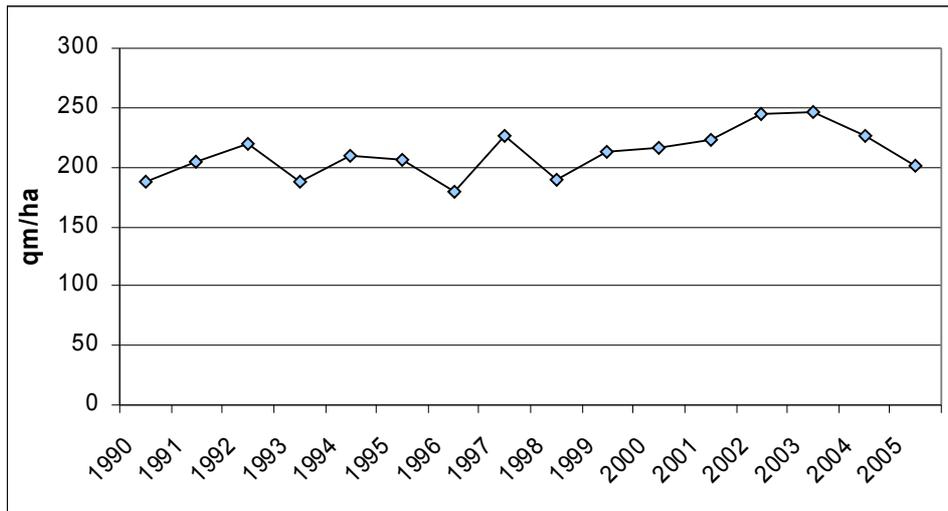


Figura 1-8. Evolución de los rendimientos de cultivo en naranja desde 1990 hasta 2005.

Fuente: Anuario de estadística agroalimentaria 2006

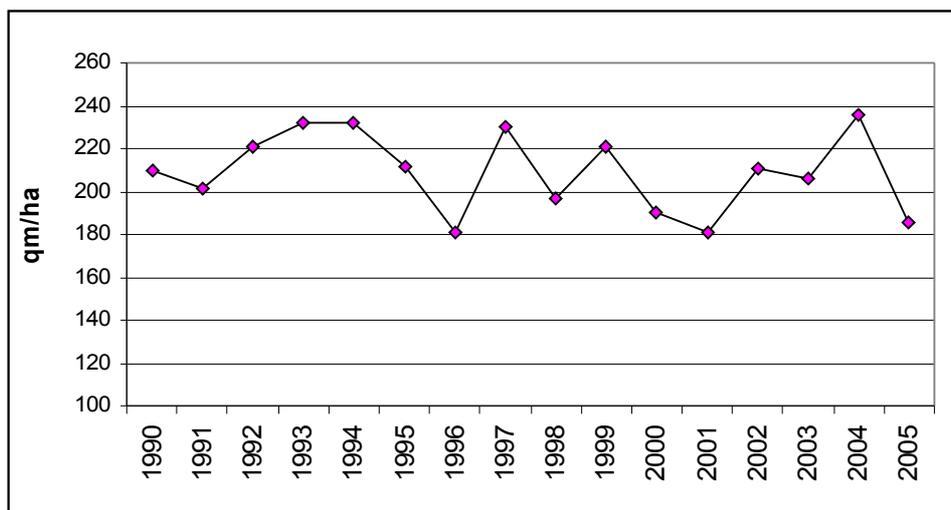


Figura 1-9. Evolución de los rendimientos de cultivo en mandarina desde 1990 hasta 2005.

Fuente: Anuario de estadística agroalimentaria 2006

1.3 Necesidades de agua y programación de riegos en cultivos de cítricos.

El cultivo de los cítricos en la región mediterránea está sometido a los caprichos del clima, uno de cuyos elementos, la pluviometría, se caracteriza no solamente por su

insuficiencia, sino por su irregularidad. A esta deficiencia pluviométrica hay que añadir las temperaturas elevadas de los meses de verano y la débil humedad relativa del aire cuando soplan los vientos cálidos saharianos.

El clima mediterráneo se caracteriza por dos estaciones diferenciadas:

1. Una estación lluviosa y relativamente fresca desde finales de octubre hasta el final del invierno.
2. Una estación seca con temperaturas en ocasiones elevadas que cubre el periodo del mes de abril hasta finales de septiembre.

Es durante este último periodo cuando la actividad vegetativa de los árboles es más importante. El efecto de las lluvias invernales es constituir en el suelo una reserva de agua, ya que las lluvias primaverales y en ocasiones estivales son netamente insuficientes para mantener en un correcto nivel la humedad necesaria para la nutrición de los árboles. En tales condiciones el cultivo comercial de los cítricos no se puede concebir sin el apoyo del riego.

En la mayor parte de las regiones agrícolas del clima mediterráneo, las precipitaciones anuales son claramente inferiores a las necesidades de los cultivos de cítricos. Además, la mayor parte tienen lugar en la época invernal, en el que las temperaturas son relativamente bajas y por lo tanto no son favorables para la actividad vegetativa de los cítricos.

Hasta los primeros días de primavera, cuando las temperaturas se elevan progresivamente, el árbol no reinicia su actividad vegetativa. El suelo, entonces bien provisto de agua (se comporta como una reserva), pone a disposición del árbol el agua necesaria para la absorción de sales minerales. Pero al final de la primavera, después de uno o dos meses sin precipitación, la humedad del suelo no es suficiente para asegurar la nutrición de los árboles. El agricultor debe paliar esta deficiencia con la práctica de los riegos si quiere mantener los árboles en actividad vegetativa intensa, lo que aumentará la productividad de la plantación. (Loussert, 1992).

Las necesidades de riego se refieren a la cantidad de agua y al momento de su

aplicación con objeto de compensar el déficit de humedad del suelo durante el período vegetativo del cultivo dado. Estas necesidades de riego quedan determinadas por la evapotranspiración del cultivo menos el agua que han aportado las precipitaciones, las aguas subterráneas, la acumulación de agua en el suelo debido a anteriores precipitaciones o aportaciones de aguas superficiales o subterráneas. Se expresan en milímetros por período vegetativo (una estación, un mes, un día, etc.), a efectos de planificación global y de evaluación del balance hídrico de la cuenca, del proyecto o del campo. Referidos a toda la superficie cultivada, forman la base para determinar el suministro de agua necesario y la idoneidad de las aguas disponibles. Se expresan en forma de un plan de riego en dosis de riego o en intervalos entre dos riegos, a efectos de manejo y del proyecto (mm y días). (Doorenbos y Pruitt; 1990).

El riego no es nunca eficaz en un cien por ciento, hay que dejar un margen para tener en cuenta las pérdidas evitables e inevitables, entre ellas la percolación profunda, la escorrentía superficial y otros defectos de explotación o técnicos. Normalmente se expresa la eficiencia de aplicación del riego (E_a) en fracciones o porcentajes de las necesidades de riego netas (NR_n).

$$NR_b = NR_n / E_a$$

siendo:

- NR_n Necesidades de riego netas
- NR_b Necesidades de riego brutas
- E_a Eficiencia de aplicación

El período o intervalo de tiempo con arreglo al cual se haga el balance hídrico es importante. Unos periodos demasiado largos pueden encubrir la existencia de breves fases de escasez de agua. En cambio, los cálculos sobre periodos demasiado cortos pueden resultar poco prácticos.

1.3.1 El método FAO-56

La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) lleva desarrollado métodos para estimar el coeficiente de cultivo desde la aparición en 1977 de la publicación de la Serie de Riego y Drenaje de la FAO No. 24 “Las necesidades de agua de los cultivos”. Desde la aparición de esta publicación en 1977, los avances en investigación y la disponibilidad de cálculos más precisos del uso del agua por los cultivos, indicaron la necesidad de actualizar las metodologías de la FAO para el cálculo de ETo. Así se llegó, en 1998, a la publicación de la Serie de Riego y Drenaje de la FAO No. 56. Esta publicación incluye el método Penman-Monteith un método de cálculo para estimar la evapotranspiración de un cultivo mucho más preciso que los anteriores. Según este método, la evapotranspiración que tiene lugar en una superficie cultivada puede ser medida directamente a través de los métodos de transferencia de masa o del balance de energía. También se puede obtener la misma a partir de estudios del balance de agua en el suelo en campos cultivados o a través de lisímetros. Por otra parte, la evapotranspiración de un cultivo puede ser estimada a partir de datos meteorológicos y del cultivo utilizando la ecuación de Penman-Monteith. Dicha ecuación se escribe a continuación:

$$\lambda ET = \frac{\Delta(Rn - G) + \rho_a * c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a} \right)}$$

Rn: Radiación neta

G: Flujo de calor en el suelo

($e_s - e_a$): Déficit de presión de vapor de aire.

ρ_a : Densidad media del aire a presión constante.

c_p : Calor específico del aire.

Δ : Pendiente de la curva de presión de vapor de saturación.

γ : Constante psicrométrica.

r_s y r_a : Resistencias superficial (total) y aerodinámica.

Se puede inferir la tasa de evapotranspiración ajustando el valor de albedo y las

resistencias aerodinámicas y de la superficie del cultivo, para representar las características de crecimiento del mismo. Sin embargo, los valores de albedo y las resistencias mencionadas son difíciles de estimar con precisión debido a su variabilidad durante la temporada de crecimiento del cultivo. Debido a la falta de información fiable sobre los valores de resistencia aerodinámica y de resistencia de la vegetación, correspondientes a distintas superficies cultivadas, la ecuación de Penman-Monteith se utiliza en este manual solamente para la estimación de ETo, es decir la evapotranspiración que ocurre a partir de una superficie hipotética de un cultivo de césped, bien regado, la cual considera valores fijos de altura del cultivo, el albedo y la resistencia de la superficie.

De acuerdo con el enfoque del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo ETc se calcula como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia, ETo y el coeficiente del cultivo Kc:

$$ETc = Kc \cdot ETo$$

ETc: evapotranspiración del cultivo [mm d⁻¹],

Kc: coeficiente del cultivo [adimensional],

ETo: evapotranspiración del cultivo de referencia [mm d⁻¹].

La mayoría de los efectos de los diferentes factores meteorológicos se encuentran incorporados en la estimación de ETo. Por lo tanto, mientras ETo representa un indicador de la demanda climática, el valor de Kc varía principalmente en función de las características particulares del cultivo, variando sólo en una pequeña proporción en función del clima. Esto permite la transferencia de valores estándar del coeficiente del cultivo entre distintas áreas geográficas y climas. La evapotranspiración del cultivo de referencia ETo se define y calcula a través de la ecuación de la FAO Penman-Monteith. El coeficiente del cultivo es básicamente el cociente entre la evapotranspiración del cultivo ETc y la evapotranspiración del cultivo de referencia, ETo, representando el efecto integrado de cuatro características principales que diferencian a un cultivo en particular del cultivo del pasto de referencia. Las características mencionadas son las siguientes:

1. *Altura del cultivo*. La altura del cultivo tiene influencia en el valor de la

resistencia aerodinámica, r_a , de la ecuación de Penman-Monteith, así como en la transferencia turbulenta del vapor del agua desde el cultivo hacia la atmósfera.

El término r_a aparece en dos oportunidades en la versión completa de la ecuación de la FAO Penman-Monteith.

2. *Albedo* (reflectancia) de la superficie del cultivo y suelo. El valor del albedo depende de la porción del suelo cubierta por la vegetación, así como por la humedad presente en la superficie del suelo. El albedo de las superficies del cultivo y suelo afectan el valor de la radiación neta de la superficie, R_n , la cual constituye la fuente principal de energía para el proceso de evapotranspiración.
3. *Resistencia del cultivo*. La resistencia del cultivo a la transferencia del vapor de agua depende del área foliar (cantidad de estomas), edad y condición de la hoja, así como por el grado de control estomático. La resistencia de la vegetación tiene influencia en el valor de la resistencia de la superficie, r_s .
4. *Evaporación* que ocurre en el suelo, especialmente en la parte expuesta del mismo.

La humedad presente en la superficie del suelo, así como la fracción del suelo cubierta por la vegetación, tienen influencia sobre el valor de la resistencia de la superficie (r_s). Inmediatamente después de humedecer un suelo, la tasa de transferencia de vapor de agua desde el suelo es alta, especialmente en los casos donde existe una cobertura parcial del suelo por parte de la vegetación. La suma de las resistencias ofrecida por la vegetación y el suelo representan la resistencia de la superficie (r_s). En la ecuación de Penman-Monteith, el término resistencia de la superficie representa la resistencia al flujo del vapor de agua que ofrecen las hojas de las plantas y la superficie del suelo.

1.3.1.1 Factores que determinan el coeficiente de cultivo.

El coeficiente del cultivo integra los efectos de las características que distinguen a un cultivo típico de campo del prado o césped de referencia, el cual posee una apariencia uniforme y cubre completamente la superficie del suelo. En consecuencia,

distintos cultivos poseerán distintos valores de coeficiente del cultivo. Por otra parte, las características del cultivo que varían durante el crecimiento del mismo también afectarán al valor del coeficiente K_c . Por último, debido a que la evaporación es un componente de la evapotranspiración del cultivo, los factores que afectan la evaporación en el suelo también afectarán al valor de K_c .

Tipo de Cultivo

Debido a las diferencias en albedo, altura del cultivo, propiedades aerodinámicas, así como características de los estomas y hojas de las plantas, se presentarán diferencias entre la evapotranspiración de un cultivo bien desarrollado y regado y la de referencia E_{To} . Las especies que presentan estomas solamente en la parte inferior de la hoja y/o que presentan gran resistencia en las hojas, presentarán valores relativamente menores de K_c . Este es el caso de los cítricos. El control a la transpiración y el espaciamiento entre árboles, puede causar que el valor de K_c en los mismos sea menor a uno, si se cultivan en ausencia de un cultivo que cubra el suelo.

Clima

Las variaciones en la velocidad del viento afectan el valor de la resistencia aerodinámica de los cultivos y por lo tanto los valores del coeficiente del cultivo, especialmente en aquellos cultivos que posean una altura significativamente mayor a la del cultivo hipotético del césped. La diferencia entre la resistencia aerodinámica del césped de referencia y la de otros cultivos agrícolas es no sólo específica del tipo de cultivo, sino que depende además de las condiciones climáticas y la altura del cultivo. Debido a que las propiedades aerodinámicas son más pronunciadas en la mayoría de los cultivos agrícolas, al compararse con el césped de referencia, el cociente entre E_{Tc} y E_{To} (es decir K_c), aumenta en la mayoría de los cultivos cuando la velocidad del viento aumenta y cuando la humedad relativa disminuye. En condiciones de una mayor aridez climática y de una mayor velocidad del viento, los valores de K_c aumentan. Por otro lado, en climas húmedos y en condiciones de velocidades del viento bajas, los valores

de K_c disminuyen.

Evaporación del suelo:

Las diferencias en la evaporación del suelo y la transpiración del cultivo, que existen entre los cultivos de campo y el cultivo de referencia, están incorporados en el coeficiente del cultivo. El valor del coeficiente K_c para cultivos que cubren completamente el suelo refleja principalmente las diferencias en transpiración, debido a que la evaporación que ocurre en el suelo es relativamente pequeña. Después de un evento de lluvia o riego, el efecto de evaporación es predominante cuando el cultivo es pequeño y sombrea escasamente el suelo. En esas condiciones de poca cobertura, el coeficiente K_c está determinado principalmente por la frecuencia con la cual se humedece la superficie del suelo. Cuando el suelo se encuentra humedecido la mayoría del tiempo debido al riego o la lluvia, la evaporación en el suelo será significativa y el valor de K_c puede exceder a la unidad. Por otro lado si la superficie del suelo está seca, la evaporación será restringida, traducándose en un valor de K_c pequeño, pudiendo incluso alcanzar valores tan bajos como 0,1.

Bajo condiciones de humedad alta y vientos suaves, el valor de K_c es menos dependiente de las diferencias en los componentes aerodinámicos incluidos en ET_c y ET_o , por lo que los valores de K_c para cultivos agrícolas con cobertura completa no excederán a 1,0 por más de un valor de 0,05. Esto es debido a que tanto los cultivos agrícolas de cobertura completa como el cultivo de referencia del pasto absorben la cantidad máxima posible de radiación de onda corta, la cual es la fuente principal de energía para el proceso de evaporación en condiciones húmedas y de vientos suaves. Además los valores de albedo son similares para una amplia gama de cultivos agrícolas de cobertura completa, incluyendo al cultivo de referencia. Debido a que el déficit de presión de vapor ($e_s - e_a$) es pequeño en condiciones de humedad alta, las diferencias en ET , causadas por diferencias en resistencia aerodinámica, r_a , entre el cultivo agrícola y el de referencia, también son pequeñas, especialmente con velocidades del viento suaves a moderadas.

Bajo condiciones de aridez los efectos generados por las diferencias en r_a entre el

cultivo agrícola y el césped de referencia en el valor de ET_c serán más pronunciados, debido a que el término $(e_s - e_a)$ es relativamente grande. Mientras mayor sea el valor de $(e_s - e_a)$, mayor será la diferencia en el componente aerodinámico incluido en el numerador de la ecuación de Penman-Monteith, tanto para el cultivo agrícola como para el cultivo de referencia. Por lo tanto el valor de K_c será mayor en condiciones de aridez, en los casos en que el cultivo agrícola posea una mayor área foliar y una mayor rugosidad que el cultivo de referencia. Debido a que el término $1/r_a$ en el numerador de la ecuación de Penman-Monteith viene multiplicado por el déficit de presión de vapor $(e_s - e_a)$, el valor de ET para cultivos altos se incrementará proporcionalmente en un mayor grado con respecto a ET_o , que en el caso de cultivos de baja altura cuando la humedad relativa es baja. El valor de K_c para cultivos altos, tales como los de 2 a 3 metros de altura, pueden ser hasta un 30% superiores en condiciones de vientos fuertes y climas áridos, que en el caso de climas húmedos y vientos suaves. Este incremento de K_c es debido a la influencia de la mayor rugosidad aerodinámica del cultivo de mayor altura, comparada con la del cultivo de referencia, a la transferencia de vapor de agua desde de la superficie.

Etapas del crecimiento del cultivo

A medida que el cultivo se desarrolla, tanto el área del suelo cubierta por la vegetación como la altura del cultivo y el área foliar variarán progresivamente. Debido a las diferencias en evapotranspiración que se presentan durante las distintas etapas de desarrollo del cultivo, el valor de K_c correspondiente a un cultivo determinado, también variará a lo largo del período de crecimiento del mismo. Este período de crecimiento se puede dividir en cuatro etapas: inicial, de desarrollo del cultivo, de mediados de temporada y de final de temporada. En la siguiente figura se ilustra la secuencia general y la proporción de cada una de las etapas de crecimiento mencionadas, correspondiente a diferentes tipos de cultivos.

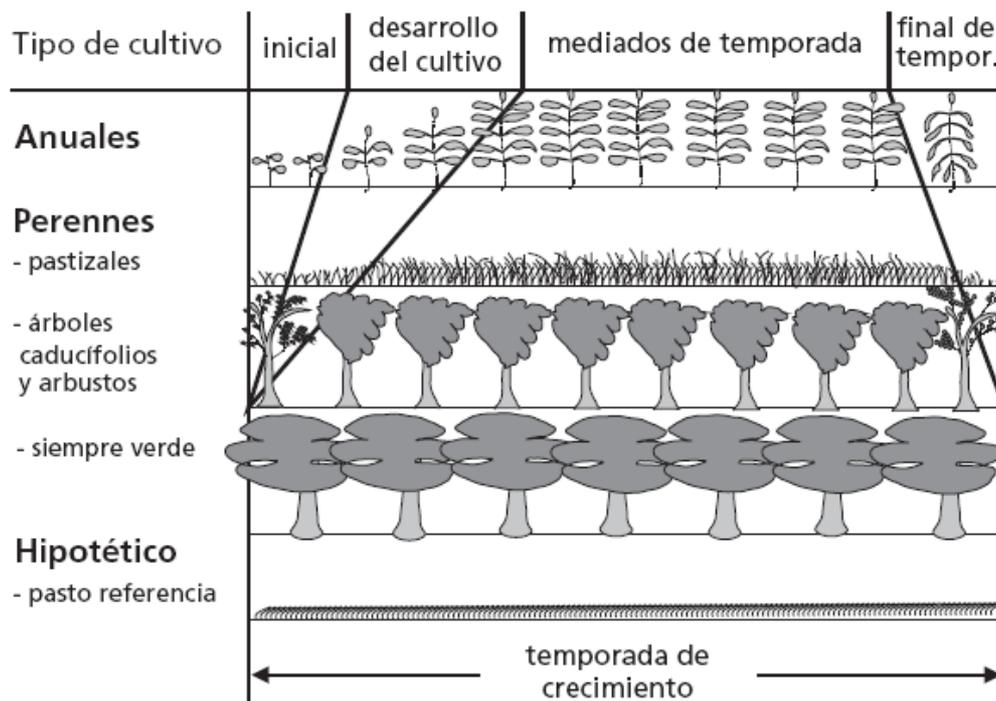


Figura 1-10 Etapas de desarrollo de los diferentes cultivos

Fuente: Cuaderno 56, serie Riego y Drenaje FAO

1.3.2 El balance de agua.

La mayor parte del agua consumida por una plantación de cítricos, como ocurre en las plantaciones frutales en general, resulta de la combinación de dos procesos: evaporación a la atmósfera a través del proceso de transpiración, y evaporación desde la superficie del suelo. Desde este punto de vista, se considera la plantación formada por los árboles y la superficie del suelo, que puede estar desnuda o cubierta de hierba, ocurriendo los procesos de transpiración y evaporación simultáneamente englobándose en la evapotranspiración.

La cuantificación de la evapotranspiración ha sido objeto de numerosos estudios. En un inicio, para medir la evapotranspiración, los datos se obtenían directamente por pesada, sin embargo, debido al alto coste de los lisímetros y a la laboriosidad de su montaje y mantenimiento, se pusieron en marcha otras técnicas de medición indirecta, entre las que se encuentra el balance hídrico del suelo. Sobre la utilidad y limitaciones

de los diversos métodos desarrollados para medir la evapotranspiración existe una muy abundante documentación. El método del balance hídrico del suelo ha sido utilizado ampliamente en numerosos cultivos, entre ellos los cítricos en los que se ha intentado cuantificar la evapotranspiración para plantaciones de almendros en riego por goteo y en otras especies, con el objeto de conseguir un adecuado manejo de las reservas de agua disponibles.

La metodología para el cálculo de las necesidades hídricas cuando se emplea riego por goteo se ha desarrollado a partir de la utilizada en riego convencional por superficie, en el que se humedece prácticamente toda la superficie del suelo (Doorembos y Pruitt, 1977), aunque teniendo en cuenta las características técnicas que diferencian al riego por goteo: menor evaporación directa, al no humedecerse toda la superficie del suelo; mayor transpiración del cultivo, debido a una más fácil disponibilidad de agua en los bulbos húmedos y mayor evaporación, causada por los efectos de microadvección del suelo seco que rodea los árboles. En general, se aplica un coeficiente de corrección relacionado con el porcentaje de suelo sombreado por el cultivo.

El balance hídrico se fundamenta en que el fenómeno de evapotranspiración se produce a expensas del agua almacenada en la zona radical, la cual proviene del riego o de las precipitaciones. Por esto, la determinación de las necesidades hídricas proviene del conocimiento exacto de los distintos componentes del balance de agua en el suelo.

El balance hídrico se realiza mediante la ecuación de conservación de la masa:

$$ET = P + I - \Delta S - D - R$$

donde ET es la evapotranspiración, P es la precipitación efectiva, I es el riego aplicado, ΔS es la variación de stock hídrico entre dos fechas, D es el drenaje por debajo del perfil y R es la escorrentía.

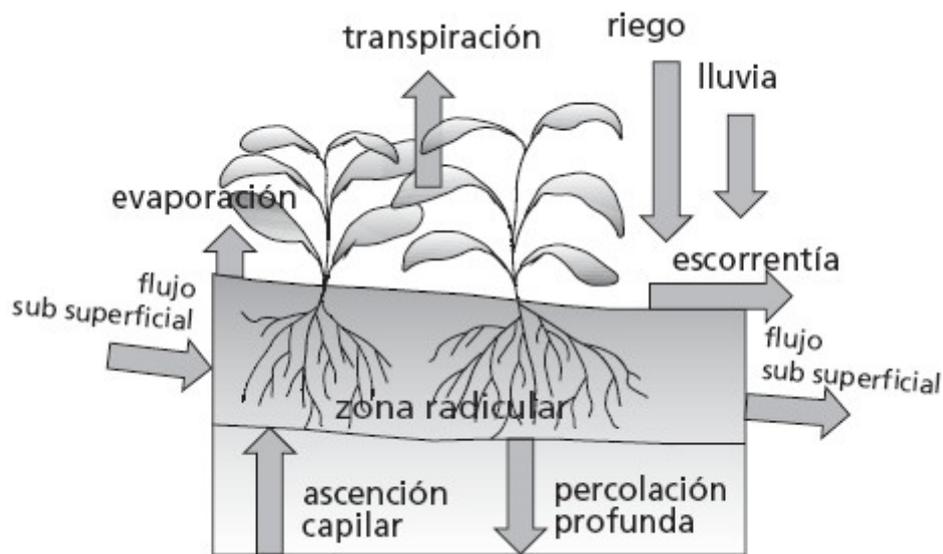


Figura 1-11 Balance de agua de la zona radicular.

Fuente: Cuaderno 56, serie Riego y Drenaje FAO

1.3.3 Programación de riegos en los cultivos de cítricos.

Programación basada en la **valoración del balance hídrico del conjunto suelo-planta atmósfera.**

Son los más exactos para programar el riego. Se basan en el estudio de la ecuación del balance hídrico del agua en el conjunto suelo-planta-atmósfera.

Antes de aportar el agua de riego, la reserva (A_w) habrá ido disminuyendo (generalmente) dado que normalmente las pérdidas superan a las entradas. El límite de días que podemos dejar transcurrir sin regar estará fijado por el **NAP** (Nivel de Agotamiento Permisible) que hayamos estimado. Antes de regar $NAP = A_w$, y después $A_w = 0$. Cuando se programa el riego en base al balance hídrico, se adopta un periodo en el que $A_w = 0$. Del resto de los elementos que intervienen, el más determinante va a ser el cálculo de la E_{Tc} . La ascensión capilar y la escorrentía superficial suelen tener escasa influencia salvo en circunstancias muy concretas, luego no supone un grave error prescindir de ellos. La percolación profunda puede evitarse con un adecuado sistema de riego. La precipitación efectiva es la fracción de lluvia que realmente se pone a

disposición de la planta: se puede estimar a partir de la precipitación total pudiendo hacerse con un margen de error. Los datos básicos para la programación del riego mediante este método son:

1.- *Clima*: los que requiere la fórmula seleccionada para el cálculo de ETo: datos de precipitación para poder determinar la precipitación efectiva.

2.- *Suelo*: los precisos para poder determinar el agua útil y el nivel de agotamiento permisible. Los ordinarios son la profundidad del suelo, textura, estructura, volumen de agua en capacidad de campo y en punto de marchitez.

3.- *Cultivo*: los necesarios para establecer el NAP, la profundidad de las raíces z y el descenso de humedad admisible en cada etapa de su ciclo de crecimiento y desarrollo.

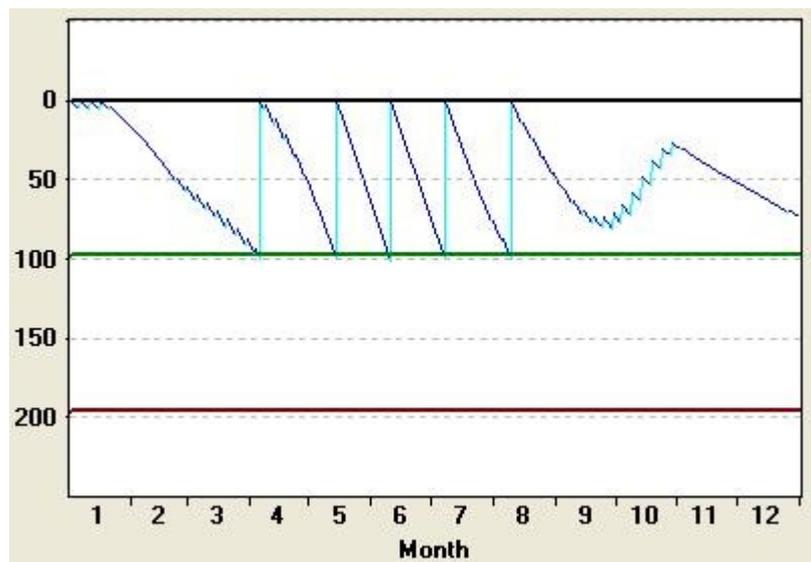


Figura 1-12. Ejemplo de gráfico de programación de riegos para un cultivo de cítricos elaborado con el programa CropWat de la FAO.

1.4 El riego deficitario controlado (RDC) en cítricos.

1.4.1 Visión general del RDC:

La escasa disponibilidad de recursos hídricos, unido a los altos costes del riego, obliga a adoptar cambios drásticos en el manejo de éste, al objeto de contribuir a la obtención de producciones económicamente rentables, con dotaciones hídricas inferiores a las que los árboles requieren para su óptimo crecimiento y producción. Para ello resulta fundamental conocer los efectos del déficit hídrico sobre la producción y la calidad de la cosecha, conocimiento que se viene buscando a través de la aplicación de prácticas de riego en las que sólo una fracción del agua perdida a través del proceso de evapotranspiración (ETc) es reemplazada mediante el riego, y que han sido englobadas dentro del término *Riego deficitario*.

El RDC es una estrategia de aplicación de agua que se basa en la idea de reducir los aportes hídricos en aquellos periodos fenológicos en los que un déficit hídrico controlado no afecta sensiblemente a la producción y calidad de la cosecha y de cubrir plenamente la demanda de la planta durante el resto del ciclo de cultivo (Sanchez-Blanco, M^a. J. Torrecillas, A. 1995).

1.4.1.1 Breve descripción de la fenología de los cítricos.

Antes de continuar explicando el RDC, conviene hacer una breve explicación de los estados fenológicos de los cítricos. Podemos distinguir tres fases principales a lo largo del año:

FASE VEGETATIVA:

El período de actividad vegetativa es el comprendido entre los primeros síntomas de actividad a finales de invierno o a principios de primavera y el final de esa actividad en el otoño ya avanzado, siempre dependiendo de la latitud en la que nos encontremos.

Durante este período el árbol realiza intensamente todos sus procesos fisiológicos y ello se traduce exteriormente en el desarrollo vegetativo de brotes y ramos, así como en el engrosamiento de ramas y tronco además de la aparición de flores y frutos. A lo largo de este período los elementos presentes en cada momento en la parte aérea del árbol (yemas, brotes, flores, frutos, etc.), muestran un aspecto exterior diferente. Este aspecto se denomina estado fenológico.

Es a partir de las yemas florales desde donde se origina el proceso de floración y fructificación.

El primer síntoma externo y apreciable de que la actividad vegetativa ha comenzado es la hinchazón de las yemas (Estado fenológico 01, según codificación BBCH) junto con otros cambios morfológicos que se acelerarán a medida que avanza la primavera hasta que se produce la aparición de las primeras hojas y del tallo inicial.

Debido a las temperaturas en ascenso, la mayor insolación y en general las condiciones ambientales idóneas, se acelera el crecimiento en longitud de los brotes, la aparición y desarrollo de hojas y la formación de yemas axilares. Este crecimiento se llama crecimiento de primavera y termina cuando las temperaturas alcanzan en pleno verano valores muy altos (35-40 °C).

Al finalizar el verano las condiciones ambientales vuelven a ser adecuadas para el crecimiento y se produce la brotación de otoño o rebrote, que se alargará hasta los primeros fríos otoñales y da origen al crecimiento de otoño o segundo crecimiento, cuya intensidad es menor que la de primavera y termina con la parada otoñal.

Progresivamente el árbol inicia su reposo invernal de nuevo. Con ello el período de actividad vegetativa termina y el ciclo anual se reinicia.

FASE REPRODUCTIVA:

Florece en primavera, aunque a veces produce flores extemporáneamente. Las yemas de flor, en su evolución, van pasando por una serie de sucesivos estados fenológicos. Los principales son:

Tabla 1-4. Estados fenológicos en la evolución del fruto.

Fuente: www.agroinformacion.com

<i>ESTADO FENOLÓGICO</i>	<i>CARACTERÍSTICAS</i>
<i>Botón verde (estado fenológico 55)</i>	<i>Se aprecia la flor, todavía envuelta por los sépalos.</i>
<i>Botón blanco (E.F. 56)</i>	<i>Empiezan a aparecer las puntas de los pétalos de la flor.</i>
<i>Plena floración (E.F. 65)</i>	<i>La flor está completamente abierta, dejando ver sus órganos reproductores.</i>
<i>Caída de pétalos (E.F. 69)</i>	<i>Se ha producido la fecundación; los pétalos se marchitan y desprenden.</i>
<i>Cuajado del fruto (E.F. 72)</i>	<i>Los efectos de la fecundación se hacen aparentes; se aprecia el pequeño fruto como de 2/3 mm de diámetro.</i>
<i>Fruto maduro (E.F. 89)</i>	<i>Fruto maduro y apto para consumo; tiene su sabor y firmeza naturales.</i>

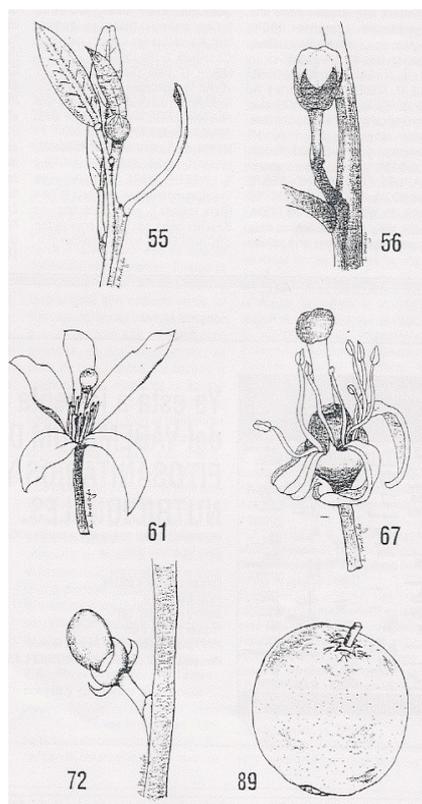


Figura 1-13 Principales estados fenológicos

Fuente: www.agroinformación.com

Durante el proceso de floración se produce la polinización, germinación del polen, crecimiento del tubo polínico fecundación y cuajado del fruto. El proceso completo dura entre diez y veinticinco días y al final del mismo la flor se ha transformado en fruto.

FASE DE MADURACIÓN:

La maduración del fruto ocurre una vez ha alcanzado éste su tamaño definitivo, produciéndose las transformaciones físico-químicas que definen su sabor, color, olor y restantes características.

Al finalizar la maduración, el fruto se recoge y consume, se desprende del árbol o se pudre.

En general los frutos empiezan a madurar en noviembre y suelen aguantar hasta marzo y abril, pero cada variedad de naranjo presenta una fecha de maduración

determinada que puede o no coincidir con el resto de las variedades.

Actualmente, gracias a los estudios de riego en cítricos (Sanchez-Blanco, M^a. J. Torrecillas, A. 1995), realizados en distintas áreas de producción, se considera de la mayor importancia satisfacer los requerimientos hídricos del cultivo durante la etapa de floración y cuajado, ya que un déficit hídrico durante esta fase crítica ocasionaría un aumento de caída de flores y frutos pequeños, con la consiguiente pérdida de producción. También es esencial durante este período una adecuada fertilización, en especial de nitrógeno, siendo necesario disponer de un contenido de humedad en el suelo adecuado para que los nutrientes puedan ser fácilmente asimilados por el árbol. Durante este periodo, el manejo correcto de ambos factores de producción puede inducir a una menor caída de flores y pequeños frutos.

Un segundo período crítico coincide con la fase de rápido crecimiento del fruto (Fase II), donde la ocurrencia de déficits de agua conlleva un aumento de la caída de frutos, en especial al inicio de ella, además de provocar un retraso en el ritmo de desarrollo del fruto. Los efectos del régimen de riego durante la fase de estabilización del crecimiento (Fase III), período previo a la cosecha, tanto sobre la producción como la calidad, son mas inciertos.

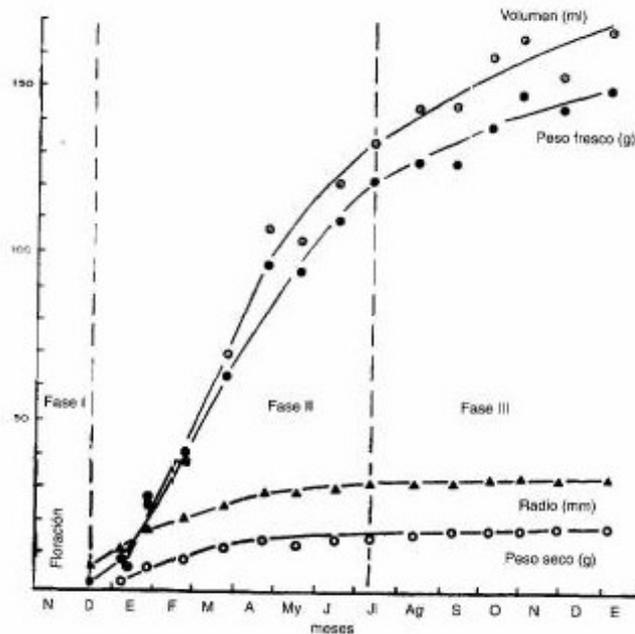


Figura 1-14 Fases de crecimiento del fruto en Australia

Fuente: Domingo, R. Ruiz-Sanchez, M^a.C. (1994). *Respuesta de los cítricos a riego deficitario. Limonero.*

1.4.2 Efecto del déficit hídrico sobre la fisiología de los frutales.

Cuando el nivel de humedad del suelo es deficiente, puede convertirse en un factor limitante para la producción, además puede constituir un problema para el correcto desarrollo vegetativo del cultivo. Decimos que un árbol frutal experimenta un periodo de estrés cuando el aporte de agua se encuentra por debajo de las necesidades hídricas del cultivo. Por este motivo, la raíz va a ir reduciendo de forma progresiva la absorción de agua hasta su cese total si las condiciones de sequedad persisten (Domingo, R. y Ruíz-Sánchez M^a. C. 1994).

En circunstancias de carencia de agua, las hojas van a experimentar una disminución en su potencial hídrico, el cual puede ser un buen indicador del nivel de

estrés que puede sufrir un árbol.

Cuando las condiciones de carencia hídrica se alargan, se produce un incremento en el nivel de ácido abscísico en hojas, llegando a tener lugar el desprendimiento de éstas, precedido de un amarilleamiento y marchitamiento. (Domingo, R. y Ruíz-Sánchez M^a. C. 1994).

Van a verse afectados igualmente toda una serie de procesos tales como el crecimiento longitudinal de los brotes, el crecimiento radial de estructuras lignificadas (tronco, ramas, ramos) y el volumen del fruto. Otro efecto importante es la caída de frutos, lo que incide negativamente en la producción.

Otro de los procesos que pueden verse afectados, y sobre todo por la falta de eficacia en el aparato foliar, es la inducción floral de las yemas, ésta puede retrasarse o incluso llegar a disminuir. Además, las yemas diferenciadas pueden presentar una serie de anomalías como filodia, pistilos dobles o ginoesterilidad morfológica. Por todo ello se está comprometiendo la producción del año siguiente (Domingo, R. y Ruíz-Sánchez M^a. C. 1994).

Las plantas arbóreas pueden algunas veces atenuar en parte los efectos ocasionados por la deficiencia hídrica, por medio de alcanzar el agua existente en las profundidades del suelo, a través de sus raíces. Otra forma de sobreponerse a estos efectos es por medio de la traslocación del agua contenida en los frutos hacia los brotes y hojas. No obstante, esta es una medida de supervivencia por parte de la planta, teniendo un efecto negativo sobre lo que pretendemos en una plantación frutícola, que es obtener el máximo rendimiento y calidad de fruta. (Domingo, R. y Ruíz-Sánchez M^a. C. 1994).

1.4.3 Factores que condicionan la elaboración de estrategias de RDC:

Para el establecimiento de este tipo de estrategias, tendremos que tener en cuenta toda una serie de factores que pueden condicionar de forma importante su viabilidad. Sánchez-Blanco y Torrecillas (1995) enumeran las siguientes:

Periodos críticos del cultivo:

Son aquellas fases fenológicas en la que el desarrollo de una situación de estrés hídrico puede afectar considerablemente a la producción y/o calidad de la cosecha, por tanto, y según se ha señalado en el concepto de RDC antes expuesto, la aplicación de agua durante estos periodos críticos será plena en relación a las necesidades hídricas del cultivo en estas fases (Sánchez-Blanco y Torrecillas, 1995).

Por tanto, uno de los aspectos esenciales en la adopción de técnicas de RDC es la programación del riego en aquellas fases en las que la reducción o supresión de los aporte hídricos no va a afectar de modo significativo a la producción. No obstante, hay que tener en cuenta, no sólo los momentos de alta incidencia de dicho estrés, sino también la magnitud y la duración de éste, ya que a largo plazo podría tener una serie de efectos no deseables. Es decir, se podrían derivar situaciones de estrés acumulado de efectos trascendentales. Existen estudios que certifican el hecho de que la supresión total del riego en momentos no críticos puede ser no recomendable por todas estas causas descritas anteriormente (Sánchez-Blanco y Torrecillas, 1995).

En definitiva, es conveniente realizar para cada cultivo y para cada situación ecológica, los pertinentes ensayos que nos permitan conocer las respuestas que experimentan los diferentes cultivos de cara a la adopción de este tipo de métodos, por las repercusiones económicas que ello conlleva y el importante ahorro de recursos hídricos que puede suponer (Sánchez-Blanco y Torrecillas, 1995).

Por tanto, en aquellas condiciones donde la disponibilidad de agua sea limitada en insuficiente para nuestros cultivos, resulta ventajoso disponer de un plan de acción que nos permita administrar adecuadamente el agua, tal que podamos cubrir plenamente las demandas hídricas de la plantación en aquellos momentos determinados como críticos para el cultivo y distribuir el resto del agua durante los demás periodos de tal manera que se evite en la medida de lo posible la aparición de un déficit hídrico trascendente. (Sánchez-Blanco y Torrecillas, 1995).

Resulta difícil señalar los periodos críticos concretos de cada cultivo. No existe mucha bibliografía sobre este punto en concreto. Algunos autores vienen a identificar como periodos de máxima sensibilidad al déficit hídrico algunos momentos fenológicos

concretos y frecuentemente asociados con algunos periodos de crecimiento del fruto.

Así por ejemplo, ensayos realizados en limonero (cv. Verna) sobre naranjo amargo en riego por superficie con cuatro riegos al año (marzo, julio, septiembre y noviembre) (T-1), frente a árboles regados todos los meses (T-2) y árboles regados todos los días por goteo, encontraron una mas intensa y temprana floración en el T-1 (Sánchez-Blanco y Torrecillas, 1995). Igualmente indican que un déficit hídrico durante la fase II de rápido crecimiento indujo una velocidad de crecimiento menor, obteniendo producciones significativamente mas bajas (50%) en el tratamiento T-1, por lo que esta fase resulta mas crítica a la falta de agua, ya que se produce un claro retraso y disminución del tamaño comercial del limón.

Actualmente aún existen divergencias entre los diferentes investigadores con respecto a este punto.

Nivel de coincidencia entre crecimiento vegetativo y crecimiento productivo:

Resulta esencial, ante la aplicación de estrategias de RDC, conocer en cada cultivo cuándo tiene lugar tanto el crecimiento vegetativo como el crecimiento productivo, y además qué nivel de coincidencia existe entre uno y otro. Una clara separación entre ambos puede definir la idoneidad de un cultivo para ser utilizado de acuerdo a este tipo de estrategias.

La separación natural entre los periodos durante los cuales los tejidos y los órganos de los frutales crecen activamente, da la posibilidad de inhibir un órgano, un tejido, o un fenómeno sin afectar seriamente a otros. En términos de demanda de glúcidos, existe una separación nítida entre los primeros periodos activos de crecimiento vegetativo y de crecimiento frutal en muchos cultivos arbóreos. Esto favorece la aplicación de estrategias de RDC capaces de controlar el crecimiento vegetativo sin reducción en el crecimiento del fruto.

De esta forma, durante el periodo de brotación y desarrollo de ramos, si reducimos los aportes hídricos podemos limitar este proceso para atender plenamente las demandas hídricas de la planta durante el desarrollo del fruto, sin limitar el tamaño final del mismo. Un exceso de vigor en el árbol, podría inducir mermas en la

fructificación.

Torrecillas *et al.* (1993) señalan que en limonero el crecimiento rápido del fruto se inicia cuando ya ha tenido lugar el 90% del crecimiento de los ramos.

Además algunos frutos como los cítricos, al recuperarse de un déficit hídrico temporal, experimentan un crecimiento compensatorio que les permite alcanzar un tamaño similar al de los frutos que no han experimentado déficits hídricos (Chalmers *et al.* 1985; Cohen y Goell, 1984). Además estos últimos autores indican que los frutos cítricos son capaces de acumular materia seca de forma claramente detectable durante los periodos de déficit hídrico, que parece quedar disponible para facilitar el crecimiento compensatorio del fruto tras la reanudación del riego. De hecho, la técnica de RDC surge a partir de los primeros trabajos de Chalmers *et al.* (1981), donde se pretendía controlar el exceso de vigor en plantaciones frutales sin que la producción se viera afectada negativamente.

Características del suelo:

Resulta también conveniente evaluar el factor suelo de cara a la aplicación de técnicas de RDC. Chalmers (1990) indicó que suelos poco profundos con baja capacidad de retención de agua resultan convenientes, así como volúmenes reducidos de suelo humectado, ya que permite una alta concentración de raíces. En estas condiciones descritas se permite tanto el agotamiento de agua como la recarga rápida y precisa.

Una experiencia que refuerza este argumento propuesto por Chalmers (1990) es la que tuvo lugar en California por Girona *et al.* (1993). Estos ensayos se realizaron durante dos años bajo condiciones de suelo profundo con alta capacidad de almacenamiento de agua. El cultivo en cuestión era el melocotonero (variedades “Spring Lady y “Cal Red”). Se aplicaron dos tratamientos de riego, uno era el control, regado al 100% de las necesidades hídricas todo el año, el otro tratamiento consistía en regar al 25% durante las fases I y II del crecimiento del fruto y el período postcosecha, aplicando el 100%-130% de la ETc durante la fase III de crecimiento del fruto.

Los resultados obtenidos mostraron una reducción del crecimiento anual del perímetro del tronco en el tratamiento de RDC pero éste sólo fue de un 7% respecto al

tratamiento control. Estas mínimas diferencias, al ser comparadas con las importantes reducciones encontradas en los ensayos de Australia realizados por Mitchell y Chalmers en 1982 pueden ser debidas a que el estrés se desarrolló de manera muy lenta en el tratamiento deficitario debido a que el suelo tardó mucho tiempo en descargar la humedad a causa de su alto poder de retención. Por otra parte, tras la reanudación del riego durante la fase III, la recarga de agua fue igualmente lenta, provocando una disminución en el crecimiento del fruto, obteniéndose calibres inferiores a los del tratamiento control. El contenido de humedad del suelo fue controlado a través de determinaciones volumétricas de agua en éste.

Otro aspecto a considerar bajo estas circunstancias, es controlar el crecimiento radical durante los períodos de déficit hídrico. Muchos ensayos deben tener en cuenta también esta consideración. Chalmers y Van Den Ende (1975) observaron en melocotonero que al relentizar el desarrollo radical, se ve limitado el desarrollo vegetativo y se favorece el crecimiento del fruto, ya que de esta manera se facilita la canalización de sustancias elaboradas en la fotosíntesis hacia los frutos.

Sistema de riego:

Por motivos señalados en el apartado anterior, parece lógico que el sistema de riego ideal para la aplicación de estrategias de RDC es el riego localizado, el cual nos permite aplicar volúmenes reducidos de agua en el suelo, y el bulbo húmedo en cuestión podrá en todo momento cargarse y descargarse con relativa facilidad.

Climatología:

El clima es otro factor que influye en la aplicación de estrategias de este tipo en el sentido de que éstas suelen ir encaminadas, entre otras cosas, a programar situaciones de estrés hídrico en determinados momentos del ciclo de un cultivo, por lo que la presencia de lluvias puede ser un aspecto negativo en la consecución de este fin. Por ello, resultan ventajosos climas con baja pluviometría. Investigadores han planteado este problema y han enunciado que en climas donde sean frecuentes las lluvias resulta

conveniente suprimir los aportes hídricos en aquellos períodos donde queramos limitar el desarrollo vegetativo, de tal manera que podamos asegurarnos un tiempo suficiente de déficit hídrico e inducir de esta forma el efecto deseado.

Resistencia a la sequía:

Otra cuestión a valorar es la adaptación que pueden presentar los diversos cultivos a condiciones de déficit hídrico. Este tema ha sido objeto de muchas investigaciones orientadas a descubrir cuáles son aquellos mecanismos que las plantas desarrollan para resistir estas situaciones de estrés hídrico. Aunque la mayoría de estos trabajos han sido desarrollados en cultivos anuales, lo cual supone una dificultad a la hora de extrapolar los resultados a especies leñosas, podemos decir que a nivel de hoja los mecanismos de adaptación son muy parecidos tanto en un tipo de cultivo como en otros.

Uno de los primeros mecanismos de adaptación observados en las especies arbóreas es la capacidad de absorber el agua desde los horizontes profundos (Syverstsen, 1985).

1.4.4 Manejo del riego deficitario controlado.

Las tres fases de crecimiento del fruto en el que se aplica RDC son las siguientes:

Tabla 1-5. Estados fenológicos generales en la evolución del fruto

<i>Fase</i>	<i>Estado del fruto</i>	<i>Meses</i>
I	Floración y cuajado	Junio
II	Fase inicial del crecimiento del fruto	Julio - Agosto
III	Final del crecimiento del fruto y maduración	Septiembre - Octubre

Hay que tener en cuenta que estos datos son genéricos y pueden variar dependiendo de la zona donde crezcan los árboles y de su variedad.

Los resultados obtenidos en diferentes experiencias realizadas por González-Altozano y J. R. Castel en 2000-2003 (Riego deficitario controlado en “*Clementina de Nules*”, publicado en la revista *Spanish Journal of Agricultural Research*) en mandarinos ponen de manifiesto las grandes diferencias de sensibilidad al estrés hídrico dependiendo de la fase fenológica en que éste ocurra. Así, **el periodo más crítico y por tanto el menos aconsejable para reducir el aporte de agua de riego, fue la primavera, durante la fase de floración y cuajado**, dado que pequeñas diferencias de potencial en la hoja respecto del control, reducen drásticamente la producción por aumento de la caída de frutos al reanudar el riego a dosis normales. Además se origina una sobreproducción de brotes florales en la brotación de verano que da lugar a frutos tardíos carentes de valor comercial. **El riego deficitario a final de verano-otoño reduce el tamaño de los frutos y provoca la aparición de *clareta* en una proporción importante de los mismos**. Ambos efectos reducen el valor comercial del fruto. En cambio, **el RDC durante la fase de crecimiento inicial del fruto (pleno verano), permite un ahorro de agua de hasta el 22% sin afectar a la producción**, ni al tamaño del fruto, ni a la calidad del mismo siempre y cuando no se sobrepase un valor umbral en el potencial hídrico de la hoja al amanecer en torno a -1,2MPa, pues los frutos muestran un crecimiento compensatorio posteriormente, tras el inicio del riego a dosis del 100%.

Hay que resaltar que tras varios años de uso de RDC, los árboles tienden a desarrollar mecanismos de adaptación al mismo.

El siguiente cuadro con sus respectivos gráficos ilustran la experiencia de RDC llevada a cabo por P. González – Altozano y J. R. Castel. Se llevaron a cabo diferentes estrategias de RDC en mandarinos de la variedad *Clementina de Nules*.

1. Reducción del aporte de agua al 25% durante el mes de julio.
2. Reducción del aporte de agua al 50% durante el mes de julio.
3. Reducción del aporte de agua al 50% durante los meses de julio y agosto.
4. Reducción del aporte de agua al 75% durante los meses de julio y agosto.
5. Reducción del aporte de agua al 50% desde agosto a octubre.

6. Reducción del aporte de agua al 75% desde agosto a octubre.
7. Reducción del aporte de agua al 50% durante todo el año.

Tabla 1-6 Comparativa de tratamientos de RDC

Fuente: Elaboración propia en base a los estudios de González-Altozano y Castel

Parámetros	Tratamientos de riego							
	Control	25% J	50% J	50% J+A	75% J+A	50% A-O	75% J-O	50% año
Riego (m ³ /ha)	4520	3980	4240	3540	4010	3530	3650	2080
Ahorro de agua (%)	0	12	6	22	11	22	19	54
Producción (kg/árbol)	69,3	71,3	70	69,3	66,6	57,1	72,5	53,4
Producción relativa (%)	100	103	101	100	96	82	105	77
Nº frutos/árbol	656	771	741	735	673	730	898	624
Peso medio del fruto (g)	109	95	99	98	102	79	82	88

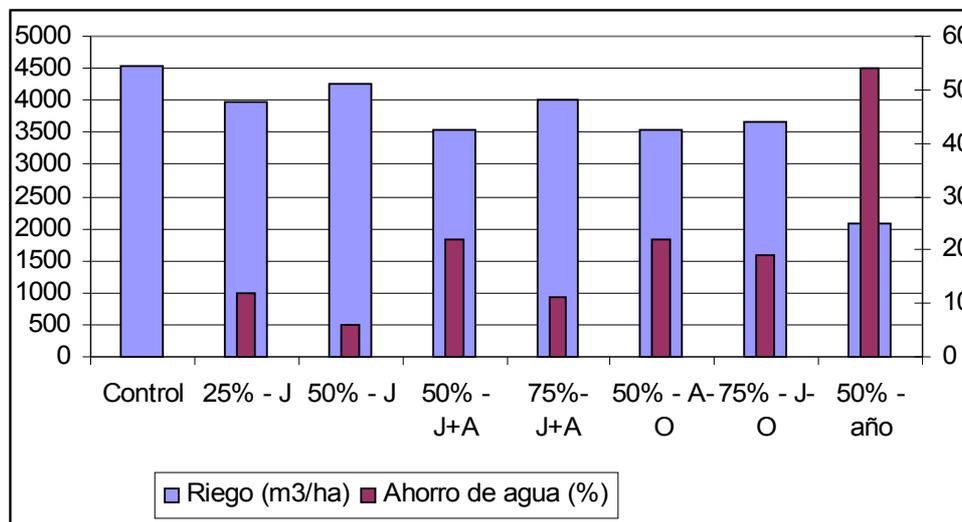


Figura 1-15 Riego aplicado y ahorro de agua con RDC

Fuente: Elaboración propia en base a los estudios de González-Altozano y Castel

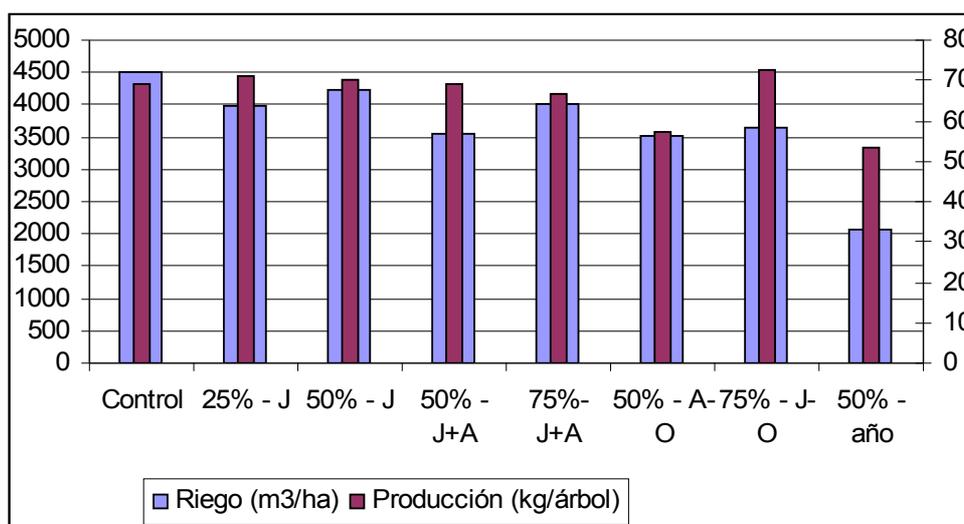


Figura 1-16 Riego aplicado y producción con RDC

Fuente: Elaboración propia en base a los estudios de González-Altozano y Castel

1.5 El agua en el suelo

1.5.1 Medida de la humedad en el suelo.

Existen actualmente diversos métodos para medir el contenido de agua en el suelo, todos ellos tienen sus ventajas y sus inconvenientes. El método gravimétrico es simple y de coste reducido, sin embargo es un método destructivo. El uso de tensiómetros presenta facilidad en su manejo, determina el momento óptimo de riego y con él pueden observarse fluctuaciones en la capa freática pero sólo es capaz de medir un potencial mátrico de $-0,85$ atmósferas, no mide potencial osmótico y la respuesta que se puede obtener de ellos está retrasada. Otros métodos más avanzados son la medida de dispersión de neutrones, con el cual pueden hacerse medidas rápidas en una porción considerable del suelo con una alta precisión. Aunque no es un método válido para suelos orgánicos, no es capaz de efectuar mediciones cerca de la superficie del suelo, es un instrumento con un elevado coste y además presenta peligro de radioactividad. El

método TDR (*Time Domain Reflectometry*) puede medir en continuo y es bastante preciso, sin embargo es complicado efectuar mediciones profundas ya que es necesario excavar trincheras para colocar los electrodos.

El sensor FDR ha sido el utilizado para efectuar las mediciones de humedad del suelo en este estudio. Este se basa en la medición de la constante dieléctrica para determinar el contenido de agua del suelo, midiendo el tiempo de carga de un condensador que utiliza el suelo como medio dieléctrico (Zúñiga, C.L. 2004). Este método presenta varias ventajas, tales como su capacidad de medir en continuo, su rapidez y precisión en las mediciones y su precio relativamente bajo. Aunque también tiene ciertos inconvenientes: Es necesario calibrar el equipo para cada tipo de suelo a explorar y las medidas pueden resultar distorsionadas en suelos salinos.

El método FDR incluye el suelo como parte de un condensador, de tal forma que midiendo su capacitancia se obtiene la constante dieléctrica del suelo, y por tanto, su contenido de agua. El condensador usualmente tiene la forma de un cilindro que contiene además del circuito electrónico, dos bandas metálicas separadas una distancia de 5 a 8 cm. El campo eléctrico que se forma es aproximadamente un 50% más grande que la distancia entre electrodos. Estos sensores fueron diseñados para ser enterrados directamente a la profundidad deseada en el suelo, o insertados dentro de un tubo de PVC. (Zúñiga, C.L. 2004)

La capacitancia es por consiguiente la medida de la capacidad de almacenamiento de la carga eléctrica y está definida como la cantidad de carga almacenada por unidad de diferencia de potencial aplicada, matemáticamente:

$$C = Q \cdot V^{-1}$$

Donde Q es la cantidad de carga almacenada, V el voltaje o diferencia de potencial aplicado y C la capacitancia medida en Faraday. Para un condensador de placa paralela, la capacitancia es una función de la constante dieléctrica del medio entre las placas y se puede calcular a través de:

$$C = K \cdot A \cdot S^{-1}$$

Donde A es el área de las placas y S es la separación entre las placas. Dado que A y S son valores fijos, el tiempo de carga del condensador es una función lineal (idealmente) de la constante dieléctrica del medio (K) que lo rodea y ésta presenta una relación directa con el contenido de agua del suelo. La constante dieléctrica del agua pura a 20°C y a presión atmosférica es de 80,4, la de los sólidos del suelo es de 3 a 7 y la del aire es 1 (Paltineanu y Starr, 1997). Topp *et al* (1980) a través de experimentos de laboratorio determinaron de manera empírica la relación entre la constante dieléctrica del suelo y su contenido volumétrico de agua. (Zúñiga, C.L. 2004)

Con frecuencia los sensores de capacitancia o FDR son confundidos con los sistemas Time Domain Reflectometry o TDR, ya que ambos miden la constante dieléctrica del suelo, pero la forma de hacerlo es distinta. Como se señaló anteriormente, el sistema FDR mide el tiempo de carga de un condensador y esto es función de la constante dieléctrica del suelo que rodea al condensador, en cambio, el sistema TDR determina la constante dieléctrica de un medio, midiendo el tiempo que demora una onda electromagnética en propagarse por una línea de transmisión, el tiempo que demora es función de la constante dieléctrica del medio que rodea la línea de transmisión. La frecuencia a la que trabajan los equipos FDR es entre 1 MHz y 100 MHz y los TDR a frecuencias mayores, entre 1 MHz y 1 GHz, lo que hace a estos últimos menos sensibles a la salinidad. Otras diferencias son: El tiempo requerido por los FDR para tomar una lectura es mucho menor que el necesitado por el equipo TDR, las mediciones en los equipos FDR son realizadas fácilmente con circuitos estándar. Todo esto hace que los sensores FDR sean mucho más baratos y simples de usar que los equipos TDR. Dado que los primeros son algo más sensibles a la salinidad y la temperatura, en suelos con alta conductividad eléctrica se requiere una calibración especial del equipo. También se ha demostrado que la textura del suelo en el que se efectúa la medición hace variar la lectura del sensor. (Zúñiga, C.L. 2004)

1.5.2 El agua contenida en el suelo

El suelo proporciona un soporte mecánico a las plantas y además en él se almacena agua y oxígeno que junto con los elementos nutritivos que contiene (minerales, materia orgánica) y microorganismos, constituye la base fundamental para el desarrollo de las plantas. El suelo está constituido por tres fases: sólida, líquida y gaseosa. La primera está constituida de partículas minerales y orgánicas y ocupa un volumen V_s , mientras que los poros del suelo (V_p) están ocupados por la fase líquida (V_w) y la gaseosa (V_a). El volumen total del suelo (V_t) es el volumen aparente que ocupa en condiciones de campo.

El agua está presente en el suelo de cuatro maneras diferentes:

- *Agua combinada químicamente.*- Es el agua de hidratación. No se considera al estudiar las propiedades físicas del suelo. No se elimina desecando en la estufa a t^a de ebullición y no puede ser absorbida por las plantas.
- *Agua higroscópica.*- Agua fuertemente retenida en el suelo y no puede ser absorbida por la vegetación. Es el agua que se elimina tras haber desecado el suelo a t^a ambiente elevada o a 105°C en estufa (Supone el 2-3% sobre el peso seco).
- *Agua capilar.*- Ocupa los espacios capilares del suelo. Se elimina desecando al aire. Es el agua que utilizan las plantas, pero no toda, sólo la que está en los poros de tamaño comprendido entre 0,2 y 0,8 micras (para poros $<0,2$ micras está fuertemente retenida).
- *Agua de gravitación.*- Ocupa los poros gruesos del suelo. Está sometida a la acción gravitatoria y escurre por drenaje en profundidad. Sólo una pequeña parte puede llegar a ser aprovechada por las plantas: la que escurre lentamente.

Las plantas consumen agua de forma continua, mientras que de forma natural (lluvias) la reciben por medio del suelo de forma intermitente. El hecho de que las plantas puedan crecer de forma continua a pesar de ese desfase de consumo y aporte, se debe al papel del suelo como lugar de almacenamiento y retención del agua. En función de la humedad que contenga, el suelo puede estar saturado, a capacidad de campo o en el punto de marchitez. Un suelo está saturado cuando todos los poros están llenos de

agua. El agua que drena libremente es el agua libre o agua gravitacional, que no es retenida por el suelo. El agua que no drena queda retenida en los microporos del suelo, luego la capacidad de retención de agua dependerá de la textura y estructura del suelo. Desde el punto de vista agronómico, los contenidos de humedad críticos del suelo son los siguientes:

- Capacidad de campo.

La capacidad de campo (CC) se define como la cantidad de agua que un suelo bien drenado retiene en el campo después de una lluvia o riego abundante, cuando se evitan las pérdidas por evapotranspiración, en el momento en que el flujo descendente de agua cesa o se hace despreciable. El tiempo que se considera en que el drenaje se hace despreciable se ha fijado arbitrariamente en 48 horas, oscilando entre 24 horas en suelos arenosos y 72 horas en suelos arcillosos. El contenido de humedad corresponde a un valor del potencial matricial que oscila entre 1/3 y 1/10 de atmósfera. La definición de CC contiene varias imprecisiones. Está pensada para condiciones de campo y exige que el drenaje sea relativamente rápido. Para algunos suelos la tasa de drenaje baja rápidamente hasta alcanzar un valor insignificante al cabo de dos días; pero sin embargo para otros el drenaje es importante durante muchos días. Otro problema es que la CC así definida asume que el flujo descendente cesa o se hace despreciable. En condiciones de campo nunca se alcanza un equilibrio tal que las fuerzas que retienen el agua en el suelo sean opuestas y de igual magnitud a las del campo gravitatorio de fuerzas que actúan sobre el agua. Esto se traduce en que el movimiento descendente del agua no cesa después de un riego abundante. La CC determina el límite superior de agua retenida en el suelo que es susceptible de ser asimilada por las plantas. Esta idea tampoco es del todo acertada, ya que parte del agua que drena rápidamente también puede ser absorbida por las plantas, sobre todo en suelos arcillosos en los que el drenaje puede durar varios días.

- Punto de marchitez permanente

El punto de marchitez permanente (PMP) indica la humedad del suelo en la zona radicular cuando una planta se marchita y no se recupera cuando se coloca en una atmósfera saturada de humedad durante 12 horas. Este valor de la humedad corresponde

a un potencial matricial de 15 atmósferas El término PMP debe ser considerado al igual que la capacidad de campo, como un intervalo de porcentajes de agua en el cual la velocidad de suministro de agua del suelo a la planta no es suficientemente elevada como para impedir su marchitez.

- Agua asimilable

Cualitativamente se define como la parte del agua del suelo que puede ser absorbida a un ritmo adecuado para permitir el aireamiento normal de las plantas que viven en el suelo. Cuantitativamente se define como la cantidad de agua retenida en un suelo entre las humedades correspondientes a los puntos de la CC y el PMP.

1.5.3 Clasificación textural de los suelos.

Las características de retención de agua por parte del suelo dependen de su textura, estructura, contenido en materia orgánica, etc. Así como de su estructura de macroporos y microporos. En la práctica, la retención de agua por parte de la estructura, macroporos y microporos es muy difícil de medir, por lo que se toma como parámetro de referencia la textura del suelo.

Textura es una expresión sintética de las características del suelo dependientes del tamaño de las partículas que lo integran.

Las posibles combinaciones de los porcentajes de arena, limo y arcilla, permiten establecer un número de clases texturales. Se han establecido 12 clases texturales que agrupan suelos que presentan similar comportamiento frente al agua y al desarrollo vegetal.

Al establecer las clases texturales, no todas las fracciones granulométricas contribuyen por igual en la determinación de las propiedades del suelo. La fracción arcilla resulta mucho más determinante en el comportamiento del suelo y de la respuesta de las plantas que las restantes fracciones. Este hecho se pone de manifiesto en la denominación de la clase textural, que con al menos un 20% de arcilla, incluye ya la calificación de arcilloso.

Las distintas clases texturales se pueden representar mediante diagramas o triángulos de textura. Cada lado del triángulo está dividido de 0 a 100 y en ellos se presentan los porcentajes de cada fracción granulométrica. Trazando paralelas desde estos puntos al lado anterior se cortan en un punto o zona que corresponde a la clase textural.

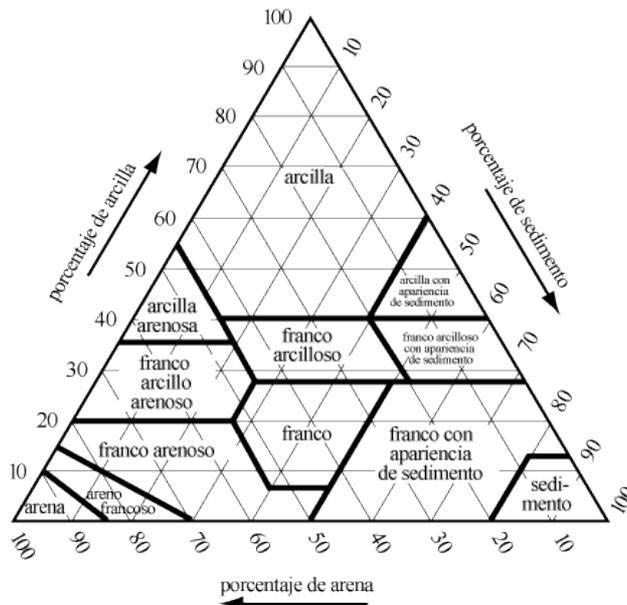


Figura 1-17 Diagrama triangular de texturas

Fuente: www.agroinformacion.com

Tabla 1-7 Clases texturales.

Fuente: Edafología y climatología; Joaquín Moreno Caselles, María Dolores Pérez Murcia, Raúl Moral Herrero.

<i>Textura</i>	<i>Arena, %</i>	<i>Limo, %</i>	<i>Arcilla, %</i>
Arenosa	85 a 100	0 a 15	0 a 10
Areno-franca	70 a 90	0 a 20	0 a 15
Franco-arenosa	43 a 85	0 a 50	0 a 20
Franca	23 a 52	28 a 50	7 a 27
Franco-limosa	0 a 50	50 a 100	0 a 27
Franco-arcillo-arenosa	45 a 80	0 a 28	20 a 35
Franco-arcillosa	20 a 45	15 a 53	27 a 40
Franco-arcillo limosa	0 a 20	40 a 73	35 a 55
Arcillo-arenosa	45 a 65	0 a 20	0 a 12
Limosa	0 a 20	80 a 100	0 a 12
Arcillo-limosa	0 a 20	40 a 60	40 a 60
Arcillosa	0 a 46	0 a 40	40 a 100

1.5.4 Curvas características.

En las curvas características de un suelo se representa la humedad del suelo frente al potencial matricial, y refleja la capacidad de un suelo para retener agua en función de la succión (tensión) ejercida. Para obtener la curva característica de humedad, se debe medir la succión para potenciales próximos a cero (contenidos de humedad altos) con muestras inalteradas de suelo, ya que a esos potenciales, el efecto de la estructura predomina en la retención del agua sobre el efecto de la textura. Para contenidos bajos de humedad, se puede medir la succión en muestras alteradas, ya que en este caso predomina el efecto de la textura frente al de la estructura. En la gráfica siguiente puede verse la curva característica de humedad para distintos tipos de suelo. Se observa que para un mismo potencial, el porcentaje del agua útil extraída es mayor en un suelo arenoso que en uno arcilloso.

Para un potencial mátrico dado, la cantidad de agua retenida por un suelo es mayor cuando el suelo se encuentra en proceso de desecación que cuando se encuentra

en uno de humedecimiento. A este fenómeno se le denomina *histéresis*.

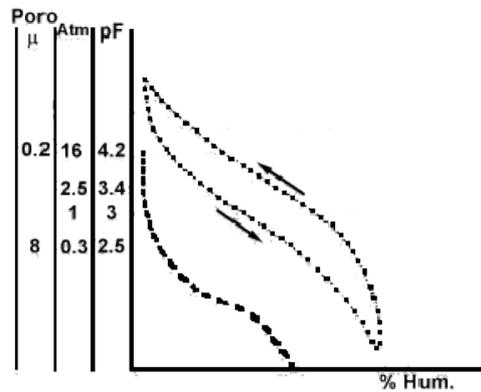


Figura 1-18 La histéresis

Fuente: www.unex.es

Es importante conocer la textura de los suelos a explorar pues de este factor depende mucho la ecuación de calibración del sensor FDR. Existen ecuaciones de calibración desarrolladas por diferentes investigadores que pueden usarse a la hora de tratar los datos de las mediciones efectuadas, sin embargo, siempre que sea posible es conveniente que el usuario desarrolle una ecuación de calibración para el suelo concreto en el que se efectúen las mediciones.

2. OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo es hacer una evaluación del manejo del riego en tres fincas de la Vega Baja del Segura para comprobar el uso que hacen los agricultores del agua de riego de la que disponen y, de no ser así, calcular una programación de riegos óptima. Paralelamente, otro objetivo es calcular una programación de riegos alternativa usando técnicas de riego deficitario controlado para hacer un mejor uso del agua disponible.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Descripción de las fincas y los cultivos de los seguimientos.

Para la realización del presente estudio se concertó la colaboración de diversos agricultores de Murcia y Alicante, los cuales permitieron la instalación del material necesario para tomar las medidas de riego y humedad en los suelos de sus fincas facilitaron información sobre sus cultivos. Todos ellos son cultivadores de cítricos que producen de manera tradicional. Se proyectó en un principio la instalación de dicho material en un total de nueve fincas; tres fincas de naranjos, tres fincas de mandarinos y tres fincas de limoneros. Tras comenzar las mediciones algunas de estas fincas tuvieron que ser abandonadas por diversas causas tales como el abandono de las tierras de cultivo, la dificultad de acceso o el paso de riego localizado a riego por inundación. De las nueve fincas iniciales quedaron finalmente seis. A la hora de procesar los datos, hubo problemas con otra de las fincas ya que el dueño de la misma no quiso darnos datos sobre su programación de riegos y tampoco contaba con un contador volumétrico. Finalmente se decidió centrar el estudio en tres de las fincas ya que contaban con un contador volumétrico instalado al inicio del lateral de riego que abastecía a los árboles en los que había que calcular el balance de agua en el suelo y proporcionaban de esta manera datos fiables y homogéneos de la dosis de riego aplicada por árbol. De estas fincas, dos de ellas se dedicaban al cultivo de mandarina y una de naranjos.

3.1.1. Finca M1

La finca (M1) está dedicada al cultivo de la mandarina, particularmente de la variedad *Clementina*. Los árboles tienen aproximadamente 5 años de edad, una altura media de dos metros, un diámetro medio de copa de 1,8 metros y el marco de plantación es de 4,5m x 3,2m. Al igual que el resto de fincas se riega mediante riego localizado. Los emisores emiten un caudal de 4 litros por hora y hay instalados tres emisores para cada árbol. La finca se sitúa en el término municipal de Albatera, en la provincia de Alicante y tiene una extensión de 4 ha. Las coordenadas de la finca son: X: Y: Huso

30. En la última campaña, los árboles dieron una producción media por árbol de 40kg. Actualmente hay instalados tres tubos de acceso en esta finca, los tubos #7, #8 y #9, las cotas de los tubos son A=550mm y B=850mm. La textura del suelo es la de un suelo franco.

3.1.2. Finca “M3”.

La finca (M3) está dedicada al cultivo de la mandarina *Clementina*. Los árboles tienen aproximadamente dos años de edad, una altura media de 1,5 metros, un diámetro de copa medio de 1,7 metros y un marco de plantación de 2,2m x 6m. Los emisores emiten un caudal de 4 litros por hora y hay instalados 3 emisores por árbol. La parcela está situada en el término municipal de Abanilla, en la región de Murcia y tiene una extensión de 3.300 metros cuadrados. Las coordenadas de la finca son: X: Y: Huso 30. Los árboles son jóvenes y por lo tanto aún no se recolecta su fruto. Actualmente hay instalados tres tubos de acceso en esta finca, los tubos #19, #20 y #81, las cotas de los tubos son A=670mm y B=650mm. La textura del suelo es la de un suelo arcilloso con apariencia de sedimento.

3.1.3. Finca “N1”.

La finca (N1) está dedicada al cultivo de la naranja *Navelina*. Los árboles tienen aproximadamente siete años de edad, una altura media de 2,5 metros, un diámetro de copa medio de 4 metros y un marco de plantación de 4m x 4,5m. Los emisores emiten un caudal de 4 litros por hora y hay instalados 4 emisores por árbol. La parcela está situada en el término municipal de Albaterra, en la provincia de Alicante y tiene una superficie de 13ha. Las coordenadas de la finca son: X: Y: Huso 30. Los árboles producen, de media, 54kg por árbol. Actualmente hay instalados dos tubos de acceso en esta finca, los tubos #1 y #2. Las cotas de estos tubos son A=2.200mm. La textura del suelo es arcillosa con apariencia de sedimento.

El siguiente esquema representa las cotas de las distancias de los tubos de acceso con respecto al emisor mas cercano.

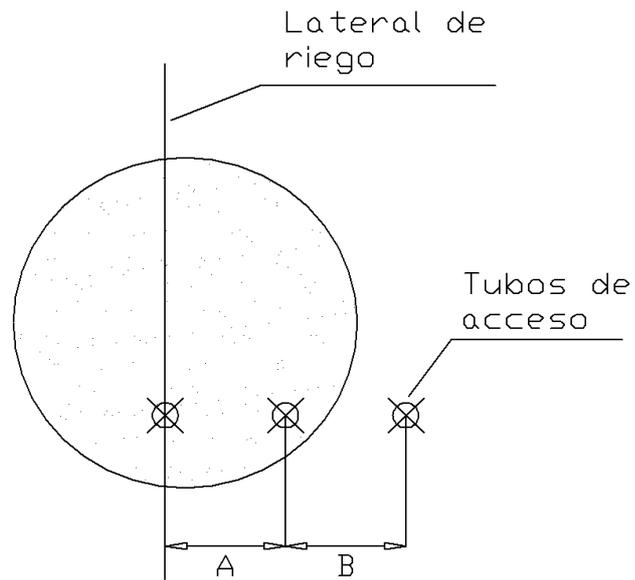


Figura 3-1. Esquema de localización de los tubos de acceso en el marco de plantación.

Tabla 3-1. Resumen de las características de las finas estudiadas.

	N1	M1	M3
Cultivo	naranja	mandarina	mandarina
Variedad	navelina	clementina	clementina
Edad (años)	7	4	2
M.P. (m ²)	18	14,4	13,2
Diámetro de copa (m)	4	1,8	1,7
Provincia	Alicante	Alicante	Murcia
Localidad	Albatera	Albatera	Abanilla
Coordenadas U.T.M.			
X	685571,27	686245,11	673929,74
Y	4232647,39	42342676,40	4226261,73
Huso	30	30	30
Emisores por árbol	4	3	3
Caudal por emisor (l/hora)	4	4	3
Textura del suelo	Franco arcilloso	Franco	Arcilloso con aparición de sedimento
Cotas de los tubos de acceso (mm)			
A	210	550	670
B		850	650

3.2 Cálculo de las necesidades de agua y de la programación de riego óptima de los cultivos en seguimiento, método de la FAO.

Para hacer el cálculo de las necesidades de agua para cada cultivo y cada finca en particular, se tomó como referencia el método establecido por la FAO y que aparece el cuaderno nº56 de la serie FAO Riego y Drenaje.

Al tratarse de parcelas en buen estado y con unas condiciones de cultivo aceptables se optó por utilizar el cálculo de la evapotranspiración del cultivo en

condiciones estándar.

Como condiciones estándar podemos citar que el cultivo se desarrolle libre de enfermedades, tenga una fertilización adecuada, crezca en un campo extenso y con unas condiciones óptimas de humedad en el suelo.

Se puede resumir el proceso de cálculo de la siguiente manera:

1. Cálculo u obtención de E_{To} .
2. Selección de la duración de los estados fenológicos de la planta.
3. Elección de los valores $K_{c_{ini}}$, $K_{c_{med}}$ y $K_{c_{fin}}$, cada valor corresponde a un estado fenológico del árbol.
4. Ajustar $K_{c_{ini}}$, $K_{c_{med}}$ y $K_{c_{fin}}$ a las condiciones climáticas.
5. Construcción de la curva de K_c
6. Aplicar los coeficientes K_c a la evapotranspiración de referencia calculada según el método Penman-Monteih.

Los efectos combinados de la transpiración del cultivo y la evaporación se integran en el coeficiente único del cultivo. El coeficiente único K_c incorpora las características del cultivo y los efectos promedios de la evaporación en el suelo. Para la planificación normal del riego y propósitos de manejo, para la definición de calendarios básicos de riego y para la mayoría de los estudios de balance hídrico, los coeficientes promedios del cultivo son apropiados y más convenientes que los valores de K_c calculados con base diaria usando coeficientes separados de cultivo y suelo.

Debido a que el coeficiente único K_c representa un promedio de la evaporación en el suelo y la transpiración, este procedimiento se utiliza para estimar E_{Tc} para períodos de tiempo semanales o mayores, a pesar de que los cálculos puedan realizarse a nivel diario. El coeficiente único K_c promediado en el tiempo se utiliza para estudios a nivel de planificación y para el diseño de sistemas de riego donde sea razonable y pertinente considerar los efectos promedios del humedecimiento del suelo. Este es el caso de los sistemas de riego por superficie donde el intervalo entre riegos sucesivos es de varios días, generalmente de diez o más días. Por lo tanto, para un manejo típico del riego, es válido aplicar el procedimiento del coeficiente único, K_c , promediado temporalmente.

3.2.1. Duración de las etapas de crecimiento.

Para los cítricos de la zona mediterránea, los valores de las etapas de cultivo (en días) son las siguientes:

Inicio (L_{ini})	Desarrollo (L_{des})	Mediados (L_{med})	Final (L_{fin})	Total
60	90	120	95	365

Tabla 3-2 Duración de las etapas de crecimiento.

Fuente: Evaporación del cultivo, FAO, 2006

3.2.2. Coeficientes de cultivo.

Durante el período de crecimiento del cultivo, la variación del coeficiente del cultivo K_c expresa los cambios en la vegetación y en el grado de cobertura del suelo. Esta variación del coeficiente K_c a lo largo del crecimiento del cultivo está representada por la curva del coeficiente del cultivo. Para describir y construir la curva del coeficiente del cultivo se necesitan solamente tres valores de K_c : los correspondientes a la etapa inicial ($K_{c_{ini}}$), la etapa de mediados de temporada ($K_{c_{med}}$) y la etapa final ($K_{c_{fin}}$).

Los coeficientes seleccionados integran los efectos de la transpiración y la evaporación en el tiempo. El efecto de esta integración en el tiempo representa una frecuencia de humedecimiento promedio para un cultivo «estándar» bajo condiciones típicas de desarrollo bajo riego. Los valores de K_c durante la etapa inicial y de desarrollo del cultivo dependerán de la gran diversidad de frecuencias de humedecimiento del suelo, por lo que se requerirá de ajustes al valor de $K_{c_{ini}}$ considerado. Para condiciones de humedecimiento frecuente tal como en los casos de riego por aspersión de alta frecuencia o lluvias, los valores de $K_{c_{ini}}$ pudieran ser incrementados sustancialmente.

Tabla 3-3 Valores de los coeficientes de cultivo para cítricos sin cobertura vegetal

Fuente: Evaporación del cultivo, FAO, 2006

	Kc _{ini}	Kc _{med}	Kc _{fin}	Altura máxima (m)
70% cubierta vegetativa	0,70	0,65	0,70	4
50% cubierta vegetativa	0,65	0,60	0,65	3
20% cubierta vegetativa	0,50	0,45	0,55	2

3.2.3. Modificación de los coeficientes de cultivo.

Los coeficientes de cultivo descritos anteriormente deben ser modificados para ajustarlos a las peculiaridades climáticas de cada zona en concreto. Al tratarse el cultivo de estudio de árboles frutales de hoja perenne, los coeficientes de cultivo se modifican únicamente según la velocidad del viento y la humedad relativa mínima. Para modificar estos coeficientes se utiliza la fórmula descrita por la FAO para este fin:

$$Kc = Kc_{\text{tabla}} + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(HR_{\text{min}} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3}$$

siendo:

- Kc_{tabla} valor de Kc para el cultivo y la etapa en cuestión (tabulado)
- u₂ valor medio diario de la velocidad del viento a 2 metros de altura (m/s)
- HR_{min} valor medio diario de la humedad relativa mínima (%), para 20% < HR_{min} < 80%
- h altura media de las plantas (m) para 0,1 < h < 10 m

Los datos meteorológicos utilizados para hacer las correcciones en los coeficientes de evapotranspiración del cultivo fueron obtenidos de la estación meteorológica de La Murada. Esta estación pone los datos que recoge en la web del Ministerio de Agricultura para la libre disposición de la persona que los necesite.

3.2.4. La curva de K_c .

Una vez obtenidos los valores semanales de K_c se procede a hacer un gráfico con los datos similar al de la figura siguiente. Los cítricos tienen la peculiaridad de que cierran parcialmente sus estomas en los meses de mayor calor para conservar su humedad. Por lo que los coeficientes de cultivo en dichos meses es menor que en los meses más fríos.

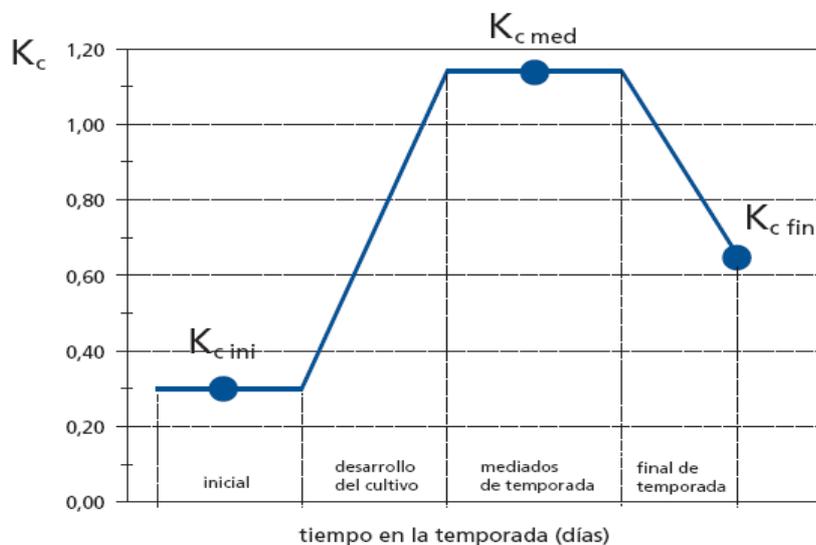


Figura 3-2 Curva tipo del coeficiente de cultivo.

Fuente: Evaporación del cultivo, FAO, 2006

A partir de la curva del coeficiente del cultivo se puede determinar el valor de K_c para cualquier período en forma gráfica o numérica. Una vez determinados los valores de K_c , la evapotranspiración del cultivo E_{Tc} puede ser calculada multiplicando

los valores de Kc por los valores correspondientes de ETo.

Se puede determinar el valor del coeficiente Kc, para un período determinado de la temporada de crecimiento, considerando que el valor de Kc durante la etapa inicial y la etapa de mediados de temporada es constante e igual al valor de Kc durante la etapa considerada. Durante las etapas de desarrollo y final, el valor de Kc varía en forma lineal entre el valor de Kc correspondiente a la etapa previa (Kc prev) y el valor de Kc al comienzo de la próxima etapa (Kc prox), el cual corresponde al Kc fin en el caso de la etapa final:

$$Kc_i = Kc_{prev} + \left[\frac{i - \sum(L_{prev})}{L_{etapa}} \right] (Kc_{prox} - Kc_{prev})$$

donde

i	número del día dentro de la etapa de crecimiento [1-duración de la etapa de crecimiento]
Kci	coeficiente del cultivo para el día i
L _{etapa}	duración de la etapa considerada [días]
Σ(L _{prev})	suma de las duraciones de las etapas previas [días]

3.2.5 Cálculo de la programación óptima de riego.

Para hacer el cálculo de la programación de riegos usamos el programa CropWat que facilita la FAO y la hoja de cálculo, *ParLoc*, que facilita la Consellería de agricultura pesca y alimentación de la Comunidad Valenciana y por los datos que ofrece el Servicio de Información Agraria de Murcia (S.I.A.M.) del Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (I.M.I.D.A.).

3.3 Medida del contenido en agua del suelo.

Para llevar a cabo las medidas de humedad del suelo se utilizó un sensor de humedad de tipo FDR (*Frequency Domain Reflectometry*), o también llamada sonda de capacitancia.

3.3.1 Instalación de los tubos de acceso:

Para poder realizar la medición en el suelo, es necesario instalar previamente un tubo de acceso por donde se insertará la sonda. Este tubo está confeccionado en PVC y habrá de dejarse instalado de forma fija en el lugar donde se vaya a proceder con la medición.

Para instalar un tubo de acceso para la sonda DIVINER 2000 es necesario el siguiente material:

- Barrena de 6 cm de diámetro.
- Cedazo de 2mm de paso de rejilla.
- Cubo
- Agua
- Tubo de acceso de 1m.

El primer paso es hacer la perforación en el terreno con la barrena. En condiciones óptimas esta perforación habrá de ser de un metro, aunque esta profundidad está condicionada por el terreno. En terrenos demasiado pedregosos no pudieron sobrepasarse los 50cm de profundidad. A la misma vez que se hace la perforación se han de ir tomando muestras de tierra cada 25cm. para su posterior análisis granulométrico.

En el caso de que, a causa de las condiciones del terreno, el tubo de acceso no pueda ser introducido en el suelo en su totalidad, éste debe ser cortado.

Una vez practicada la perforación se procede a tamizar tierra con el cedazo y a hacer con ella un barro espeso con el que se llenará el agujero mas o menos hasta la mitad. Con esto conseguimos que no quede aire entre el tubo y el terreno. Es importante que el barro sea lo mas espeso posible, pero sin llegar a perder demasiada fluidez, ya

que de lo contrario al secarse se formarían grietas de aire que enturbiarían las mediciones.

Finalmente se introduce el tubo en la perforación y se empuja hasta que llegue al tope, al hacer esto hay que asegurarse de que el barro llegue a rebosar para asegurarse de que no queda aire entre el tubo y el terreno.

3.3.2 La calibración de la sonda FDR.

Las ecuaciones de calibración de la sonda DIVINER2000 son derivadas de un análisis de regresión de las medidas de SF (frecuencia escalada) frente a θ_v (%). El fabricante proporciona una ecuación por defecto, que se puede emplear si lo que se desea es seguir la dinámica del agua en el suelo, es decir, los *datos relativos*. Pero si se quiere cuantificar las variaciones de humedad, *datos absolutos*, se deberá desarrollar una ecuación de calibración específica para cada suelo.

La ecuación de ajuste debe tener la siguiente forma:

$$SF = A(\theta v^B) + C$$

donde

SF	frecuencia escalada o normalizada (adimensional)
A, B y C	coeficientes de calibración dependientes del tipo de suelo
θ_v	contenido volumétrico % [11 - 40]

Diversos autores han tratado de desarrollar ecuaciones de calibración de equipos FDR. Paltineanu y Starr (1997) desarrollaron una ecuación de calibración en laboratorio con un equipo similar al Diviner2000 (EnviroSCAN) y obtuvieron una ecuación de calibración con un R^2 de 0,992. Resultados similares obtuvieron Groves y Rose (2004), quienes con un equipo Diviner2000, también en el laboratorio, lograron ecuaciones para seis suelos distintos, cuyos R^2 variaron entre 0,93 y 0,97. Aunque el fabricante de la sonda Diviner2000 no especifica en qué condiciones desarrolló sus ensayos, podemos suponer que fue en condiciones de laboratorio.

En contraposición, Morgan *et al.* (1999) obtuvieron una ecuación de calibración utilizando un EnviroSCAN, pero a diferencia de los autores anteriores éstos hicieron sus ensayos en campo. Para esta ecuación su ajuste es de un R2 de 0,831. Hidalgo *et al.* (2003) realizaron otra ecuación de calibración en condiciones de campo, obteniendo un R2 de 0,808. Mas tarde, Zúñiga (2004) elaboró otra ecuación con una bondad en el ajuste de 0,8125.

Los resultados obtenidos por S.J. Groves y S. C. Rose son los siguientes:

Tabla 3-4 Ecuaciones de calibrado y densidades medias del suelo.

<i>Soil texture</i>	<i>Diviner calibration equation</i>	<i>Adjusted R²</i>	<i>P value</i>	<i>Mean soil dry bulk density (g cm⁻³)</i>
Sand subsoil	SF=0,2162 $\theta_v^{0,4149}$	0,97	<0,001	1,58 ($\pm 0,10$)
Sandy loam	SF=0,2532 $\theta_v^{0,3628}$	0,97	<0,001	1,44 ($\pm 0,10$)
Silty clay loam	SF=0,3531 $\theta_v^{0,2621}$	0,96	<0,001	1,39 ($\pm 0,08$)
Clay	SF=0,3107 $\theta_v^{0,2966}$	0,93	<0,001	1,09 ($\pm 0,07$)
Organic sandy clay loam	SF=0,1765 $\theta_v^{0,4434}$	0,97	<0,001	1,02 ($\pm 0,08$)
Organic mineral soil	SF=0,2161 $\theta_v^{0,3785}$	0,97	<0,001	0,83 ($\pm 0,14$)

Fuente: S. J. Groves & S. C. Rose; Calibration equations for Diviner 2000 capacitance measurements of volumetric soil water content of six soils. 2004

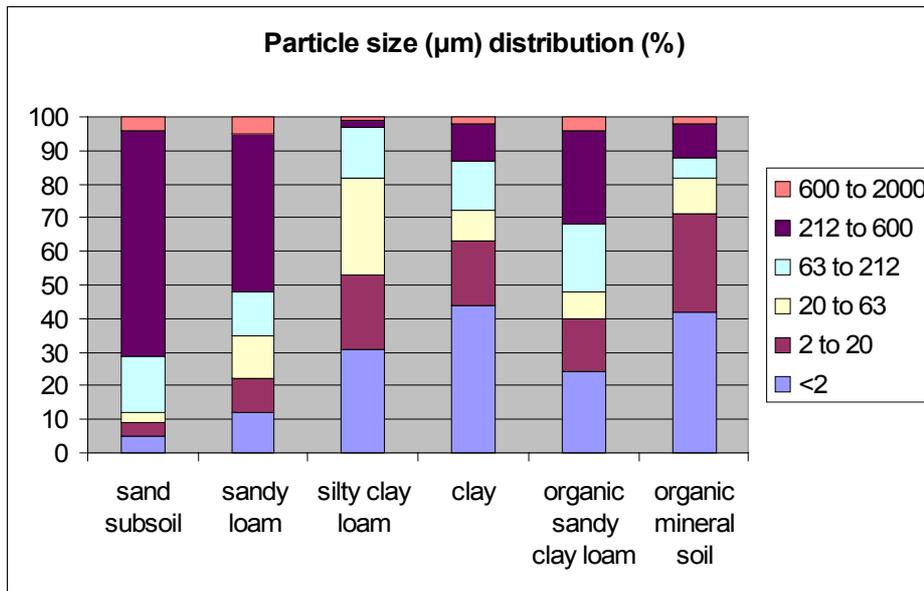


Figura 3-3 Characteristics of the test soils

Fuente: Elaboración propia sobre los datos de S. J. Groves & S. C. Rose.

3.3.3 Radio de influencia del sensor.

Varios autores han publicado artículos en referencia a este tema, coincidiendo todos en que el radio de influencia de la sonda FDR varía en función del contenido en agua del suelo. Paltineanu y Starr (1997) observaron que el 95% del campo eléctrico del sensor se extiende hasta los 4cm desde la pared exterior del tubo de acceso. Sin embargo, cuando el sensor estaba completamente rodeado por agua el 95% del campo eléctrico se desarrolla hasta los 2,7cm. En cambio, se ha comprobado que el 95% de la respuesta se manifestaba en un radio de alcance de 2,7cm, mientras que cuando el tubo de acceso estaba completamente rodeado por agua, el 100% de la respuesta del sensor se manifestaba en un radio de 10cm a partir de la pared del tubo. El fabricante de la sonda DIVINER2000 (sentek Pty Ltd sensors technologies) escribe en el manual de instrucciones que la esfera de influencia del sensor se extiende de 5cm a 10cm en horizontal y 10cm en vertical.

En este estudio, hemos tomado como estándar un radio de influencia de 5cm en

horizontal y 10cm en vertical. Posteriormente se calculó el volumen de suelo explorado por el sensor mediante la siguiente fórmula:

$$V_{\text{explorado}} = \frac{\pi}{4} [(2r + dt)^2 - dt^2] h$$

siendo:

$V_{\text{explorado}}$	Volumen de suelo explorado por el sensor
dt	Diámetro del tubo de acceso
h	Altura del área de influencia del sensor

La sonda DIVINER2000 proporciona los datos de humedad como un porcentaje de agua en el volumen de suelo explorado. Para hacer el cálculo del agua total disponible por el árbol en su zona radicular se establecieron de dos a tres zonas dentro del marco de plantación, según si en la finca habían dos o tres tubos instalados. En la siguiente figura se representan las tres zonas de influencia:

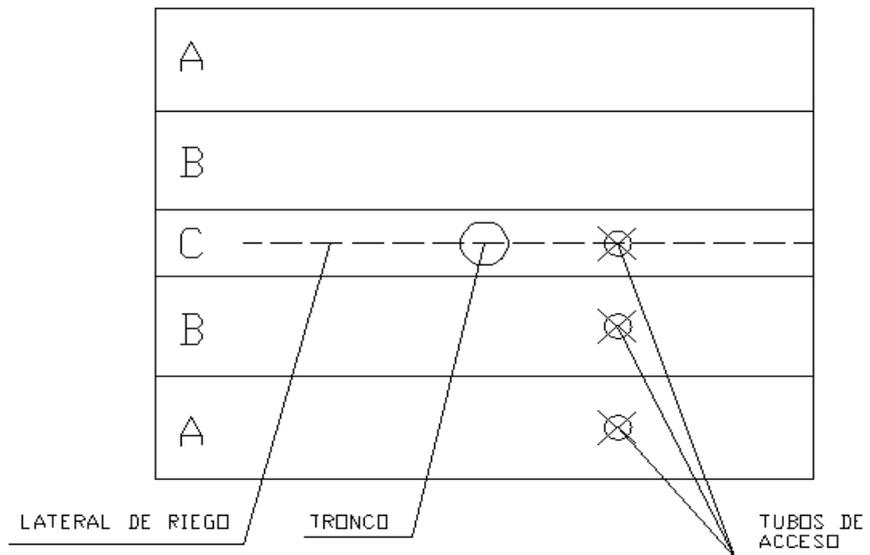


Figura 3-4 Zonas de influencia del sensor

La anchura de cada una de las zonas es variable ya que los tubos de acceso no se encuentran todos instalados de una manera homogénea, sino que las distancias entre tubos varía de una finca a otra. Esto es debido a las peculiaridades de cada finca.

El aspecto tridimensional del flujo de agua en el sistema “suelo – planta – atmósfera” hace imprescindible determinar las áreas y volúmenes de sobre las que el agua fluye o se almacena, siendo habitual referir el balance hídrico a la escala de una superficie de referencia, que suele ser el marco de plantación.

Para calcular el contenido de agua en el volumen de tierra en el que se va a efectuar el balance hacemos la siguiente ponderación:

$$\Delta S = \frac{A + B}{A + B + C} \left(\frac{A}{A + B} \Delta S_1 + \frac{B}{A + B} \Delta S_2 \right) + \frac{C}{A + B + C} \Delta S_3$$

siendo

- A Volumen del área “A”
- B Volumen del área “B”
- C Volumen del área “C”
- ΔS_x Variación del contenido de agua

En la siguiente imagen puede apreciarse mas claramente cómo se distribuyen los tres volúmenes de suelo a explorar junto con sus tubos de acceso, el árbol y el lateral de riego:

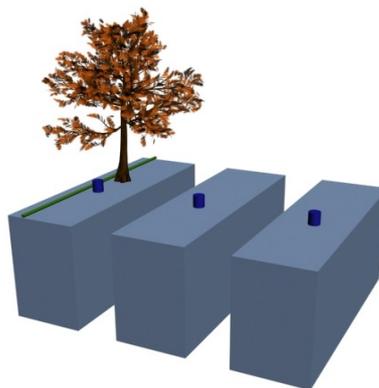


Figura 3-5 Volúmenes de suelo en el marco de plantación.

4. RESULTADOS

4.1 Evolución del contenido en agua del suelo de las parcelas.

Tras el tratamiento de los datos obtenidos por la sonda de capacitancia, se presentan a continuación los resultados de dichas mediciones para tres de las fincas estudiadas:

Naranjos 1 (N1):

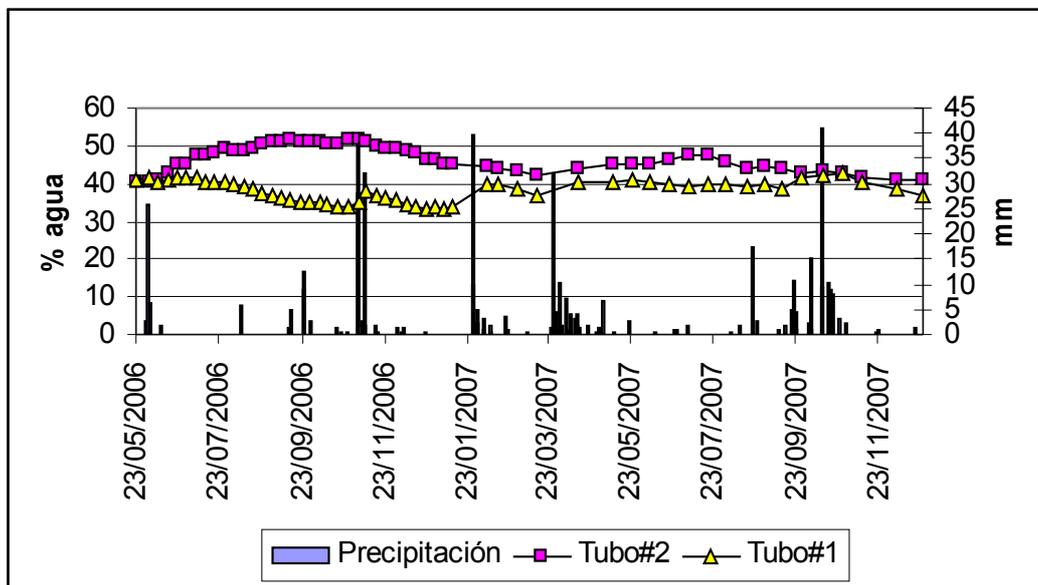


Figura 4-1. Evolución del promedio de la humedad en el total del perfil de suelo explorado en la finca N1.

Para esta finca, se observa una disminución en el contenido de humedad en el suelo de un año para otro en la serie de datos del tubo#2, que es el tubo situado bajo el emisor. De esto se deduce que el suelo humedecido por el riego ha perdido parte de su contenido en agua en el año 2007 con respecto al año 2006, lo que hace suponer una reducción del aporte de agua de riego. En el tubo#1 se observa una relación directa entre el contenido de humedad del suelo y la precipitación.

Los siguientes gráficos muestran la evolución del contenido en agua del

suelo a diferentes profundidades, concretamente cada 10cm. y hasta una profundidad de 80cm.

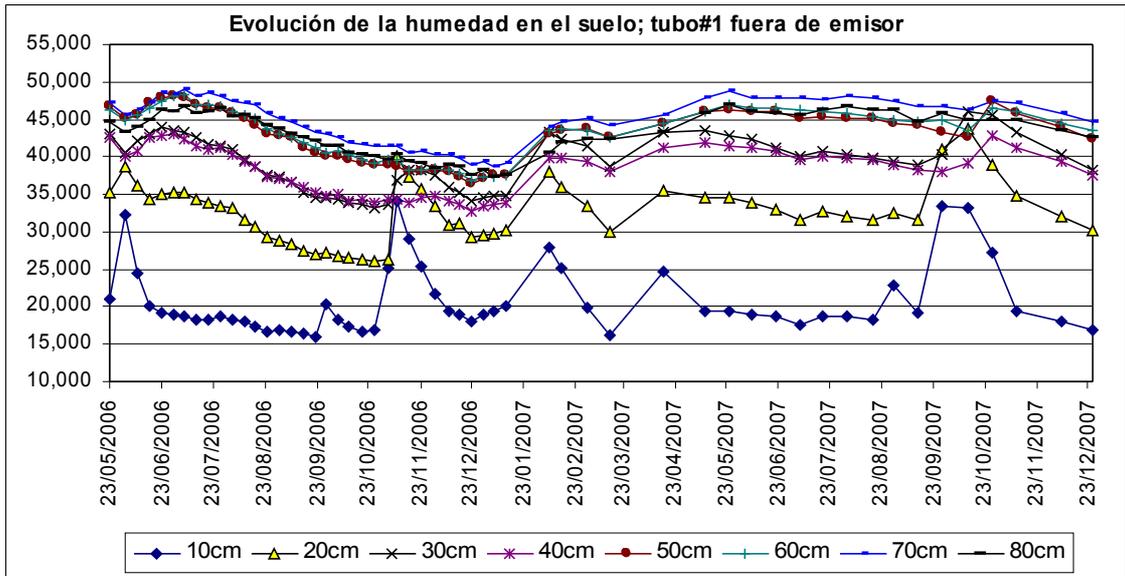


Figura 4-2. Evolución de la humedad medida en capas de 10cm de altura en el tubo #1 situado fuera del área del emisor.

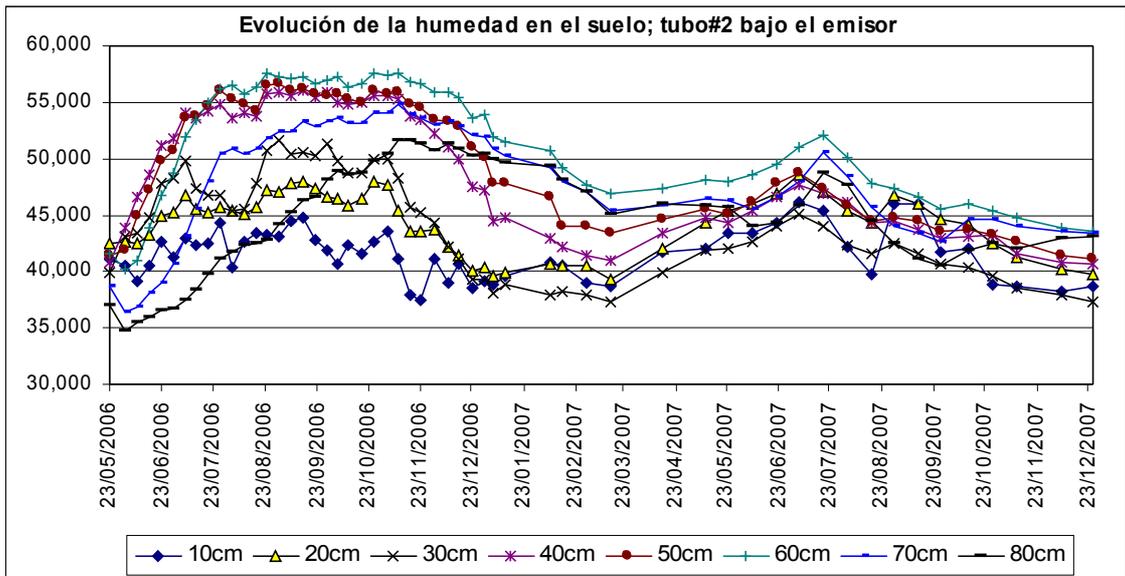


Figura 4-3. Evolución de la humedad medida en capas de 10cm de altura en el tubo #2 situado bajo el emisor.

En las gráficas expuestas se puede observar claramente una disminución en el contenido de humedad del suelo en el año 2007 con respecto al año anterior en el suelo bajo el emisor. Esto podría ser consecuencia de una disminución de la cantidad de agua de riego aplicada ya que sólo se aprecia en el volumen de suelo bajo el emisor.

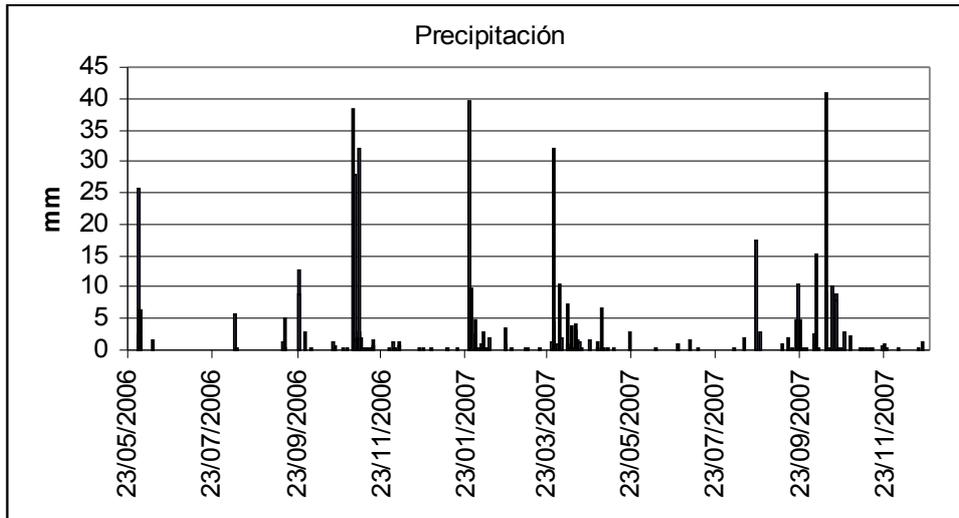


Figura 4-4. Precipitación diaria ocurrida durante los dos años de mediciones.

Comparando las gráficas anteriores con la gráfica de precipitación diaria, se aprecia una relación entre los picos de precipitación y los picos de la línea de humedad a 10cm medida en el tubo situado fuera del emisor.

Mandarinos 1 (M1):

En esta finca la diferencia entre la zona del suelo situada bajo el emisor y la que está fuera del emisor no está tan definida como en la finca anterior. Esto puede deberse a que los árboles eran de un tamaño mucho menor que en la finca “N1”. Se sigue apreciando que en la zona no afectada por el emisor sigue habiendo una correspondencia entre los eventos fuertes de lluvia y los mayores incremento en el contenido en agua del suelo.

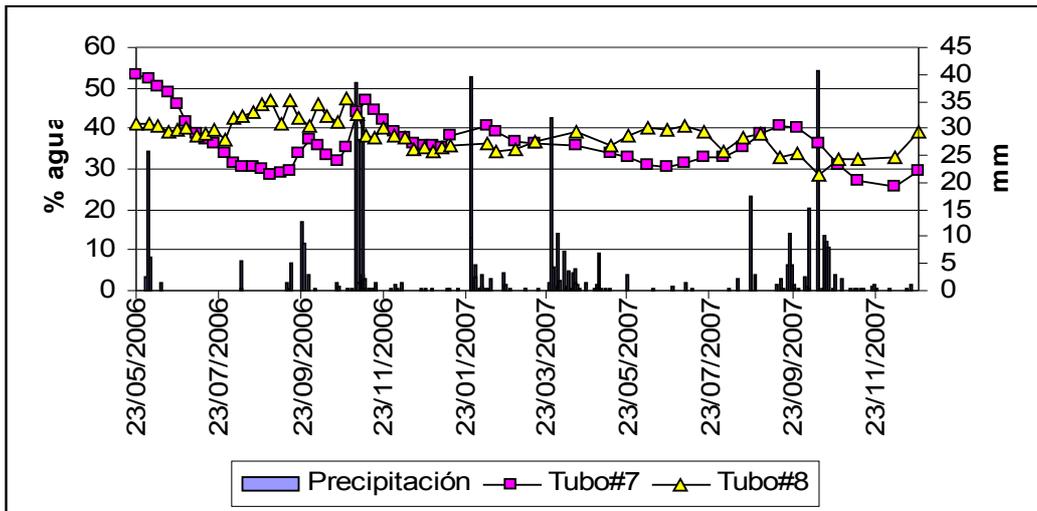


Figura 4-5. Evolución del promedio de la humedad en el total del perfil de suelo explorado en la finca M1.

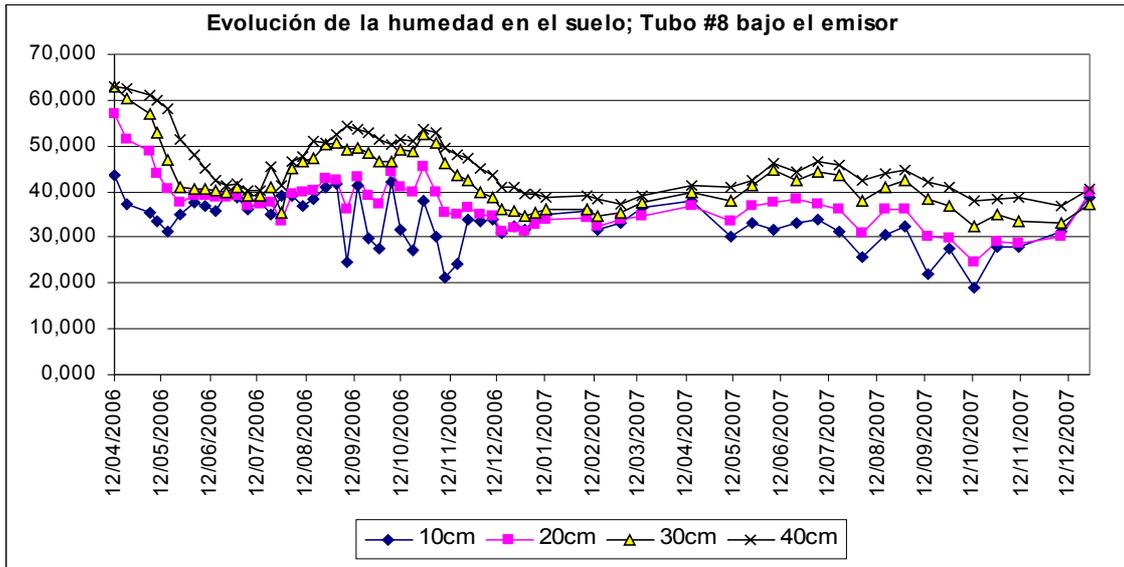


Figura 4-6. Evolución de la humedad medida en capas de 10cm de altura en el tubo #8 situado bajo el emisor.

En este gráfico se diferencian claramente los meses de mayor riego, agosto y septiembre. En las capas mas profundas del perfil del suelo se puede apreciar cómo aumenta el contenido en agua del suelo en estos meses y en la zona mas superficial se ven los mayores incrementos ya que es en esta zona donde el árbol tiende a captar el agua de riego.

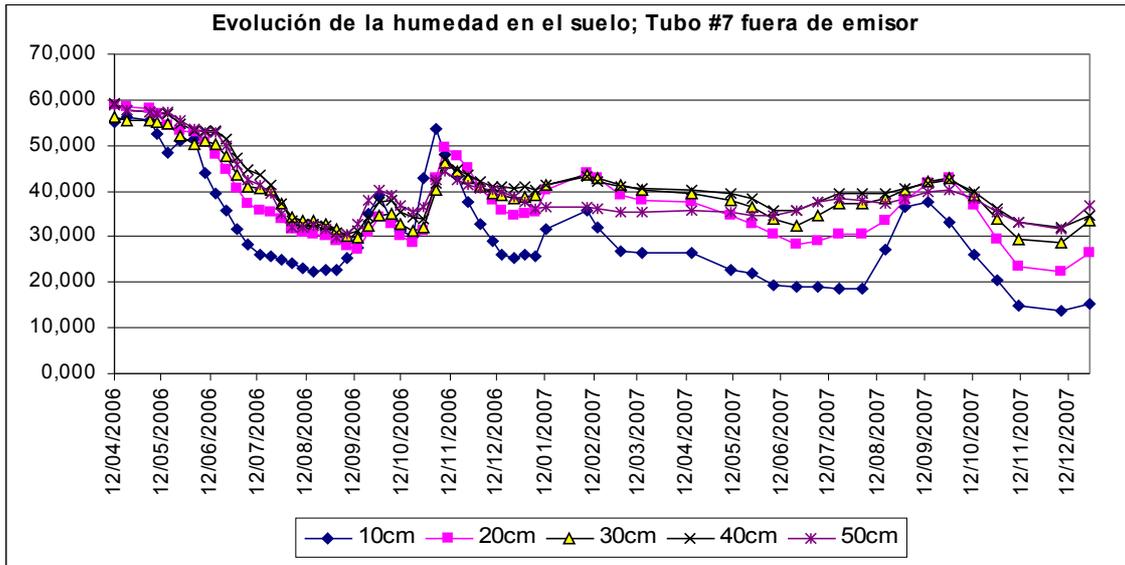


Figura 4-7. Evolución de la humedad medida en capas de 10cm de altura en el tubo #7 situado fuera del área del emisor.

Mandarinos 3 (M3):

Para esta finca se aprecia poca diferencia entre la serie de datos de humedad en el suelo medida bajo el emisor y medida fuera del área del emisor. Si bien puede apreciarse, al igual que en el resto de las fincas, una relación entre los incrementos de humedad y la precipitación en la zona no afectada por el emisor y los eventos de riego intensos ocurridos en los meses de septiembre y octubre.

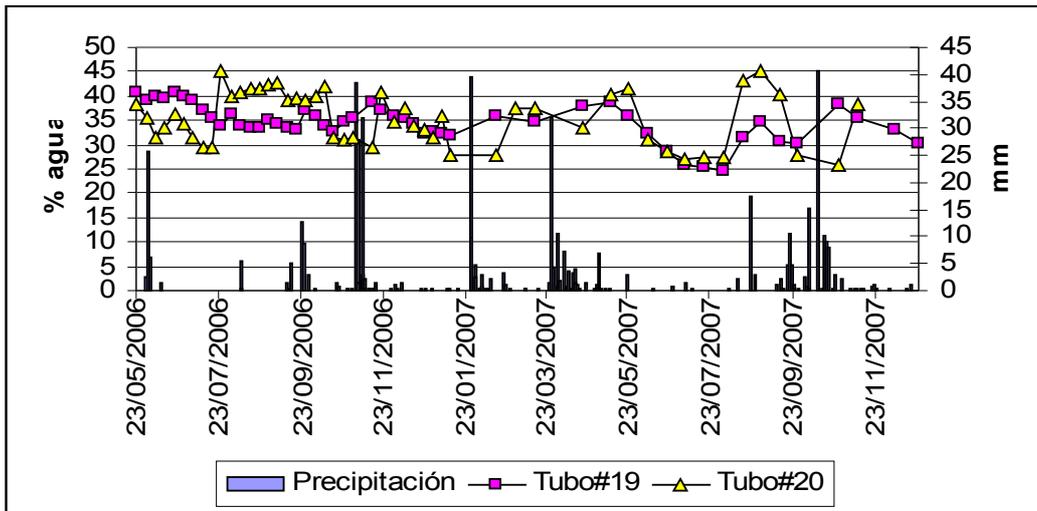


Figura 4-8. Evolución del promedio de la humedad en el total del perfil de suelo explorado en la finca M3.

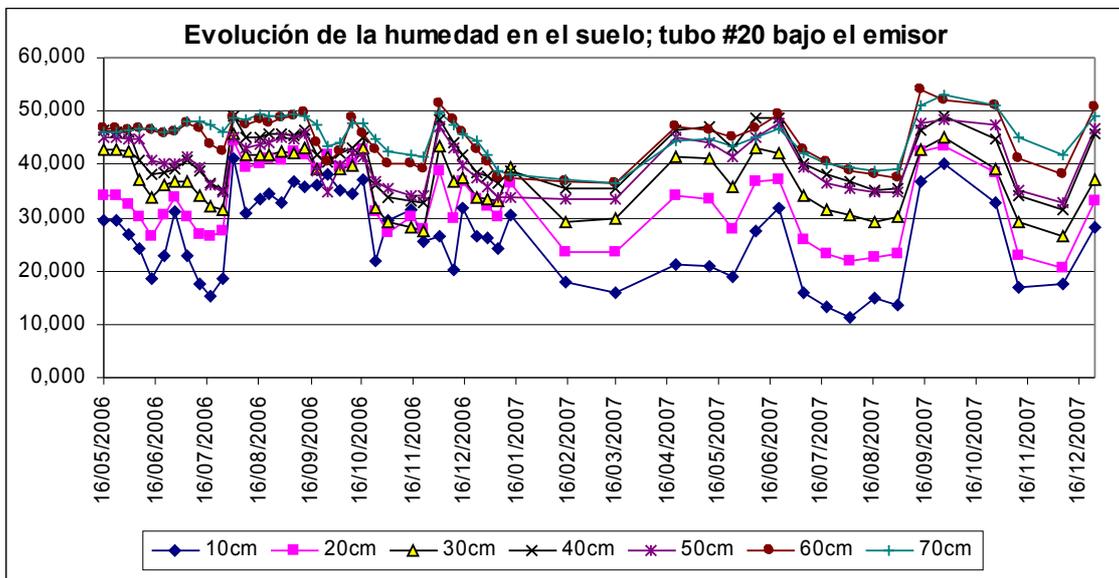


Figura 4-9. Evolución de la humedad medida en capas de 10cm de altura en el tubo #20 situado bajo el emisor .

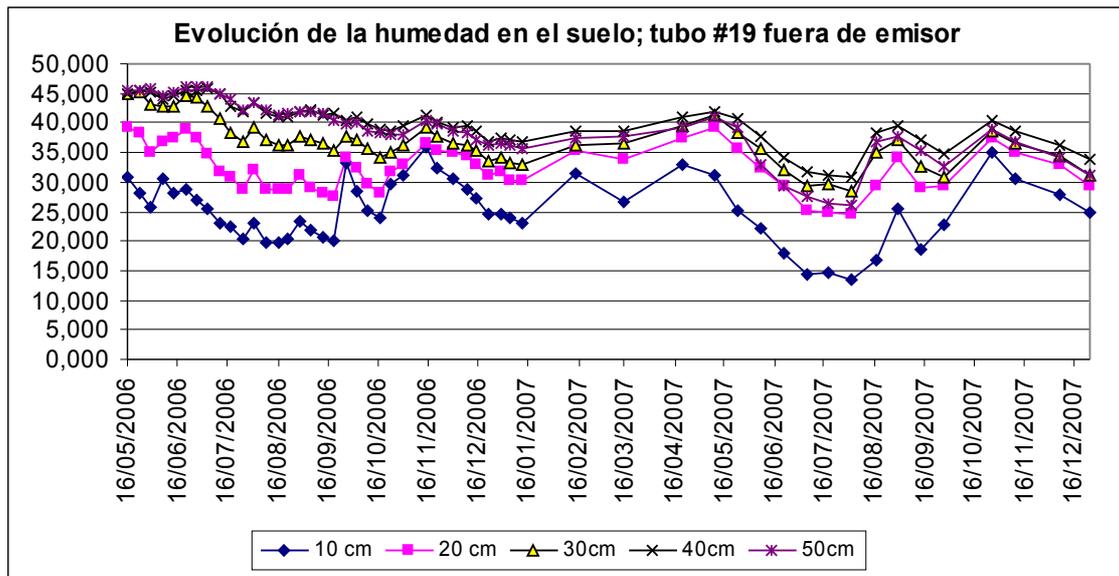


Figura 4-10. Evolución de la humedad medida en capas de 10cm de altura en el tubo #19 situado fuera del área del emisor.

4.2 Comparación entre la ETc calculada (método FAO) y medida (balance de agua).

4.2.1 ETc calculada según el método FAO.

Los gráficos siguientes ilustran la evolución del coeficiente de evapotranspiración del cultivo para las fincas estudiadas. En el gráficos se aprecia la diferencia entre la Kc bajo condiciones climáticas estándar (según el criterio adoptado por la FAO) y la Kc modificada para las condiciones de cultivo de las parcelas estudiadas. También se han incluido dos series mas: La ETo calculada con el método de Penman-Monteith y la ETc calculada con el coeficiente de evapotranspiración cultivo modificado.

4.2.1.1 Finca "Paraje El Moco"

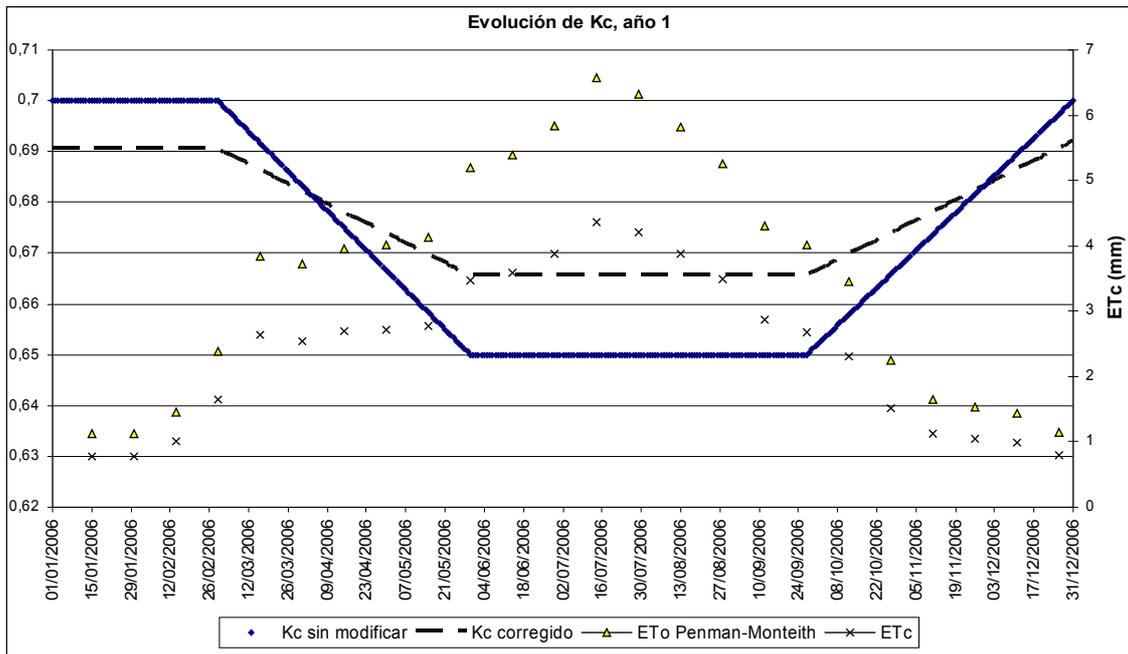


Figura 4-11. Evolución del coeficiente de evapotranspiración del cultivo, de ETo y de ETc para un cultivo que cubre el 70% del área de cultivo en el año 2006.

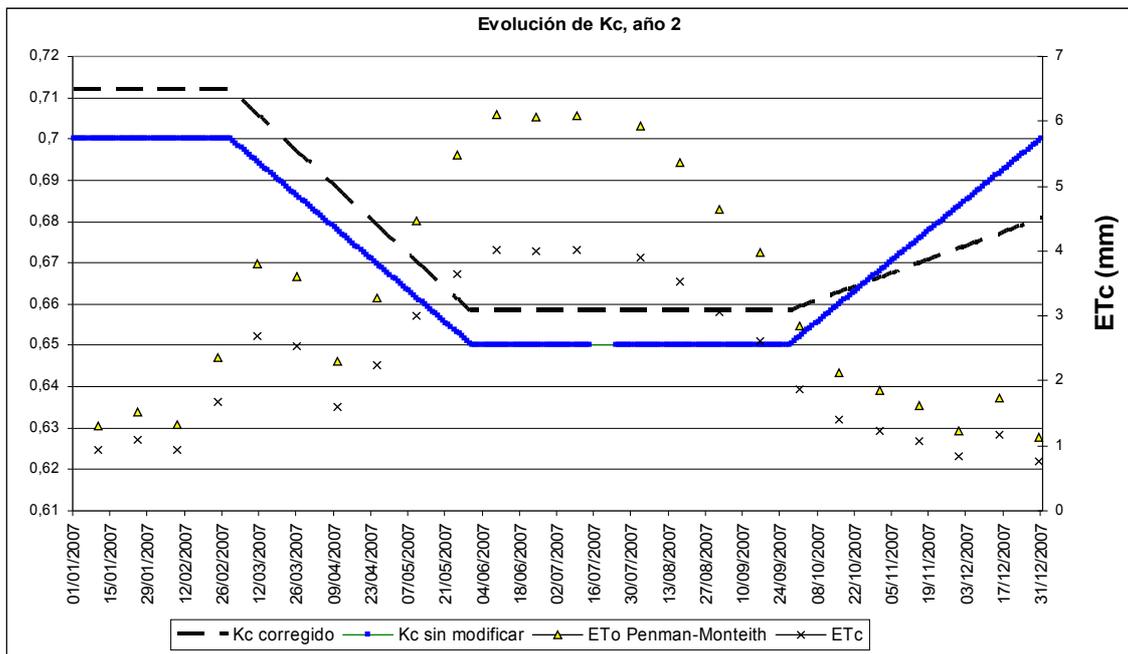


Figura 4-12. Evolución del coeficiente de evapotranspiración del cultivo, de ETo y de ETc para un cultivo que cubre el 70% del área de cultivo en el año 2007.

En estos de gráficos se puede observar que la Kc corregida sobrepasa en el año 2007 a la Kc sin modificar a principios de año. Esto posiblemente sea debido a que a principios del año 2007 se registraron una serie de fuertes vientos, lo que provocó un aumento de la ETc. Esta relación puede observarse en el gráfico siguiente.

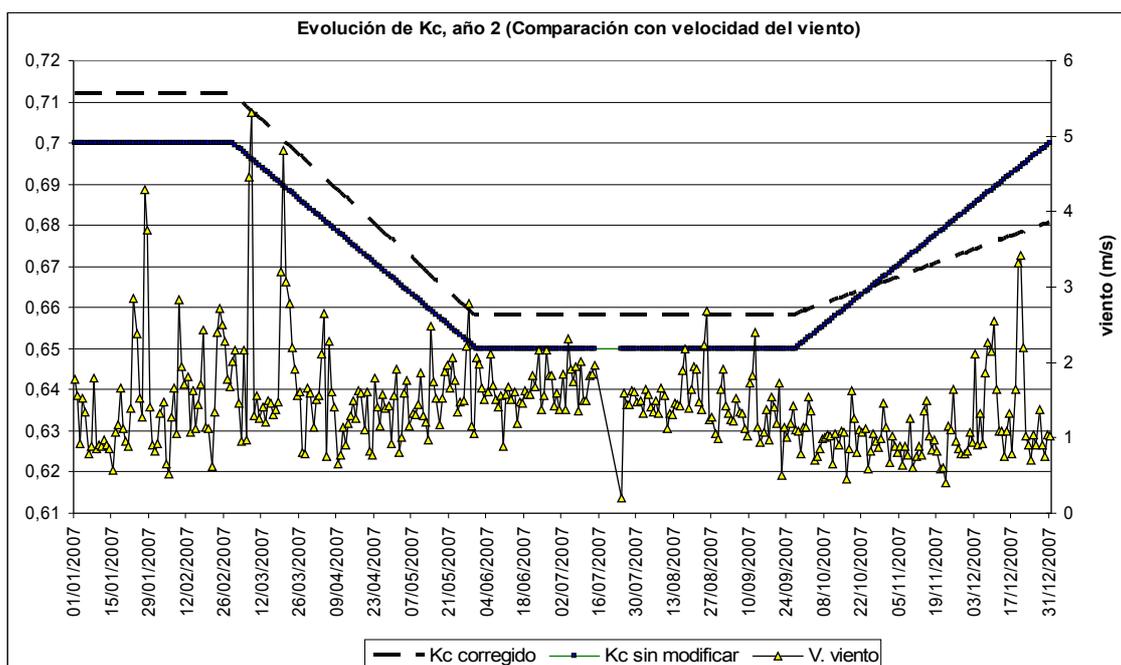


Figura 4-13. Relación entre la velocidad del viento y el coeficiente de evapotranspiración del cultivo en el año 2006.

4.2.1.2 Finca "Sicilia" y finca "Las Paleras"

Los coeficientes de cultivo calculados según el método de la FAO para estas dos fincas son los mismos ya que ambas tienen aproximadamente un 20% de área sombreada.

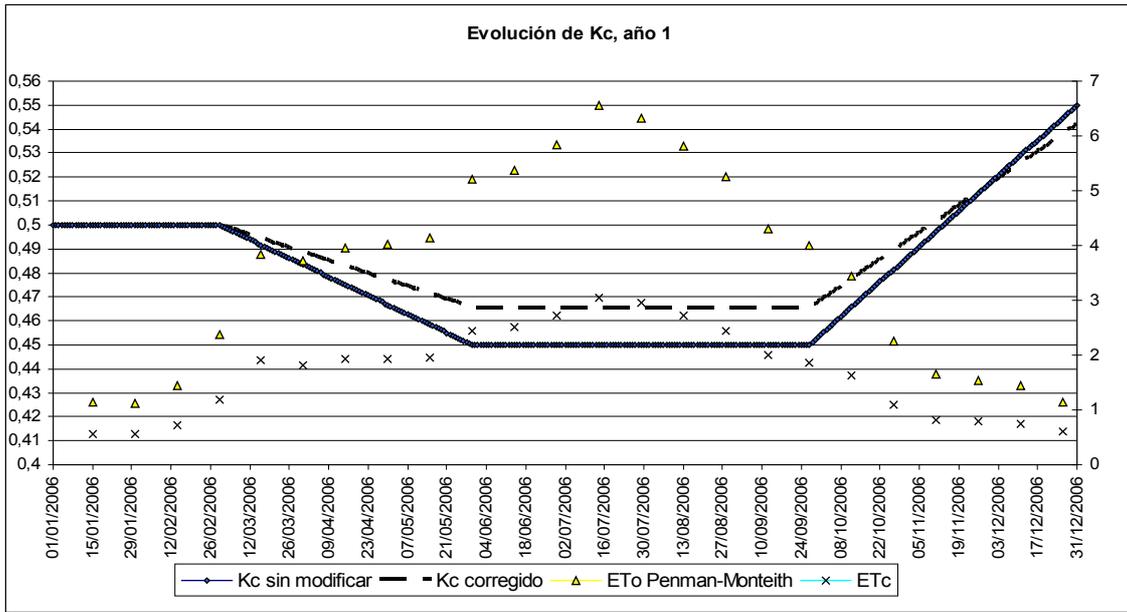


Figura 4-14. Evolución del coeficiente de evapotranspiración del cultivo, de ET_0 y de ET_c para un cultivo que cubre el 20% del área de cultivo en el año 2006.

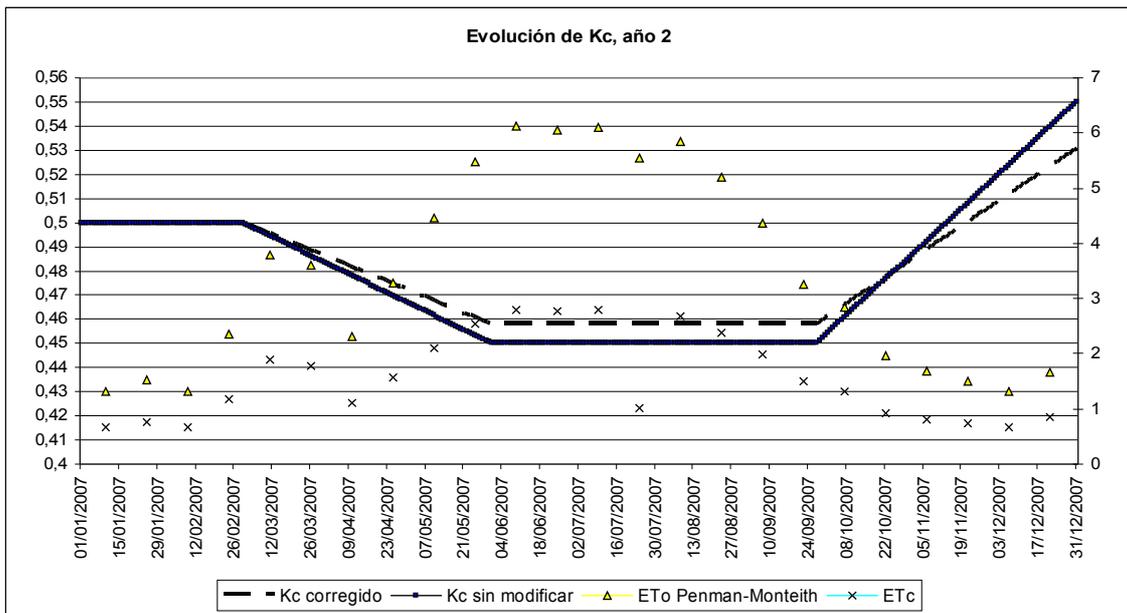


Figura 4-15. Evolución del coeficiente de evapotranspiración del cultivo, de ET_0 y de ET_c para un cultivo que cubre el 20% del área de cultivo en el año 2007.

4.2.2 Comparación entre la ETc calculada y la ETc medida mediante el balance de agua

En el siguiente cuadro se compara la evapotranspiración de los cultivos en los que se ha hecho el balance de agua y la evapotranspiración medida mediante el método que propone la FAO partiendo de la evapotranspiración de referencia medida con el método Penman-Monteith.

Tabla 4-1. Resultados de los cálculos de evapotranspiración.

<i>Mes</i>	<i>NI</i>		<i>MI</i>		<i>M3</i>	
	<i>ETc balance</i>	<i>ETc FAO</i>	<i>ETc balance</i>	<i>ETc FAO</i>	<i>ETc balance</i>	<i>ETc FAO</i>
<i>Marzo</i>	47,87	75,62	37,50	53,06	27,73	53,06
<i>Abril</i>	34,30	62,79	18,65	43,90	22,26	43,90
<i>Mayo</i>	61,93	113,21	42,62	78,93	41,68	78,93
<i>Junio</i>	62,39	117,94	33,37	82,11	64,32	82,11
<i>Julio</i>	78,64	87,14	46,58	60,67	39,49	60,67
<i>Agosto</i>	167,62	104,07	92,50	72,45	75,49	72,45
<i>Septiembre</i>	66,36	67,98	49,43	47,38	50,98	47,38
<i>Octubre</i>	54,03	41,75	63,21	29,74	98,21	29,74
<i>Noviembre</i>	11,84	28,61	10,39	21,16	21,31	21,16
<i>Diciembre</i>	43,11	29,95	6,42	22,92	15,75	22,92

Se puede observar cómo en los meses en los que el riego ha sido deficitario, la evapotranspiración del cultivo ha sido menor a la que la FAO considera máxima para un cultivo regado al 100% de sus necesidades. Mientras que lo contrario ocurre en los meses en los que el riego ha sido excesivo.

Este mismo hecho puede constatarse en la siguiente tabla, en la que se comparan los coeficientes de cultivo obtenidos en el balance de agua y los que se han calculado con la metodología de la FAO.

Tabla 4-2. Comparación entre los coeficientes de cultivo medidos en el balance de agua y los estimados mediante el método de la FAO.

<i>Mes</i>	<i>N1</i>		<i>M1</i>		<i>M3</i>	
	<i>Kc balance</i>	<i>Kc FAO</i>	<i>Kc balance</i>	<i>Kc FAO</i>	<i>Kc balance</i>	<i>Kc FAO</i>
<i>Marzo</i>	0,45	0,7	0,35	0,49	0,26	0,49
<i>Abril</i>	0,37	0,68	0,20	0,48	0,24	0,48
<i>Mayo</i>	0,36	0,67	0,25	0,46	0,25	0,46
<i>Junio</i>	0,35	0,66	0,19	0,46	0,36	0,46
<i>Julio</i>	0,43	0,66	0,26	0,46	0,22	0,46
<i>Agosto</i>	1,15	0,66	0,63	0,46	1,04	0,46
<i>Septiembre</i>	0,75	0,66	0,56	0,46	0,57	0,46
<i>Octubre</i>	0,99	0,66	1,16	0,47	1,80	0,47
<i>Noviembre</i>	0,26	0,67	0,23	0,49	0,47	0,49
<i>Diciembre</i>	1,27	0,68	0,19	0,52	0,46	0,52

Para el caso de la finca “N1”, el exceso en el agua de riego ocurrió en los meses de agosto y diciembre y precisamente es en estos dos meses en los que el coeficiente de evapotranspiración del cultivo superó la unidad. Durante el mes de octubre, el coeficiente Kc casi alcanzó la unidad, esto posiblemente se debió a que durante este mes se dieron las lluvias más abundante del año. Todo ello ocurre también en el resto de fincas.

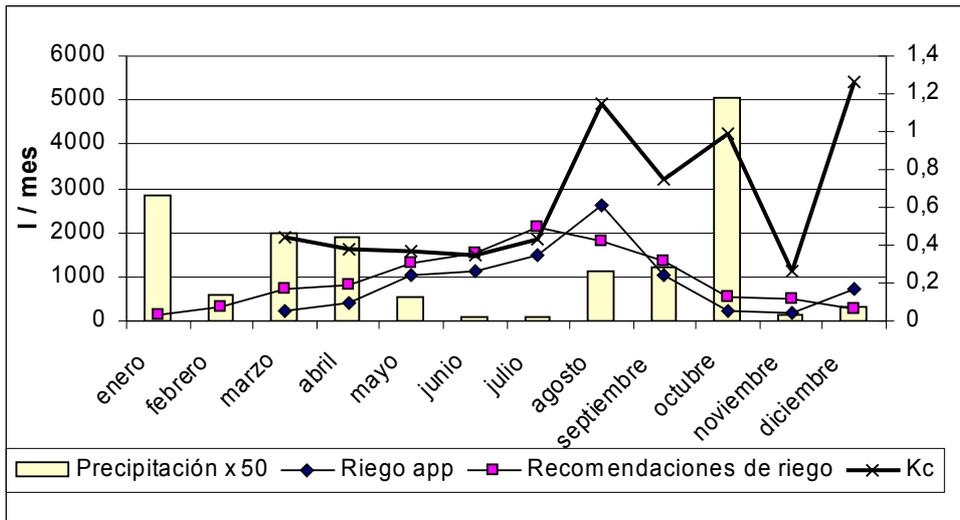


Figura 4-16. Evolución del coeficiente de cultivo para la finca N1.

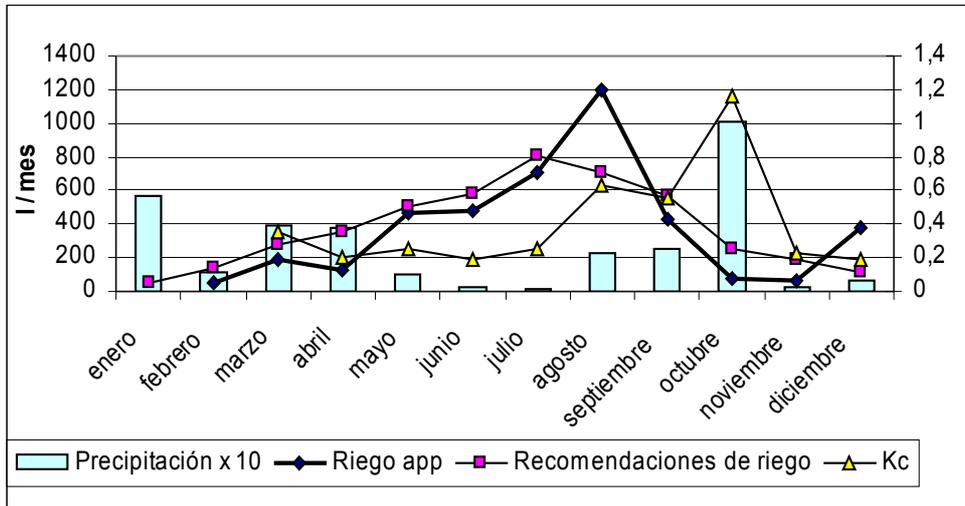


Figura 4-17. Evolución del coeficiente de cultivo para la finca M1.

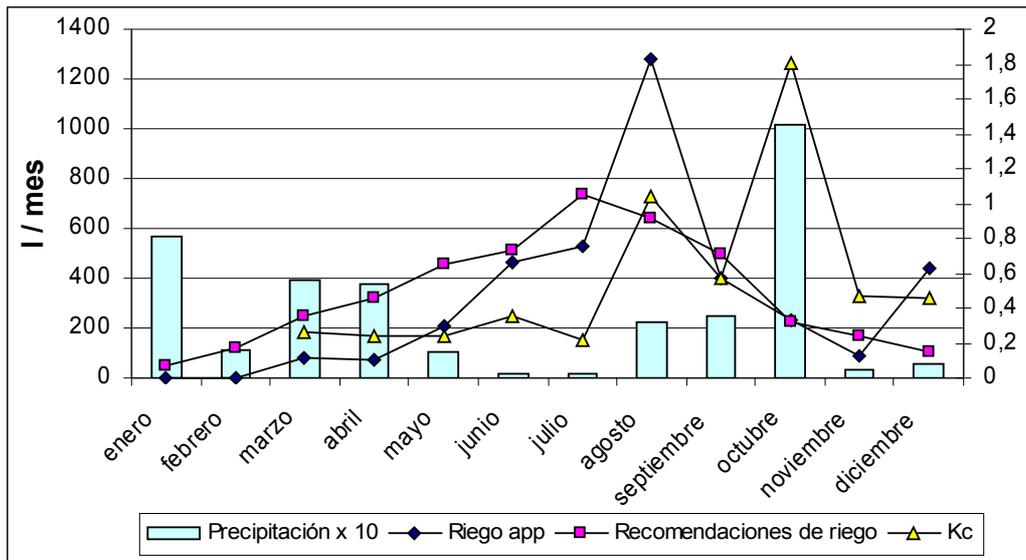


Figura 4-18. Evolución del coeficiente de cultivo para la finca M3.

4.3. Necesidades de riego calculadas y riego efectivo de las parcelas.

A continuación se presentan las dosis de riego calculadas según el método del S.I.A.M. del I.M.I.D.A. y la calculada mediante el programa *ParLoc* del I.V.I.A. y se comparan con la aplicada por el agricultor.

Naranjos 1 (N1):

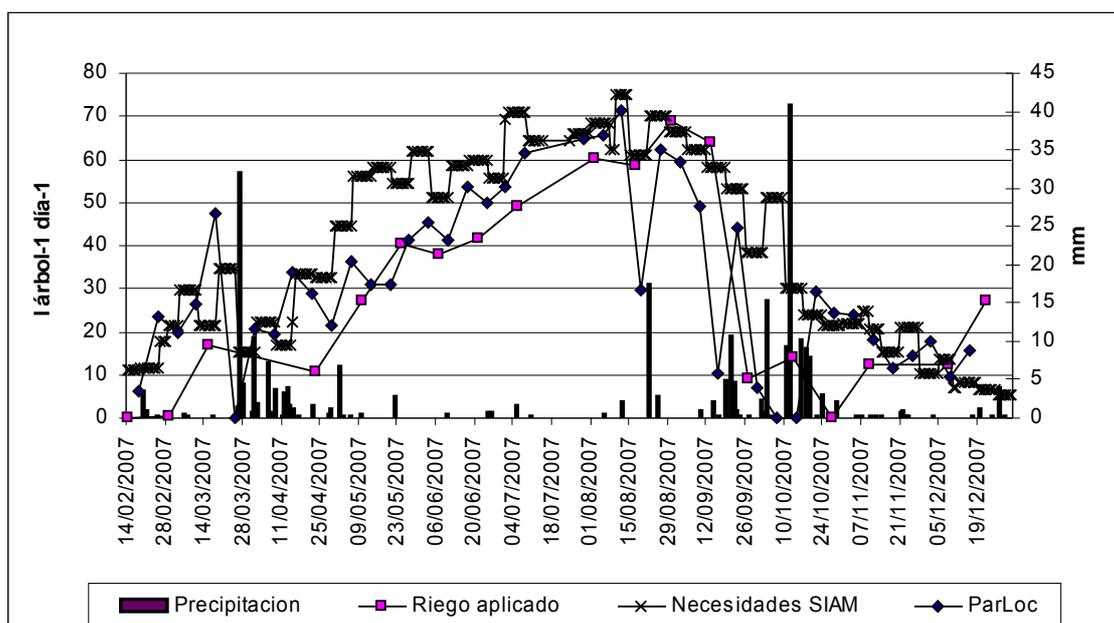


Figura 4-19. Gráfico comparativo entre el riego aplicado por el agricultor, el riego calculado y las recomendaciones del S.I.A.M. para la finca "N1"

Se puede ver en este gráfico cómo las necesidades calculadas por el S.I.A.M. son algo mayores que las que estima el I.M.I.D.A. Además el S.I.A.M. no parece tener en cuenta la precipitación.

Para el caso de la finca N1 se observa que el agricultor ha regado ligeramente por debajo de las dosis de riego aconsejadas por el S.I.A.M. y el I.M.I.D.A. Ajustándose sólo a éstas en los meses de agosto y septiembre. También el riego durante la segunda mitad de octubre ha sido deficitario.

Tabla 4-3 Comparativa entre la dosis aplicada por el agricultor y las recomendaciones del S.I.A.M. y del ParLoc para la finca “N1”.

	<i>Riego app (l/árbol)</i>	<i>Riego ParLoc (l/árbol)</i>	<i>Riego SIAM (l/árbol)</i>	<i>defecto (l/árbol)</i>	<i>exceso (l/árbol)</i>
<i>enero</i>		96,00	184,14		
<i>febrero</i>		338,00	312,48		
<i>marzo</i>	245,76	655,00	756,00	-459,65	
<i>abril</i>	415,32	869,00	793,80	-416,27	
<i>mayo</i>	1028,13	976,00	1641,60	-280,47	
<i>junio</i>	1114,66	1329,00	1701,00	-400,54	
<i>julio</i>	1486,47	2195,00	2025,00	-623,62	
<i>agosto</i>	2615,29	1600,00	2003,40		813,60
<i>septiembre</i>	1024,70	1189,00	1522,80	-331,16	
<i>octubre</i>	226,58	376,00	739,80	-331,08	
<i>noviembre</i>	170,52	474,00	475,20	-303,88	
<i>diciembre</i>	731,47	396,00	172,80		446,94
<i>TOTAL</i>	<i>9058,94</i>	<i>10059,00</i>	<i>11831,40</i>	<i>-3146,69</i>	<i>1260,55</i>

Mandarinos 1 (M1):

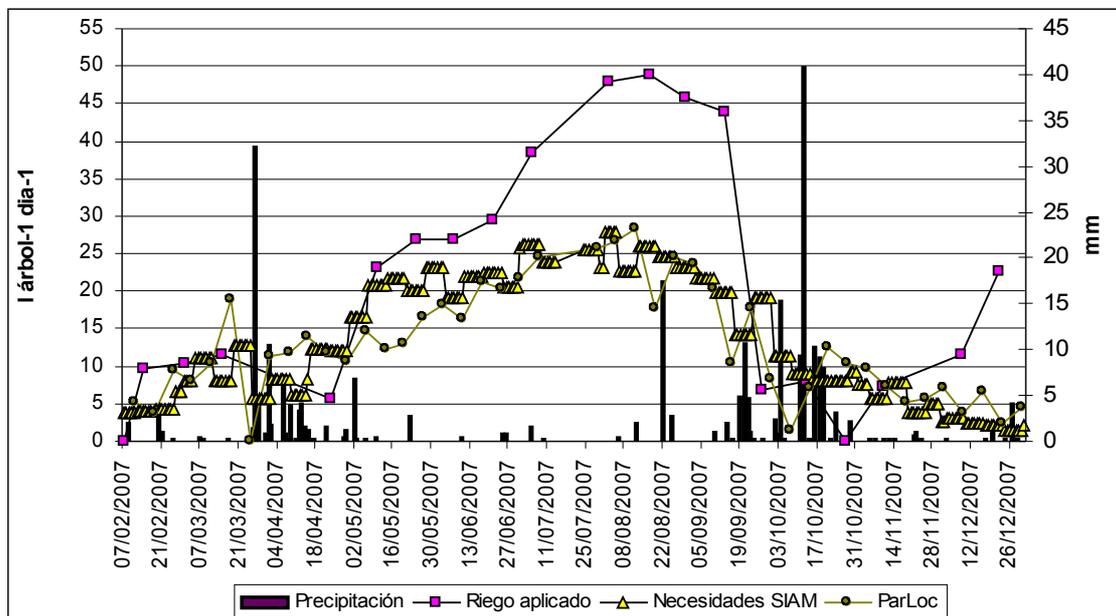


Figura 4-20. Gráfico comparativo entre el riego aplicado por el agricultor, el riego calculado y las recomendaciones del S.I.A.M para la finca “M1”.

En este caso, se aprecia que el agricultor ha aplicado un riego excesivo durante los meses de verano y al final del año.

Tabla 4-4. Comparativa entre la dosis aplicada por el agricultor y las recomendaciones del S.I.A.M. y del ParLoc para la finca “M1”.

	<i>Riego aplicado (l/árbol)</i>	<i>Riego ParLoc (l/árbol)</i>	<i>Riego S.I.A.M. (l/árbol)</i>	<i>Defecto (l/árbol)</i>	<i>Exceso (l/árbol)</i>
<i>enero</i>		41,33	66,96		
<i>febrero</i>	49,65	149,17	117,04	-83,45	
<i>marzo</i>	190,72	261,33	290,16	-85,02	
<i>abril</i>	131,66	416,87	293,70	-223,61	
<i>mayo</i>	461,73	393,54	609,00	-39,53	
<i>junio</i>	473,64	531,34	630,60	-107,33	
<i>julio</i>	706,22	874,24	751,80	-106,79	
<i>agosto</i>	1199,16	681,57	743,10		486,83
<i>septiembre</i>	425,24	561,50	565,80	-138,41	
<i>octubre</i>	76,21	219,71	276,60	-171,94	
<i>noviembre</i>	61,39	194,06	177,00	-124,13	
<i>diciembre</i>	383,55	169,63	64,80		266,33
<i>TOTAL</i>	<i>4159,22</i>	<i>4453,02</i>	<i>4519,60</i>	<i>-1080,25</i>	<i>753,16</i>

En esta finca se observa que si el manejo del riego a lo largo del año hubiese sido el correcto, prácticamente se hubiesen cubierto el 100% de las necesidades hídricas.

Mandarinos 3 (M3):

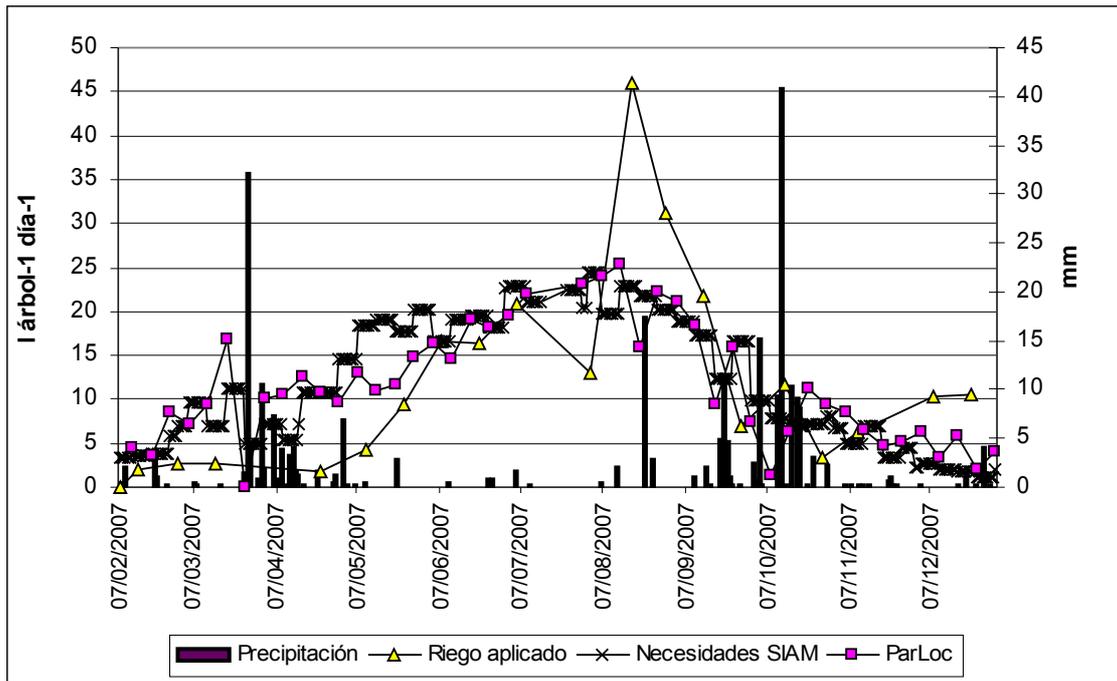


Figura 4-21. Gráfico comparativo entre el riego aplicado por el agricultor, el riego calculado y las recomendaciones del S.I.A.M. para la finca “M3”

En esta finca se aprecia que el riego ha sido deficitario desde el principio del año hasta junio aproximadamente. A partir de julio el riego es excesivo, volviendo a la dosis adecuada a partir de septiembre. También al final del año el riego ha sido excesivo.

Tabla 4-5. Comparativa entre la dosis aplicada por el agricultor y las recomendaciones del S.I.A.M. y del ParLoc en la finca “M3”.

	Riego app (l/árbol)	Riego ParLoc (l/árbol)	Riego S.I.A.M (l/árbol)	defecto (l/árbol)	exceso (l/árbol)
enero	-	37,28	61,38		
febrero	-	134,01	99,68		
marzo	78,09	234,59	253,58	-165,99	
abril	71,06	374,70	257,40	-244,99	
mayo	204,17	353,29	552,42	-248,68	
junio	460,27	476,96	554,40	-55,41	
julio	525,96	784,76	683,24	-208,03	
agosto	1279,24	612,11	675,18		635,53
septiembre	400,27	504,65	495,00	-99,55	
octubre	230,79	198,43	249,55		6,80
noviembre	86,65	174,24	154,50	-77,71	
diciembre	437,13	152,35	57,35		332,28
TOTAL	3773,67	3866,12	3932,62	-1100,37	974,67

En esta finca se observa que si el manejo del riego a lo largo del año hubiese sido el correcto, prácticamente se hubiesen cubierto el 100% de las necesidades hídricas.

4.4 Programación de riegos teórica para las parcelas estudiadas.

El cuadro siguiente muestra la programación semanal de riegos que el agricultor debería hacer usado según las estimaciones que el I.V.I.A. Proporciona mediante su programa de asesoramiento en riego localizado. Esta programación se calcula teniendo en cuenta el marco de plantación, el diámetro de copa, la dosis de riego que debe percibir el árbol y otras variables. También, en el mismo cuadro, se incluye una aproximación a la programación de riegos que ha aplicado cada agricultor. No ha sido posible conocer con exactitud la programación de riegos de los agricultores pues éstos no han llevado un control y un registro del riego que permitiese saber esta programación con exactitud.

Finca “N1”

Tabla 4-6. Programación de riegos semanal para la finca “N1”

mes	n° de semana				Tiempo de riego semanal óptimo (h)	Tiempo de riego semanal real (h)	
enero	1	del	01/01/2007	al	07/01/2007	0,90	
	2	del	08/01/2007	al	14/01/2007	5,11	
	3	del	15/01/2007	al	21/01/2007	0,00	
	4	del	22/01/2007	al	28/01/2007	0,00	
febrero	5	del	29/01/2007	al	04/02/2007	2,42	
	6	del	05/02/2007	al	11/02/2007	5,60	
	7	del	12/02/2007	al	18/02/2007	2,76	
	8	del	19/02/2007	al	25/02/2007	10,37	
marzo	9	del	26/02/2007	al	04/03/2007	8,72	
	10	del	05/03/2007	al	11/03/2007	11,47	
	11	del	12/03/2007	al	18/03/2007	20,74	0,21
	12	del	19/03/2007	al	25/03/2007	0,00	4,35
abril	13	del	26/03/2007	al	01/04/2007	9,09	7,45
	14	del	02/04/2007	al	08/04/2007	8,39	7,45
	15	del	09/04/2007	al	15/04/2007	14,88	7,45
	16	del	16/04/2007	al	22/04/2007	12,62	7,45
	17	del	23/04/2007	al	29/04/2007	9,36	7,45
mayo	18	del	30/04/2007	al	06/05/2007	15,93	4,66
	19	del	07/05/2007	al	13/05/2007	13,45	4,66
	20	del	14/05/2007	al	20/05/2007	13,46	8,83
	21	del	21/05/2007	al	27/05/2007	18,13	11,95
junio	22	del	28/05/2007	al	03/06/2007	19,88	15,19
	23	del	04/06/2007	al	10/06/2007	17,98	17,62
	24	del	11/06/2007	al	17/06/2007	23,49	17,03
	25	del	18/06/2007	al	24/06/2007	21,75	16,60
julio	26	del	25/06/2007	al	01/07/2007	23,53	17,53
	27	del	02/07/2007	al	08/07/2007	26,93	18,23
	28	del	09/07/2007	al	15/07/2007	28,66	20,09

	29	del	16/07/2007	al	22/07/2007	29,69	21,48
	30	del	23/07/2007	al	29/07/2007	28,39	21,48
agosto	31	del	30/07/2007	al	05/08/2007	28,70	25,67
	32	del	06/08/2007	al	12/08/2007	31,13	26,37
	33	del	13/08/2007	al	19/08/2007	13,01	25,80
	34	del	20/08/2007	al	26/08/2007	27,15	25,57
septiembre	35	del	27/08/2007	al	02/09/2007	25,99	29,46
	36	del	03/09/2007	al	09/09/2007	21,47	30,11
	37	del	10/09/2007	al	16/09/2007	4,50	28,34
	38	del	17/09/2007	al	23/09/2007	19,36	28,04
	39	del	24/09/2007	al	30/09/2007	2,99	7,42
octubre	40	del	01/10/2007	al	07/10/2007	0,00	3,98
	41	del	08/10/2007	al	14/10/2007	0,00	5,20
	42	del	15/10/2007	al	21/10/2007	12,75	6,12
	43	del	22/10/2007	al	28/10/2007	10,72	2,67
noviembre	44	del	29/10/2007	al	04/11/2007	10,41	0,08
	45	del	05/11/2007	al	11/11/2007	7,86	3,08
	46	del	12/11/2007	al	18/11/2007	5,03	5,33
	47	del	19/11/2007	al	25/11/2007	6,30	5,33
diciembre	48	del	26/11/2007	al	02/12/2007	7,68	5,33
	49	del	03/12/2007	al	09/12/2007	4,19	5,41
	50	del	10/12/2007	al	16/12/2007	6,77	5,46
	51	del	17/12/2007	al	23/12/2007	1,11	9,16
	52	del	24/12/2007	al	30/12/2007	5,02	
	53	del	31/12/2007	al	06/01/2008	4,42	

Tabla 4-7. Programación de riegos semanal para la finca “M1”

mes	n° de semana				Tiempo de riego semanal óptimo (h)	Tiempo de riego semanal real (h)
enero	1	del	01/01/2007	al	07/01/2007	0,39
	2	del	08/01/2007	al	14/01/2007	1,97

	3	del	15/01/2007	al	21/01/2007	0,00	
	4	del	22/01/2007	al	28/01/2007	0,13	
febrero	5	del	29/01/2007	al	04/02/2007	1,24	
	6	del	05/02/2007	al	11/02/2007	2,13	
	7	del	12/02/2007	al	18/02/2007	1,63	
	8	del	19/02/2007	al	25/02/2007	3,94	
marzo	9	del	26/02/2007	al	04/03/2007	3,39	5,61
	10	del	05/03/2007	al	11/03/2007	4,38	5,87
	11	del	12/03/2007	al	18/03/2007	7,87	6,07
	12	del	19/03/2007	al	25/03/2007	0,00	6,45
abril	13	del	26/03/2007	al	01/04/2007	4,71	6,74
	14	del	02/04/2007	al	08/04/2007	4,95	6,74
	15	del	09/04/2007	al	15/04/2007	5,88	6,74
	16	del	16/04/2007	al	22/04/2007	4,99	6,74
	17	del	23/04/2007	al	29/04/2007	4,46	6,74
mayo	18	del	30/04/2007	al	06/05/2007	6,10	3,28
	19	del	07/05/2007	al	13/05/2007	5,11	3,28
	20	del	14/05/2007	al	20/05/2007	5,46	9,11
	21	del	21/05/2007	al	27/05/2007	6,88	13,49
junio	22	del	28/05/2007	al	03/06/2007	7,60	14,74
	23	del	04/06/2007	al	10/06/2007	6,83	15,69
	24	del	11/06/2007	al	17/06/2007	8,92	15,70
	25	del	18/06/2007	al	24/06/2007	8,46	15,71
julio	26	del	25/06/2007	al	01/07/2007	9,14	16,55
	27	del	02/07/2007	al	08/07/2007	10,25	17,19
	28	del	09/07/2007	al	15/07/2007	10,88	20,20
	29	del	16/07/2007	al	22/07/2007	11,27	22,46
	30	del	23/07/2007	al	29/07/2007	10,78	22,46
agosto	31	del	30/07/2007	al	05/08/2007	11,20	27,15
	32	del	06/08/2007	al	12/08/2007	11,82	27,93
	33	del	13/08/2007	al	19/08/2007	7,48	28,34
	34	del	20/08/2007	al	26/08/2007	10,31	28,50
septiembre	35	del	27/08/2007	al	02/09/2007	9,87	26,97
	36	del	03/09/2007	al	09/09/2007	8,55	26,72
	37	del	10/09/2007	al	16/09/2007	4,35	25,75
	38	del	17/09/2007	al	23/09/2007	7,40	25,59
	39	del	24/09/2007	al	30/09/2007	3,47	7,03

octubre	40	del	01/10/2007	al	07/10/2007	0,66	3,94
	41	del	08/10/2007	al	14/10/2007	2,98	4,34
	42	del	15/10/2007	al	21/10/2007	5,24	4,63
	43	del	22/10/2007	al	28/10/2007	4,35	1,98
noviembre	44	del	29/10/2007	al	04/11/2007	4,03	0,00
	45	del	05/11/2007	al	11/11/2007	3,03	2,44
	46	del	12/11/2007	al	18/11/2007	2,16	4,26
	47	del	19/11/2007	al	25/11/2007	2,39	4,26
diciembre	48	del	26/11/2007	al	02/12/2007	2,94	4,26
	49	del	03/12/2007	al	09/12/2007	1,59	5,65
	50	del	10/12/2007	al	16/12/2007	2,75	6,69
	51	del	17/12/2007	al	23/12/2007	0,97	10,44
	52	del	24/12/2007	al	30/12/2007	1,90	
	53	del	31/12/2007	al	06/01/2008	1,70	

Tabla 4-8. Programación de riegos semanal para la finca “M3”

mes	n° de semana					Tiempo de riego semanal óptimo (h)	Tiempo de riego semanal real (h)
enero	1	del	01/01/2007	al	07/01/2007	0,65	
	2	del	08/01/2007	al	14/01/2007	3,28	
	3	del	15/01/2007	al	21/01/2007	0,00	
	4	del	22/01/2007	al	28/01/2007	0,21	
febrero	5	del	29/01/2007	al	04/02/2007	2,07	
	6	del	05/02/2007	al	11/02/2007	3,54	
	7	del	12/02/2007	al	18/02/2007	2,71	
	8	del	19/02/2007	al	25/02/2007	6,56	
marzo	9	del	26/02/2007	al	04/03/2007	5,64	1,62
	10	del	05/03/2007	al	11/03/2007	7,30	1,86
	11	del	12/03/2007	al	18/03/2007	13,12	2,04
	12	del	19/03/2007	al	25/03/2007	0,00	2,10
abril	13	del	26/03/2007	al	01/04/2007	7,85	2,15
	14	del	02/04/2007	al	08/04/2007	8,24	2,15

	15	del	09/04/2007	al	15/04/2007	9,80	2,15
	16	del	16/04/2007	al	22/04/2007	8,32	2,15
	17	del	23/04/2007	al	29/04/2007	7,43	2,15
mayo	18	del	30/04/2007	al	06/05/2007	10,16	1,42
	19	del	07/05/2007	al	13/05/2007	8,51	1,42
	20	del	14/05/2007	al	20/05/2007	9,11	2,47
	21	del	21/05/2007	al	27/05/2007	11,47	3,26
junio	22	del	28/05/2007	al	03/06/2007	12,66	5,62
	23	del	04/06/2007	al	10/06/2007	11,38	7,38
	24	del	11/06/2007	al	17/06/2007	14,86	10,49
	25	del	18/06/2007	al	24/06/2007	14,10	12,82
julio	26	del	25/06/2007	al	01/07/2007	15,23	12,78
	27	del	02/07/2007	al	08/07/2007	17,08	12,75
	28	del	09/07/2007	al	15/07/2007	18,13	14,77
	29	del	16/07/2007	al	22/07/2007	18,79	16,28
	30	del	23/07/2007	al	29/07/2007	17,97	16,28
agosto	31	del	30/07/2007	al	05/08/2007	18,66	11,05
	32	del	06/08/2007	al	12/08/2007	19,70	10,18
	33	del	13/08/2007	al	19/08/2007	12,47	28,46
	34	del	20/08/2007	al	26/08/2007	17,18	35,77
septiembre	35	del	27/08/2007	al	02/09/2007	16,45	25,94
	36	del	03/09/2007	al	09/09/2007	14,26	24,30
	37	del	10/09/2007	al	16/09/2007	7,25	17,96
	38	del	17/09/2007	al	23/09/2007	12,33	16,91
	39	del	24/09/2007	al	30/09/2007	5,79	6,98
octubre	40	del	01/10/2007	al	07/10/2007	1,10	5,33
	41	del	08/10/2007	al	14/10/2007	4,97	7,43
	42	del	15/10/2007	al	21/10/2007	8,74	9,00
	43	del	22/10/2007	al	28/10/2007	7,24	5,31
noviembre	44	del	29/10/2007	al	04/11/2007	6,71	2,54
	45	del	05/11/2007	al	11/11/2007	5,05	3,84
	46	del	12/11/2007	al	18/11/2007	3,60	4,81
	47	del	19/11/2007	al	25/11/2007	3,99	4,81
diciembre	48	del	26/11/2007	al	02/12/2007	4,90	4,81
	49	del	03/12/2007	al	09/12/2007	2,65	6,68
	50	del	10/12/2007	al	16/12/2007	4,58	8,07
	51	del	17/12/2007	al	23/12/2007	1,62	8,11

	52	del	24/12/2007	al	30/12/2007	3,17	
	53	del	31/12/2007	al	06/01/2008	2,84	

4.5 Propuesta de programación de riegos usando la técnica RDC.

Para hacer la programación de riegos usando técnicas de RDC, se tomaron como base los estudios realizados por P. González Altozano en 2003 sobre mandarinos de la variedad *Clementina de Nules*. En este estudio se vio que el mejor momento para aplicar estrategias de RDC es en la fase de crecimiento inicial del fruto, en pleno verano. Éste investigador comprobó que una reducción del 50% en el agua de riego durante los meses de julio y agosto no tuvo repercusiones en la producción relativa de los árboles. En lo que refiere a la cosecha, los únicos parámetros que variaron fueron el número de frutos (que aumentó) y el peso medio de éstos. Una reducción del 75% en el agua de riego durante los mismos meses que en el caso anterior provocó una disminución de la cosecha del 4%, manteniéndose estable el número de frutos por árbol y el peso medio de éstos.

Para el caso de la finca “N1” y utilizando como riego óptimo el promedio de las dosis especificadas por el S.I.A.M. y el I.V.I.A, se comprueba que aplicando las estrategias de riego deficitario controlado que ensayó P. González Altozano en 2003 podemos obtener un ahorro de agua del 18% a lo largo del año si se aplica la estrategia de reducir la dosis de riego al 50% durante los meses de julio y agosto. Aplicando el segundo tratamiento, con el cual reducimos el aporte de agua en un 75% durante los mismos meses, conseguimos un ahorro de agua del 27% anual.

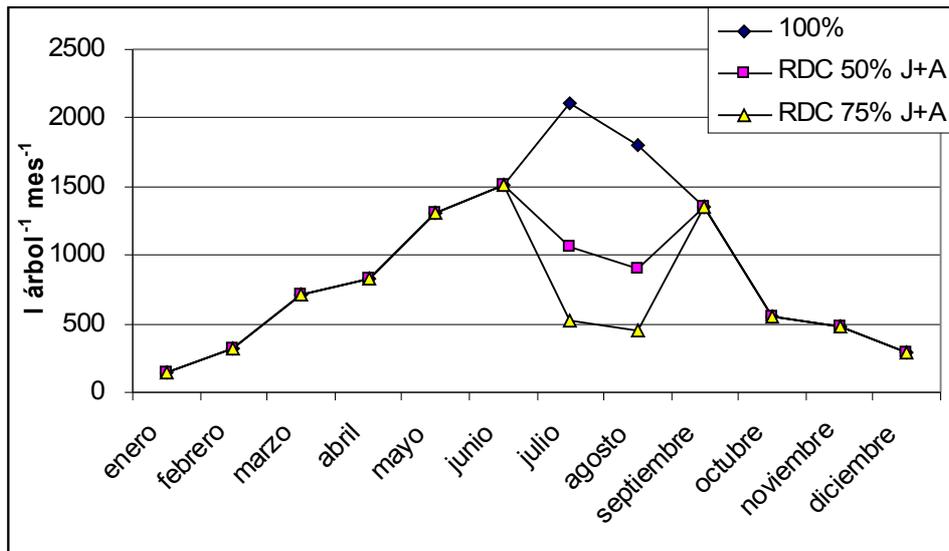


Figura 4-22. Dosis mensuales de riego en la finca “N1” usando estrategias de RDC.

Para la finca “M1” podemos obtener unos ahorros en el agua de riego del 17% y del 26% respectivamente.

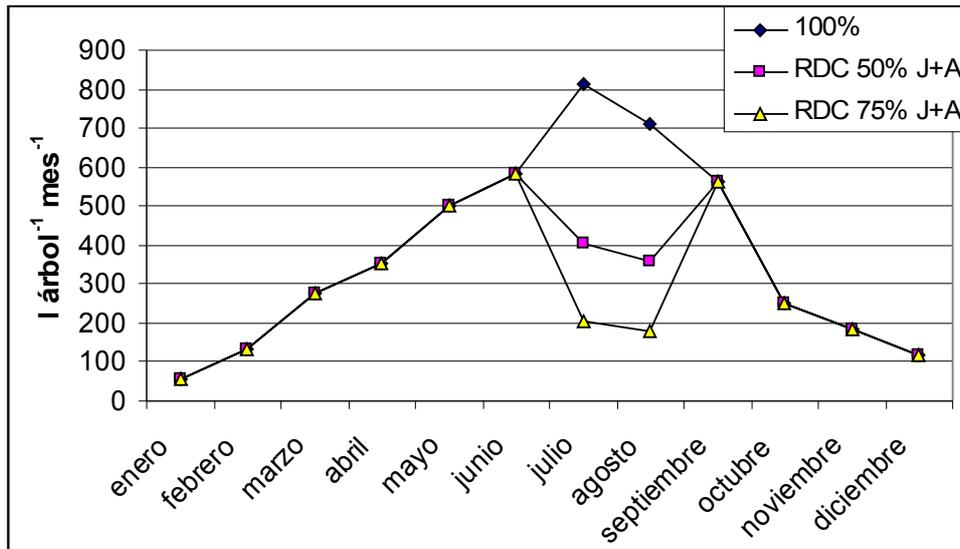


Figura 4-23. Dosis mensuales de riego en la finca "M1" usando estrategias de RDC.

Finalmente, para la finca "M3", los ahorros en agua de riego anual serían del 18% y del 26% respectivamente.

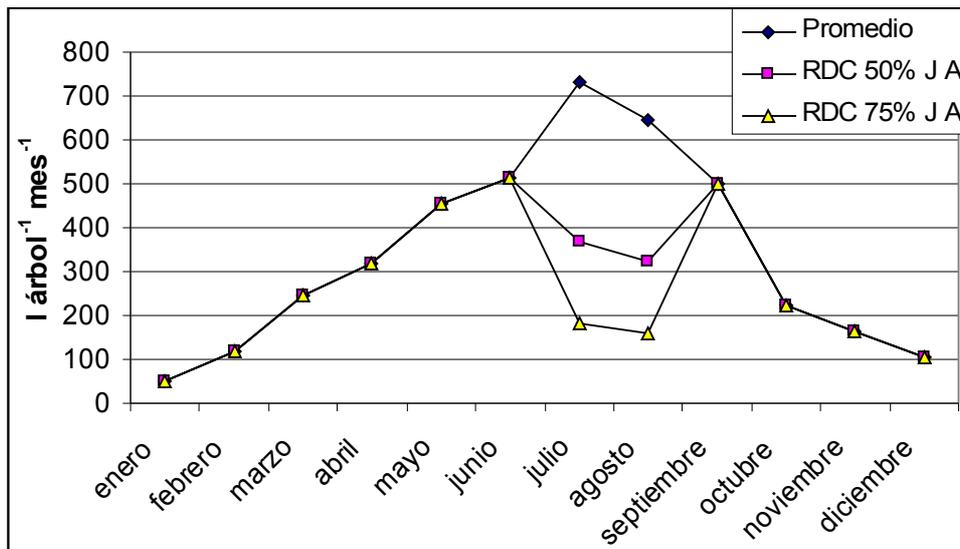


Figura 4-24. Dosis mensuales de riego en la finca "M1" usando estrategias de RDC.

Tabla 4-9. Programación de riego para la finca N1 aplicando estrategias de RDC

mes	n° de semana	RDC 50% J+A (h)	RDC 75% J+A (h)

enero	1	del 01/01/2007 al 07/01/2007	0,90	0,90
	2	del 08/01/2007 al 14/01/2007	5,11	5,11
	3	del 15/01/2007 al 21/01/2007	0,00	0,00
	4	del 22/01/2007 al 28/01/2007	0,00	0,00
febrero	5	del 29/01/2007 al 04/02/2007	2,42	2,42
	6	del 05/02/2007 al 11/02/2007	5,60	5,60
	7	del 12/02/2007 al 18/02/2007	2,76	2,76
	8	del 19/02/2007 al 25/02/2007	10,37	10,37
marzo	9	del 26/02/2007 al 04/03/2007	8,72	8,72
	10	del 05/03/2007 al 11/03/2007	11,47	11,47
	11	del 12/03/2007 al 18/03/2007	20,74	20,74
	12	del 19/03/2007 al 25/03/2007	0,00	0,00
abril	13	del 26/03/2007 al 01/04/2007	9,09	9,09
	14	del 02/04/2007 al 08/04/2007	8,39	8,39
	15	del 09/04/2007 al 15/04/2007	14,88	14,88
	16	del 16/04/2007 al 22/04/2007	12,62	12,62
	17	del 23/04/2007 al 29/04/2007	9,36	9,36
mayo	18	del 30/04/2007 al 06/05/2007	15,93	15,93
	19	del 07/05/2007 al 13/05/2007	13,45	13,45
	20	del 14/05/2007 al 20/05/2007	13,46	13,46
	21	del 21/05/2007 al 27/05/2007	18,13	18,13
junio	22	del 28/05/2007 al 03/06/2007	19,88	19,88
	23	del 04/06/2007 al 10/06/2007	17,98	17,98
	24	del 11/06/2007 al 17/06/2007	23,49	23,49
	25	del 18/06/2007 al 24/06/2007	21,75	21,75
julio	26	del 25/06/2007 al 01/07/2007	11,77	5,88
	27	del 02/07/2007 al 08/07/2007	13,46	6,73
	28	del 09/07/2007 al 15/07/2007	14,33	7,16
	29	del 16/07/2007 al 22/07/2007	14,85	7,42
	30	del 23/07/2007 al 29/07/2007	14,20	7,10
agosto	31	del 30/07/2007 al 05/08/2007	14,35	7,17
	32	del 06/08/2007 al 12/08/2007	15,57	7,78
	33	del 13/08/2007 al 19/08/2007	6,51	3,25

	34	del 20/08/2007 al 26/08/2007	13,58	6,79
septiembre	35	del 27/08/2007 al 02/09/2007	25,99	25,99
	36	del 03/09/2007 al 09/09/2007	21,47	21,47
	37	del 10/09/2007 al 16/09/2007	4,50	4,50
	38	del 17/09/2007 al 23/09/2007	19,36	19,36
	39	del 24/09/2007 al 30/09/2007	2,99	2,99
octubre	40	del 01/10/2007 al 07/10/2007	0,00	0,00
	41	del 08/10/2007 al 14/10/2007	0,00	0,00
	42	del 15/10/2007 al 21/10/2007	12,75	12,75
	43	del 22/10/2007 al 28/10/2007	10,72	10,72
noviembre	44	del 29/10/2007 al 04/11/2007	10,41	10,41
	45	del 05/11/2007 al 11/11/2007	7,86	7,86
	46	del 12/11/2007 al 18/11/2007	5,03	5,03
	47	del 19/11/2007 al 25/11/2007	6,30	6,30
diciembre	48	del 26/11/2007 al 02/12/2007	7,68	7,68
	49	del 03/12/2007 al 09/12/2007	4,19	4,19
	50	del 10/12/2007 al 16/12/2007	6,77	6,77
	51	del 17/12/2007 al 23/12/2007	1,11	1,11
	52	del 24/12/2007 al 30/12/2007	5,02	5,02
	53	del 31/12/2007 al 06/01/2008	4,42	4,42

Tabla 4-10. Programación de riego para la finca M1 aplicando estrategias de RDC.

mes	N° de semana		RDC 50% J+A (h)	RDC 75% J+A (h)
enero	1	del 01/01/2007 al 07/01/2007	0,39	0,39
	2	del 08/01/2007 al 14/01/2007	1,97	1,97
	3	del 15/01/2007 al 21/01/2007	0,00	0,00
	4	del 22/01/2007 al 28/01/2007	0,13	0,13
febrero	5	del 29/01/2007 al 04/02/2007	1,24	1,24
	6	del 05/02/2007 al 11/02/2007	2,13	2,13

	7	del 12/02/2007 al 18/02/2007	1,63	1,63
	8	del 19/02/2007 al 25/02/2007	3,94	3,94
marzo	9	del 26/02/2007 al 04/03/2007	3,39	3,39
	10	del 05/03/2007 al 11/03/2007	4,38	4,38
	11	del 12/03/2007 al 18/03/2007	7,87	7,87
	12	del 19/03/2007 al 25/03/2007	0,00	0,00
abril	13	del 26/03/2007 al 01/04/2007	4,71	4,71
	14	del 02/04/2007 al 08/04/2007	4,95	4,95
	15	del 09/04/2007 al 15/04/2007	5,88	5,88
	16	del 16/04/2007 al 22/04/2007	4,99	4,99
	17	del 23/04/2007 al 29/04/2007	4,46	4,46
mayo	18	del 30/04/2007 al 06/05/2007	6,10	6,10
	19	del 07/05/2007 al 13/05/2007	5,11	5,11
	20	del 14/05/2007 al 20/05/2007	5,46	5,46
	21	del 21/05/2007 al 27/05/2007	6,88	6,88
junio	22	del 28/05/2007 al 03/06/2007	7,60	7,60
	23	del 04/06/2007 al 10/06/2007	6,83	6,83
	24	del 11/06/2007 al 17/06/2007	8,92	8,92
	25	del 18/06/2007 al 24/06/2007	8,46	8,46
julio	26	del 25/06/2007 al 01/07/2007	4,57	2,28
	27	del 02/07/2007 al 08/07/2007	5,12	2,56
	28	del 09/07/2007 al 15/07/2007	5,44	2,72
	29	del 16/07/2007 al 22/07/2007	5,64	2,82
	30	del 23/07/2007 al 29/07/2007	5,39	2,69
agosto	31	del 30/07/2007 al 05/08/2007	5,60	2,80
	32	del 06/08/2007 al 12/08/2007	5,91	2,96
	33	del 13/08/2007 al 19/08/2007	3,74	1,87
	34	del 20/08/2007 al 26/08/2007	5,15	2,58
septiembre	35	del 27/08/2007 al 02/09/2007	9,87	9,87
	36	del 03/09/2007 al 09/09/2007	8,55	8,55
	37	del 10/09/2007 al 16/09/2007	4,35	4,35
	38	del 17/09/2007 al 23/09/2007	7,40	7,40
	39	del 24/09/2007 al 30/09/2007	3,47	3,47

octubre	40	del 01/10/2007 al 07/10/2007	0,66	0,66
	41	del 08/10/2007 al 14/10/2007	2,98	2,98
	42	del 15/10/2007 al 21/10/2007	5,24	5,24
	43	del 22/10/2007 al 28/10/2007	4,35	4,35
noviembre	44	del 29/10/2007 al 04/11/2007	4,03	4,03
	45	del 05/11/2007 al 11/11/2007	3,03	3,03
	46	del 12/11/2007 al 18/11/2007	2,16	2,16
	47	del 19/11/2007 al 25/11/2007	2,39	2,39
diciembre	48	del 26/11/2007 al 02/12/2007	2,94	2,94
	49	del 03/12/2007 al 09/12/2007	1,59	1,59
	50	del 10/12/2007 al 16/12/2007	2,75	2,75
	51	del 17/12/2007 al 23/12/2007	0,97	0,97
	52	del 24/12/2007 al 30/12/2007	1,90	1,90
	53	del 31/12/2007 al 06/01/2008	1,70	1,70

Tabla 4-11. Programación de riego para la finca M1 aplicando estrategias de RDC.

mes	N° de semana		RDC 50% J+A (h)	RDC 75% J+A (h)
enero	1	del 01/01/2007 al 07/01/2007	0,65	0,65
	2	del 08/01/2007 al 14/01/2007	3,28	3,28
	3	del 15/01/2007 al 21/01/2007	0,00	0,00
	4	del 22/01/2007 al 28/01/2007	0,21	0,21
febrero	5	del 29/01/2007 al 04/02/2007	2,07	2,07
	6	del 05/02/2007 al 11/02/2007	3,54	3,54
	7	del 12/02/2007 al 18/02/2007	2,71	2,71
	8	del 19/02/2007 al 25/02/2007	6,56	6,56
marzo	9	del 26/02/2007 al 04/03/2007	5,64	5,64
	10	del 05/03/2007 al 11/03/2007	7,30	7,30
	11	del 12/03/2007 al 18/03/2007	13,12	13,12

	12	del 19/03/2007	al 25/03/2007	0,00	0,00
abril	13	del 26/03/2007	al 01/04/2007	7,85	7,85
	14	del 02/04/2007	al 08/04/2007	8,24	8,24
	15	del 09/04/2007	al 15/04/2007	9,80	9,80
	16	del 16/04/2007	al 22/04/2007	8,32	8,32
	17	del 23/04/2007	al 29/04/2007	7,43	7,43
mayo	18	del 30/04/2007	al 06/05/2007	10,16	10,16
	19	del 07/05/2007	al 13/05/2007	8,51	8,51
	20	del 14/05/2007	al 20/05/2007	9,11	9,11
	21	del 21/05/2007	al 27/05/2007	11,47	11,47
junio	22	del 28/05/2007	al 03/06/2007	12,66	12,66
	23	del 04/06/2007	al 10/06/2007	11,38	11,38
	24	del 11/06/2007	al 17/06/2007	14,86	14,86
	25	del 18/06/2007	al 24/06/2007	14,10	14,10
julio	26	del 25/06/2007	al 01/07/2007	7,61	3,81
	27	del 02/07/2007	al 08/07/2007	8,54	4,27
	28	del 09/07/2007	al 15/07/2007	9,07	4,53
	29	del 16/07/2007	al 22/07/2007	9,40	4,70
	30	del 23/07/2007	al 29/07/2007	8,98	4,49
agosto	31	del 30/07/2007	al 05/08/2007	9,33	4,67
	32	del 06/08/2007	al 12/08/2007	9,85	4,93
	33	del 13/08/2007	al 19/08/2007	6,23	3,12
	34	del 20/08/2007	al 26/08/2007	8,59	4,30
septiembre	35	del 27/08/2007	al 02/09/2007	16,45	16,45
	36	del 03/09/2007	al 09/09/2007	14,26	14,26
	37	del 10/09/2007	al 16/09/2007	7,25	7,25
	38	del 17/09/2007	al 23/09/2007	12,33	12,33
	39	del 24/09/2007	al 30/09/2007	5,79	5,79
octubre	40	del 01/10/2007	al 07/10/2007	1,10	1,10
	41	del 08/10/2007	al 14/10/2007	4,97	4,97
	42	del 15/10/2007	al 21/10/2007	8,74	8,74
	43	del 22/10/2007	al 28/10/2007	7,24	7,24
noviembre	44	del 29/10/2007	al 04/11/2007	6,71	6,71

	45	del 05/11/2007	al 11/11/2007	5,05	5,05
	46	del 12/11/2007	al 18/11/2007	3,60	3,60
	47	del 19/11/2007	al 25/11/2007	3,99	3,99
diciembre	48	del 26/11/2007	al 02/12/2007	4,90	4,90
	49	del 03/12/2007	al 09/12/2007	2,65	2,65
	50	del 10/12/2007	al 16/12/2007	4,58	4,58
	51	del 17/12/2007	al 23/12/2007	1,62	1,62
	52	del 24/12/2007	al 30/12/2007	3,17	3,17
	53	del 31/12/2007	al 06/01/2008	2,84	2,84

4.6 Comparación entre la productividad real y la teórica alcanzable máxima.

Tras introducir los datos climáticos, de cultivo y de riego en el programa informático *CropWat* desarrollado por la FAO se ha comprobado que en el caso de la finca “N1”, la reducción de la productividad comparada con el óptimo que calcula el programa ha sido del **5,1%**.

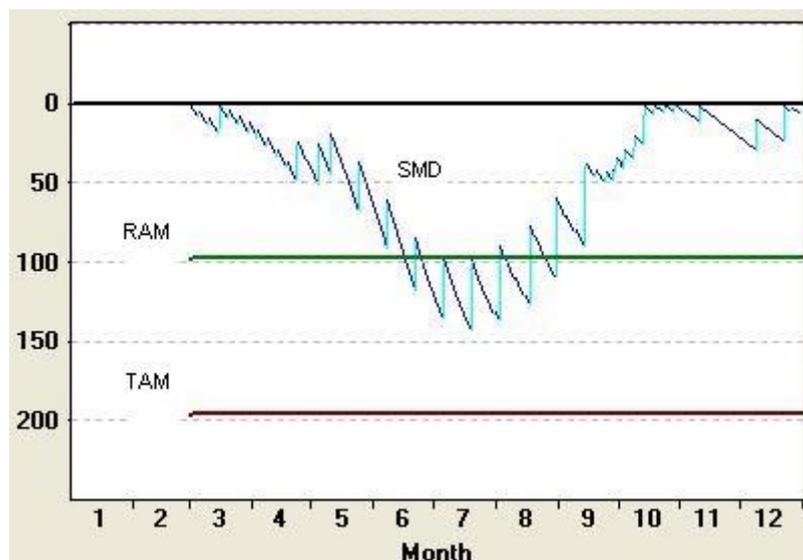


Figura 4-25. Gráfico del análisis del manejo del riego en "N1".

Lost irrigation (mm)	Muestra la lámina aplicada de riego que se pierde por percolación.
SMD (mm)	Muestra el cambio en el agotamiento de humedad del suelo. Cuando es igual a 0 significa que el suelo se encuentra en su capacidad de campo. Esta línea no debe superar a la línea correspondiente al RAM para evitar situaciones de estrés hídrico.
RAM (mm)	Línea que muestra el agua fácilmente aprovechable (L_n), en función de la profundidad radicular del cultivo. Esta curva muestra el agotamiento máximo de humedad que se puede permitir para evitar condiciones de estrés hídrico al cultivo.
TAM (mm)	Curva que muestra la lámina total que el suelo puede almacenar hasta la profundidad radicular. (Lámina almacenable, L_a)

En el caso de la finca "M1" la reducción de la cosecha comparada con el máximo que estima el programa ha sido del **25,3%**. Se ve en el gráfico que aparece a continuación que en el primer mes de riego se aplicó un exceso de agua.

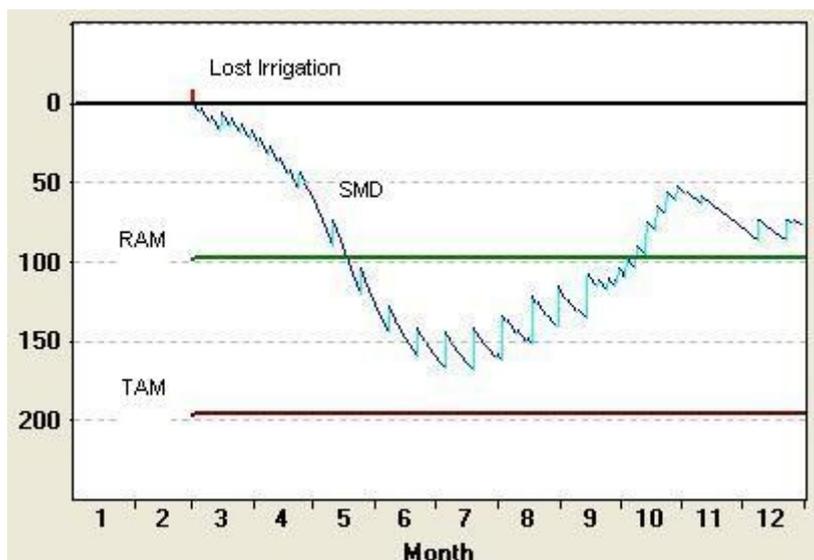


Figura 4-26. Gráfico del análisis del manejo del riego en "M1".

En el caso de la finca "M3" la reducción de la cosecha comparada con el máximo que estima el programa ha sido del **28,4%**

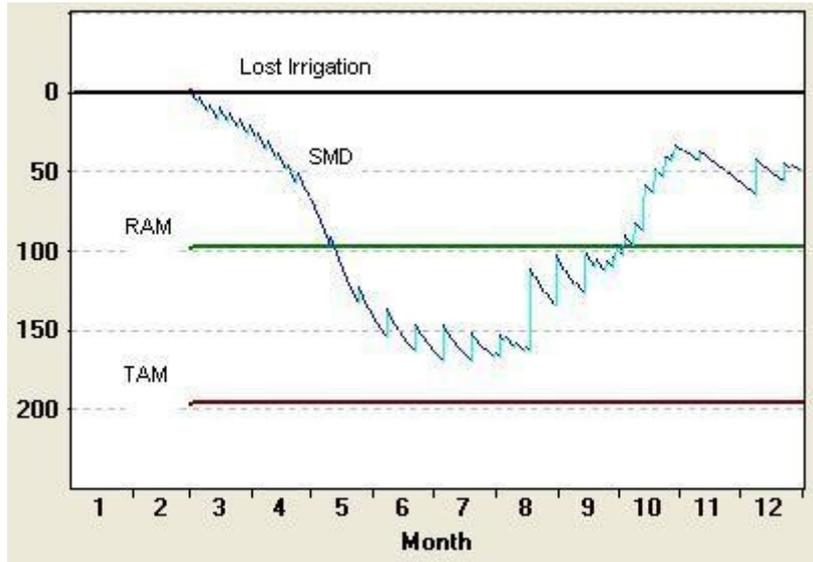


Figura 4-27. Gráfico del análisis del manejo del riego en "M3".

5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

A la vista de los resultados, el primer punto a considerar, en mi opinión, es que en dos de las tres fincas la cantidad de agua de la que han dispuesto a lo largo del año en el que se ha hecho el análisis ha sido tal, que podrían haber cubierto las necesidades hídricas de las plantas casi en su totalidad. Esto ha ocurrido concretamente en las fincas “M1” y “M3”. Si estas dos fincas hubieran aplicado el agua de la que disponían de una manera correcta podemos llegar a suponer que no hubieran sufrido las mermas en la producción que han tenido. La otra finca estudiada, “N1”, aún disponiendo de menos agua de la que le sería necesaria para alcanzar el 100% de la producción, ha sufrido una merma teórica de la producción mucho menor que las otras dos fincas y esto puede ser debido a que su calendario de riegos ha sido más correcto.

A la hora de hacer el balance de agua en el suelo se ha comprobado que es vital delimitar correctamente los volúmenes de suelo humedecido por los emisores y las distintas franjas de humedad en el marco de plantación. Por ello, sería necesaria la colocación de un mayor número de tubos de acceso en el marco de plantación del árbol para ganar precisión..

El utilizar un sensor FDR para la determinación del contenido en agua del suelo presenta algunas limitaciones, la más importante es que resulta necesario el calibrar el aparato para cada suelo. Para este estudio, como ya se ha comentado en su apartado correspondiente, se usaron ecuaciones genéricas para el tipo de suelo de cada finca en cuestión. Otra limitación importante es que la salinidad del suelo distorsiona las medidas de humedad, aunque este problema no nos ha afectado pues el agua de riego que se ha aplicado a las fincas tiene una conductividad eléctrica óptima.

De las medidas periódicas de humedad se ha podido comprobar que del año 2006 al 2007 ha habido una desecación del suelo a causa de una disminución del agua de riego aplicada.

En cuanto a las estrategias de riego localizado controlado, sería muy arriesgado hacer una predicción de los resultados. Si bien, teniendo en cuenta las investigaciones en este campo, la reducción de la cosecha debería ser insignificante siempre y cuando el momento de aplicación de dichas estrategias sea el óptimo.

Como consideración final, pienso que el uso de estrategias de RDC debería ser un tema bien estudiado por parte de las comunidades de regantes. Sería muy interesante la creación de campos de pruebas por parte de las comunidades de regantes para poder experimentar *in situ* este tipo de estrategias. También sería conveniente informar a los propios agricultores desde estas comunidades de regantes sobre este tema y proporcionarles calendarios de riegos actualizados y que registren también estas estrategias de RDC.

6. BIBLIOGRAFÍA

-A-

Agustí, M. (2003). *Citricultura*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 422pp.

Allen, R.G. Pereira, L.S. Raes, D. Smith, M. (2006). *Evaporación del cultivo*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 298pp.

Amorós Castañer, M. (1995). *Producción de agrios*. Ed. Mundi-Prensa Madrid. 352pp.

-C-

Chalmers, D. J. Van Den Ende, B. (1975). *Productivity of peach trees. Factors affecting dry-weight distribution during tree growth*. Ann. Bot. 39 p. 423-432.

Chalmers, D.J. (1990). *Control del crecimiento de la planta por la regulación de los déficits de agua y la limitación de la zona de humectación*. Frut 5 p. 369-375.

Consejo Superior de Investigaciones Científicas. CSIC (bddoc.csic.es:8085/)

Consoli, S. O'Connell, N. Snyder, R. (2006). *Estimation of Evaporation of Different-Sized Navel-Orange Tree Orchards Using Energy Balance*. Journal of Irrigation and drainage engineering. 132(1) p. 2-8.

-D-

Doorembos, J. Pruitt, W.O. (1990). *Las necesidades de agua de los cultivos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 194pp.

Domingo, R. Ruiz-Sanchez, M^a.C. (1994). *Respuesta de los cítricos a riego deficitario*.

Limonero. Zapata, M. Segura, P. (eds.). Riego Deficitario Controlado: Fundamentos y Aplicaciones. Mundi-Prensa. Madrid. p. 119-171.

-F-

Flores, H.E. Ruíz C, J.A. (1998). *Estimación de la humedad del suelo para maíz de temporal mediante un balance hídrico*. TERRA Latinoamericana, Mexico. 16(3).

-G-

García Petillo, M. Castel, J.R. (2007). *Water balance and crop coefficient estimation of a citrus orchard in Uruguay*. Spanish Journal of Agricultural Research 5(2), p. 232-243.

Girona, J. (1992). *Estrategias de riego deficitario en el cultivo del almendro*. Fruticultura Profesional 47 p. 38-45.

Gonzalez-Altozano, P. Castel, J.R. (1999). *Regulated deficit irrigation in "Clementina de Nules" citrus trees*. I. Yield and fruit quality effects. Journal of Horticultural Science and Biotechnology 74 (6) p. 706-713.

Groves, S.J. y Rose S.C. (2004). *Calibration equations for Diviner 2000 capacitance measurements of volumetric soil water content of six soils*. Soil and ManagemManagement p. 90-97.

-H-

Hidalgo, J. Pastor, M Hidalgo J.C. (2003) *Evaluación de una sonda FDR para la estimación del contenido de agua en el suelo y para control de riegos en olivar*. Estudios de la Zona no Saturada del Suelo Vol. VI J. Alvarez-Benedi y P. Marinero.

-I-

Instituto Nacional de Estadística. (www.ine.es)

-L-

Lousert, R. (1992). *Los Agrios*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 319pp.

-M-

Martín de Santa Olalla Mañas, F. De Juan Valero, J.A. (1993). *Agronomía del riego*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 732pp.

Medina, Santiago. (1997). *El cultivo moderno del naranjo, limonero y otros agrios*. Ed. De Vecchi. Barcelona. 159 pp.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (www.mapa.es)

Mora Gómez, Miguel. (2006). *Métodos para medir el contenido de agua o componentes del potencial del suelo. Calibración del sensor FDR (Frequency Domain Reflectometry)*. Trabajo de Fin de Carrera 2789 E.P.S.O. U.M.H. 162pp.

Moreno Caselles, J. Pérez Murcia, M^a.D. Moral Herrero, R. Pérez Espinosa, A. (2001). *Prácticas de edafología y climatología*. Ed. UMH. Elche. 274pp.

Moreno-Perez, M.F. Villalobos Martín, F. Fereres Castiel, E. (2005). *Verificación de un equipo FDR para la medida del contenido de agua del suelo en dos sistemas de cultivo*. Ingeniería del agua. 12(4). p. 345-359.

Morgan, K.T. Parsons, L.R. Wheaton, T.A. *et al.* *Field calibration of a capacitance water content probe in fine sand soils*. Soil Science Society of America Journal 63(4) p. 987-989.

-O-

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO.
(www.fao.org)

-P-

Palomo, M.J. Moreno, F. Fernández, J.E. Díaz Espejo, A. Girón, I.F. (2002).
Determining water consumption in olive orchards using the water balance approach.
Agricultural Water Management 55 p. 15-35.

Paltineanu, I.C. Starr J.L. (1997). *Real-time soil water dynamics using multisensor capacitance probes: Laboratory calibration.* Soil Science Society of America Journal 61 (6) p. 1576-1585.

Pizarro, F. (1996) Riegos localizados de alta frecuencia. de. Mundi-Prensa. Madrid. 511pp.

Porta, J. López-Acevedo, M. Roquero, C. (1994). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 877pp.

-S-

Sanchez-Blanco, M^a. J. Torrecillas, A. (1995). *Aspectos relacionados con la utilización de estrategias de RDC en cultivos leñosos.* Zapata, M. Segura, P. (eds.). Riego Deficitario Controlado: Fundamentos y Aplicaciones. Mundi-Prensa. Madrid. p. 43-63.

Segura, P. (1998). *El agua para riego en regiones semiáridas. Déficit, infradotación, eficacia y productividad. Una aproximación.* Zapata, M. Segura, P. (eds.). Riego

Deficitario Controlado: Fundamentos y Aplicaciones. Mundi-Prensa. Madrid. p. 13-42.

Sentek. (1999). Diviner 2000. User Guide Version 1.2. Sentek, Pty Australia.

Smith, Martin. (1993) *Cropwat, Programa de ordenador para planificar y manejar el riego*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 133pp.

Starr, J.L. Paltineanu, I.C. (1998). *Real-time soil water dynamics over large areas using multisensor capacitance probes and monitoring system*. Soil & Tillage Research 47. p. 43-49.

Syverstsen, J.P. (1985). *Intefration of water stress in fruit trees*. HortScience 20 p. 1039-1043.

-T-

Treeby, M.T. Henriod, R.E. Bevington, K.B. Milne, D.J. y Storey, R. (2007). *Irrigation management and rootstock effects on navel orange [Citrus sinensis (L.) Osbeck] fruit quality*. Agricultural Water Management 91 p.24-32.

Trilló, J.T. Monserrat, J.V. (1997). *Estudio de una sonda TDR para medir el contenido de agua del suelo*. XV Congreso Nacional de Riegos de Lleida A(5) p.32-40.

Topp, G.C. Davis, J.L. Annan, A.P. 1980. Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmissions lines. Water Resources Research. 16 p. 574-582

Tuñón, J. Morell, I. Ferriols, N.S. (1999). *Observaciones prácticas sobre el cálculo del balance de agua en el suelo*. Estudios de la Zona no Saturada del Suelo. Actas de las IV Jornadas Sobre Investigación en la Zona no Saturada del Suelo, (La Laguna, Tenerife

3-6 de noviembre de 1999).

-U-

Universidad de Extremadura. (www.unex.es)

-W-

WOK. Web of Knowledge. (www.accesowok.fecyt.es)

WEBSPIRS. (spwebs.silverplatter.com/)

-Z-

Zuñiga Espinosa, C.L. (2004). *Manejo del riego mediante un monitoreo hídrico en tiempo real determinado con la técnica "Frequency Domain Reflectometry"*. Director: Julio Haberland A. Tesis Doctoral. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Escuela de Ingeniería. Santiago, Chile.